

**Міністерство освіти України
Тернопільський національний технічний університет
ім. І. Пулюя**

Кафедра будівельної механіки

Навчально-методичний посібник з курсу

“Матеріалознавство і обробка металів”

для студентів напрямку

6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Студент _____

Факультет _____

Курс _____ Група _____

Тернопіль 2016

Навчально-методичний посібник з курсу «Матеріалознавство і обробка матеріалів» для студентів напрямку 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Крамар Г.М., Бодрова Л.Г., – Тернопіль, ТНТУ, 2016.- 84 с.

Автори: к.т.н., доц. Крамар Г. М.
к.т.н., доц. Бодрова Л. Г.

Рецензент: к.т.н., доц. Ковальчук Я. О.

Розглянуто й схвалено на засіданні кафедри будівельної механіки, протокол № 1 від 25 серпня 2016 року.

Схвалено й рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії факультету інженерії машин, споруд та технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол № 1 від 29 серпня 2016 року.

Складено з урахуванням матеріалів, перелічених у списку літературних джерел.

З М І С Т

№ Л.р.		Стор.
	Вступ	3
	Інструкція з техніки безпеки	4
1.	Макроскопічний аналіз та первинна кристалізація	5
2.	Термічний аналіз металів і сплавів	17
3.	Залізовуглецеві сплави (сталі, чавуни)	21
4.	Термічна обробка	30
5.	Сплави на основі алюмінію і міді	36
6.	Механічна обробка матеріалів	45
	Протоколи лабораторних робіт	
	№1. Макроскопічний аналіз та первинна кристалізація	57
	№2. Термічний аналіз металів і сплавів	59
	№3. Залізовуглецеві сплави (сталі, чавуни)	61
	№4. Термічна обробка	64
	№5. Сплави на основі алюмінію і міді	68
	№6. Механічна обробка матеріалів	71
	Глосарій	74
	Література	83

Вступ

Дисципліна “Матеріалознавство і обробка металів” – одні з основних у циклі технічних дисциплін при підготовці інженерів автоматизованого та комп’ютеризованого виробництва.

При виконанні лабораторного практикуму з матеріалознавства значну увагу приділено учбово-дослідній роботі по вивченню матеріалів, які застосовуються в машино-, приладобудуванні та інших галузях промисловості, закономірностям залежностей їх властивостей від хімічного складу, структури, способів обробки та умов експлуатації. Вивчення теорії і практики різних способів зміцнення матеріалів дозволяє забезпечити високу надійність і довговічність деталей машин, електричних та вимірювальних приладів, інструментів і т.п.

Після виконання кожної лабораторної роботи студенти заповнюють протокол.

Перелік лабораторних робіт відповідає робочій програмі дисципліни “Матеріалознавство і обробка металів” для студентів напряму “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Метою посібника є забезпечення можливості студентам самостійно підготуватися до виконання лабораторної роботи і оформити її результати.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторні роботи з курсу “Матеріалознавство і обробка металів” виконуються в навчально-наукових лабораторіях кафедри будівельної механіки. **Дотримання правил техніки безпеки є обов’язковою умовою при виконанні робіт.** Для забезпечення цього кожен студент повинен ознайомитися з вимогами правил техніки безпеки та отримати допуск викладача до виконання робіт.

Забороняється перебування в лабораторіях у верхньому одязі. Студенти, які тимчасово не задіяні на роботі з обладнанням, повинні знаходитися в місці, вказаному викладачем.

Устаткування, яке використовується для виконання лабораторних робіт, обладнане електроприводами з напругою живлення 380 Вольт. Для попередження ураження електричним струмом загальними вимогами при використанні лабораторного обладнання є дотримання правил експлуатації промислового електроустаткування. Студентам забороняється вмикати обладнання, не призначене для виконання поточної лабораторної роботи, відкривати дверцята електричних шаф та рубильників. Без вказівки викладача або лаборанта забороняється вмикати або вимикати вимикачі та рубильники.

Всі зайві предмети, які не стосуються виконуваної роботи, необхідно прибрати з робочого місця. Перед запуском обладнання необхідно пересвідчитись в його безпечності. При виявленні недоліків не вмикати напругу і повідомити про це викладача або лаборанта, не приймаючи самому заходів для усунення неполадок.

При виконанні деяких робіт використовуються хімічні реактиви, тому працювати з ними потрібно з дотриманням правил поведінки в хімлабораторіях. В першу чергу не допускати попадання реактивів на відкриті ділянки шкіри, в очі. При випадковому попаданні таких рідин на шкіру потрібно негайно змити їх струменем проточної води.

Виконуючи роботи, які передбачають нагрівання матеріалів, необхідно оберегатися термічних опіків шкіри та загоряння одягу.

Не допускайте пустощів в лабораторіях! Не користуйтеся обладнанням, яке не стосується виконуваної лабораторної роботи. Не переносьте лабораторне обладнання з одного робочого місця на інше. Студенти, які порушують правила техніки безпеки, не допускаються до виконання лабораторних робіт і підлягають перездачі цих правил.

Порушення правил техніки безпеки може привести до нещасних випадків. **Строго дотримуйтесь цих правил.** Це збереже вам здоров’я та життя. Застерігайте від порушення правил техніки безпеки своїх колег.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1
МАКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ПЕРВИННА КРИСТАЛІЗАЦІЯ
Мета роботи

Ознайомлення з основними методами вивчення металів у виробках, розподілом в них домішок, впливом попередньої термічної і термомеханічної обробки (гартування, цементації, зварювання, кування, штампування) на будову окремих зон металу.

Вивчення процесу кристалізації при затвердінні краплі насиченого розчину різних солей.

Короткі теоретичні відомості

Макроскопічний аналіз полягає у визначенні характеру будови металу і його особливостей неозброєним оком і (або) через лупу при невеликих збільшеннях (до 30 разів).

Макроскопічний аналіз дозволяє робити висновок про будову металу, виробу або зразка в цілому. Будова металів, яка вивчається при допомозі макроаналізу, називається *макроструктурою*.

Методи вивчення макроструктури поділяються на три основні групи: *глибокого та поверхневого травлення і відбитків*. Методи травлення дають інформацію про стан матеріалу, дефекти, пов'язані з його одержанням і обробкою.

Глибоке травлення дозволяє виявити тріщини, обезвуглецьований, навуглецьований і азотований шари, сегрегації шкідливих домішок, дендритну структуру. Після глибокого травлення макрошліф має рельєфну поверхню, на якій видно елементи макроструктури і дефекти.

Поверхнєве травлення дозволяє краще виявити окремі деталі структури, а також проводити подальші мікроскопічні дослідження. Воно потребує ретельної підготовки поверхні шліфа (тонке шліфування), особливо для оцінки форми та розміру зерна, встановлення різнозернистості, напрямку росту зерен тощо.

Метод відбитків полягає в тому, що зображення макроструктури з'являється не на шліфі, а на фотоплівці, фотопапері. Щільність контакту має бути повною, не допускається наявність бульбашки повітря. Реактиви реагують з певними структурними складовими, утворюючи характерне забарвлення структури. Найбільш широко застосовують метод відбитків для виявлення сірки (метод Баумана).

ОСНОВНИМИ ЗАВДАННЯМИ МАКРОДОСЛІДЖЕННЯ Є:

1. Виявлення прихованих вад металу - тріщин, пористості, плівок, рихлості, зональної неоднорідності.
2. Виявлення характеру кристалічної будови металу.
3. Виявлення домішок в металі і характеру їх розподілу.
4. Виявлення будови металу після термомеханічної обробки.
5. Виявлення будови термічно оброблених або зварних виробів (зони гартування, цементації, термічного впливу).

ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ВАД МЕТАЛУ

Це завдання найчастіше вирішується шляхом глибокого травлення. Такі вади, як тріщини (після гартування), розшарування металу не видно на поверхні навіть з допомогою лупи. Піддаючи вироби з такими вадами дії кислот, ми “розкриваємо” їх внаслідок енергійного роз’їдання поверхні.

Для цієї мети використовують такі реактиви:

1. Реактив із суміші розчинів:

соляної кислоти - 500 см³,

сірчаної кислоти - 10 см³,

води дистильованої - 100 см³.

Для прискорення дії реактив застосовують в підігрітому до 50°C стані. Час травлення від 20 хв до 2 год - в залежності від складу сталі. Цей же реактив використовується для виявлення дендритної структури. В цьому випадку час дії значно менший. Вуглецеві сталі травляться ним погано, а хромонікелеві - добре.

2. 20%-ий розчин сірчаної кислоти. Застосовується також в підігрітому до 60°C стані (час дії до 2 год).

ВИЯВЛЕННЯ ХАРАКТЕРУ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ МЕТАЛУ

В металі можуть проявлятися як зерниста, так і дендритна будова. Дендритна структура є початковою стадією затвердіння металу, дальший розвиток якої приводить до утворення поліедричної або зернистої структури.

При певних методах травлення можна одночасно виявити обидві структури, показавши їх взаємозв'язок. Слабодіючі реактиви (з Рис.ими швидкостями), наприклад, реактив Гейна (10%-ий водяний розчин подвійної солі хлорної міді і амонію), виявляють в першу чергу границі зерен. Використовуючи більш енергійний реактив (розчин кислот), який буде вибірково діяти на зерно, можна виявити дендритну структуру. Для виявлення дендритної структури в ливарній сталі застосовують реактиви:

1. 10%-ий розчин персульфату амонію $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 5-10 хв при 80-90 °C.

2. Реактив Кешієна із суміші: HCl конц. - 500 см³, H₂SO₄ конц. - 10 см³, H₂O - 180 см³ (20 - 25 хвилин при кімнатній температурі).

Макрошліф сталі, попередньо протертої спиртом, занурюють шліфованою поверхнею в один із реактивів. Після певної витримки шліфи промивають водою і аналізують.

ВИЯВЛЕННЯ ДОМІШОК І ХАРАКТЕРУ ЇХ РОЗМІЩЕННЯ

Хімічний аналіз хоч і дає середній вміст елементів в пробі металу, але не може дати уявлення про їх розподіл. Нерівномірний розподіл домішок по об'єму називається *ліквацією*. Найбільш схильні до ліквації сірка, фосфор, а кремній, марганець - найменше, вуглець займає проміжне місце. Спосіб виявлення неоднорідності базується на різному забарвленні місць з різним вмістом домішок.

Для виявлення ліквації сірки в сталевих шліфах використовують *метод Баумана*. Для цього необхідно:

- макрошліф добре протерти ватою, змоченою спиртом, і покласти на стіл шліфованою поверхнею вгору;
- лист глянцевого бромистосрібного фотопаперу на світлі тримати упродовж 5...10 хвилин в 5%-му водному розчині сірчаної кислоти, легко підсушити між двома листами фільтрувального паперу для видалення надлишку розчину;
- накласти фотопапір емульсійною стороною на робочу поверхню макрошліфа, прогладити зверху рукою або гумовим валиком для видалення бульбашок повітря;
- витримати фотопапір на макрошліфі упродовж 2...3 хв, стискаючи їх між собою, і обережно зняти фотопапір;
- отриманий відбиток промити водою, зафіксувати в 25%-му водному розчині гіпосульфїту, знову промити водою та просушити.

Отримання на фотопапері ділянок коричневого кольору вказує на місця, збагачені сіркою (скупчення сульфїдів). Якщо фотопапір має рівномірне забарвлення, то сірка розміщена рівномірно.

В пограничних шарах металу, де є включення сірки (у вигляді FeS, MnS) проходять реакції:



Газоподібний сірководень, який виділяється в місцях, де є сірка, діє на фотопапір з утворенням сірчистого срібла. Після цього папір закріплюють в 10-15%-ому розчині гіпосульфїту. На чутливому шарі паперу проявляються темні краплі, які відповідають включенням сірки в металі. Крім того, за відносною густиною краплень можна судити про ступінь забруднення сіркою. Фосфор цим способом не визначається.

Метод Гейна дозволяє виявити ліквіацію фосфору. Шліф, протертий спиртом, занурюють в 10-12%-ий водний розчин подвійної солі хлорної міді і амонію шліфованою поверхнею на 1-2 хвилини. Після промивання шліф сушиться фільтрувальним папером. Місця, багаті фосфором забарвлюються в темний колір.

ВИВЧЕННЯ ЗЛАМІВ, ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ І ХАРАКТЕРНІ ОЗНАКИ

При макроаналізі широко використовують метод фрактографії. **Фрактографія** вивчає будову зламів. Злам служить своєрідною фотографією процесу руйнування, структурного стану і властивостей матеріалу в локальному об'ємі.

Для аналізу використовується поверхня руйнування без механічних пошкоджень, слідів окиснення, бруду тощо. Наявність оксидів, слідів масла, фарби може дати додаткову інформацію про умови утворення тріщини. Аналіз макрозламу починають з огляду поверхні руйнування неозброєним оком або з допомогою лупи (збільшення 5 –10 разів). Потім переходять до збільшення в 20...120 разів.

При проведенні макроаналізу злам оцінюють і класифікують за такими **основними ознаками**: орієнтація поверхні руйнування, макрогеометрія, ступінь пластичної деформації, шорсткість, колір..

Орієнтація злому пов'язана з характером навантаження і напруженим станом, нормальними і дотичними напруженнями, які визначають руйнування.

За орієнтацією поверхні руйнування злами класифікують на прямий, косий (навскісний) і прямий з навскісним (чашковий).

Прямим (рис. 1.1) називають злам, поверхня якого орієнтована нормально до осі зразка або виробу, тобто перпендикулярно напрямку найбільших розтягуючих зусиль. Така орієнтація злому є характерною ознакою крихкого руйнування.

Прямий злам з навскісним (чашковий) утворюється при розтягуванні гладких циліндричних зразків (частіше всього конструкційних легованих сталей) і характеризується наявністю на поверхні волокнистої будови, розміщеної в середній частині перерізу зразка, перпендикулярно напрямку розтягуючих напружень, і бокових зрізів орієнтованих приблизно під 45° до основної поверхні руйнування.

Формування "чашки" пов'язане з утворенням шийки в деформованому зразку, що приводить до значних бокових і осьових напружень в центрі зразка.

Косий злам, поверхня якого нахилена під кутом до осі зразка, утворюється шляхом зрізу в площині найбільших напружень. Такий злам спостерігається при руйнуванні анізотропних матеріалів з обмеженою пластичністю.

Наявність бокових зрізів краєм злому є ознакою макров'язкого руйнування. При максимальній реалізації пластичності матеріалу в зоні руйнування при розтягуванні можуть утворитися повністю конічні злами, характерні лише для дуже пластичних матеріалів (свинець, чистий алюміній, електролітична мідь).

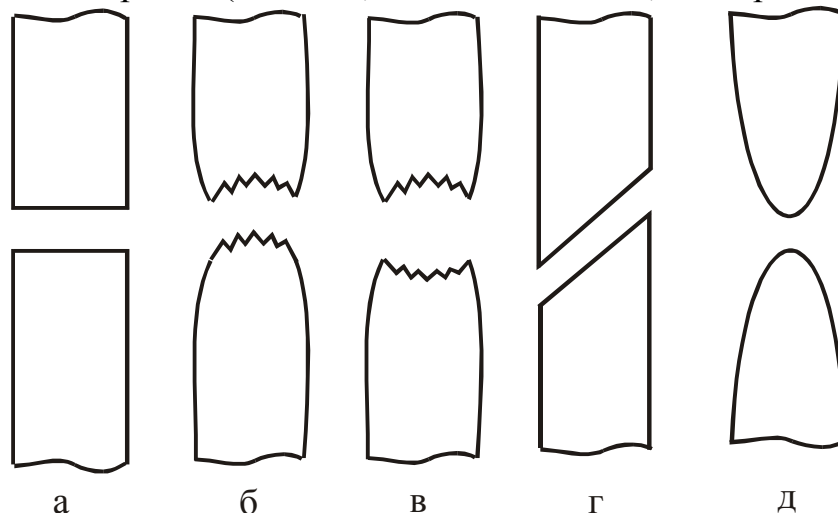


Рис.1.1. Характерні види зламів при розтягуванні

- а) прямий. б) прямий із скосами типу "чашка – конус",
в) прямий зі скосами типу "подвійна чашка", г) косий, д) конічний.

Вид злому є критерієм оцінки якості матеріалу. Існує умовний поділ зломів на крихкі і пластичні.

Класифікація зламів *за макрогеометрією*.

Однорідний злам характеризується морфологічно однаковою поверхнею, що спостерігається рідко, наприклад, при руйнуванні дуже крихких матеріалів, вуглецевих сталей при низьких температурах.

Більшість зламів **неоднорідні**. Це може бути зумовлено двома причинами:

- неоднорідністю самого досліджуваного матеріалу за хімічним складом, структурою, властивостями (анізотропністю матеріалу);
- особливостями процесу руйнування, пов'язаними з вихідною неоднорідністю напруженого і деформованого стану.

Неоднорідність поверхні зламу візуально помітна за зміною шорсткості на різних ділянках зламу. Так при втомному руйнуванні за шорсткістю на поверхні зламу можна виділити ділянки зародження тріщини 2, розвитку втомного руйнування 3 (Рис.а шорсткість) та статичного дозламу 4 (висока шорсткість) (рис. 1.2). Крім того, на зразку показаний надріз (концентратор напружень) 1. Ділянка втомного руйнування 3 характеризується дрібнозернистою структурою, гладкою матовою поверхнею з бархатним відтінком.

Ділянка дозламу формується на заключній стадії руйнування, коли внаслідок втомного руйнування величина поперечного перерізу зменшується до критичної величини і циклічні напруження досягають границі міцності. В крихких матеріалах зона дозламу має крупнокристалічну структуру, а для в'язких матеріалів характерними є волокниста будова та пластичні підтяжки вздовж периферії зразка (рис. 1.2, б, поз 4).

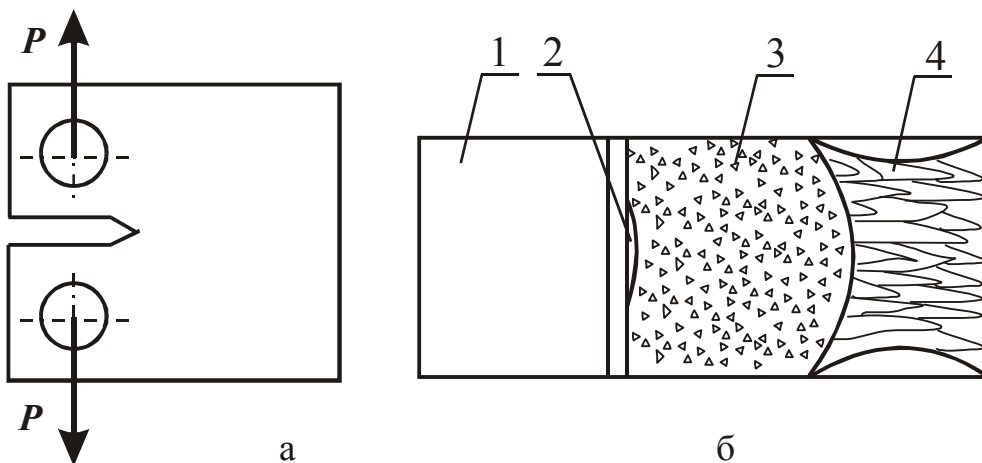


Рис. 1.2.

Стандартний зразок для випробування матеріалів на міцність під дією циклічних навантажень (а) та фрактограма втомного зламу (б)

В реальних конструкціях концентраторами напружень, з яких може розпочатися втомне руйнування, можуть бути:

- конструктивні (канавки, уступи, проточки тощо);
- технологічні (низька якість механічної обробки, тріщини після обробки тиском або термічної обробки);

- металургічні дефекти (структурна неоднорідність матеріалу, ліквації сірки та фосфору в сталі тощо).

Фрактографічні дослідження є обов'язковими при експертній оцінці поверхонь руйнування в реальних конструкціях. Ці результати дають можливість визначити причини руйнування для їх усунення в майбутньому.

Класифікація зламів *за шорсткістю поверхні*.

Наявність кристалічного зламу є одним із характерних ознак крихкого руйнування, а наявність волокнистого – в'язкого руйнування. До числа дефектів, які неможливо усунути і які викликані порушенням технології термічної і гарячої механічної обробки, належить нафталінистий злам, що має крупнозернисту будову і утворює на поверхні гладкі, блискучі фасетки неметалічного виду.

За ступенем пластичної деформації зломи діляться на крихкі, квазікрихкі і в'язкі. Крихкому злому відповідає відносне звуження площі поперечного перерізу не більше 1,5%, квазікрихкому - 1,5%, в'язкому - більше 1,5%.

Відмінність *за кольором* є однією із характерних ознак зломів, пов'язаних з будовою, умовами випробування і ступенем легованості сталі. Вуглецеві сталі мають сріблястий колір злому, нікелеві - світло-сірий. Марганець надає злому сталі характерний тьмянний, сірий колір.

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРВИННОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

Метали в залежності від температури і тиску можуть перебувати в трьох агрегатних станах: кристалічному, рідкому та газоподібному. У стані газу вони не відрізняються від неметалів, а у рідкому та кристалічному станах мають специфічні властивості. Такі властивості металам надає *металевий тип зв'язку* – тобто зв'язок, який виникає між ґратками з позитивно зарядженими іонами та газом вільних електронів.

Кристал типового металу можна розглядати як сукупність позитивно заряджених іонів, що знаходяться в середовищі вільних, *колективізованих електронів*. При зближенні атомів металу їх валентні електрони розташовуються не на зовнішніх орбітах, а всі разом займають досить широкий енергетичний рівень і можуть досить легко переміщуватись всередині металу. Цим пояснюється висока тепло- і електропровідність металів.

Наявність великої кількості вільних електронів визначає не жорсткий, не спрямований характер металевого зв'язку, завдяки чому іони металу можуть легко зміщуватися зі своїх місць під дією зовнішньої сили. Цим зумовлена висока пластичність металів.

Кристалічний стан характеризується певним, закономірним розташуванням атомів у просторі. Уявні лінії, проведені через центри атомів, утворюють ґратку, у вузлах якої розташовані атоми (позитивно заряджені іони). Це – *кристаліграфічна площина*. Багатократне паралельне повторення кристаліграфічних площин відтворює просторову кристалічну ґратку.

Елементарна кристалічна комірка – це мінімальна сукупність атомів, яка при багатократному повторенні в просторі дозволяє відтворити просторову кристалічну ґратку.

Для металів характерними є такі **типи** елементарних кристалічних комірок: *кубічна об'ємноцентрована* (ванадій, ніобій, тантал, хром, літій, натрій, α - залізо, β - титан та ін.), *кубічна гранецентрована* (мідь, срібло, золото, алюміній, свинець, платина, γ – залізо та ін.), *гексагональна компактна* (берилій, магній, кадмій, цинк, α - кобальт, α - титан, α - цирконій), *тетрагональна* (індій, β - олово).

Основними характеристиками кристалічних ґраток є:

параметр, або період комірки – це відстань між сусідніми атомами;

щільність пакування – кількість атомів, що припадають на елементарну кристалічну комірку;

координаційне число – кількість рівновіддалених найближчих сусідів даного атома.

Кристали металів мають, як правило, невеликі розміри. Тому реальний металевий виріб складається з великої кількості кристалів. Така будова називається *полікристалічною*. В полікристалічному агрегаті окремі кристали мають неправильну форму і називаються *зернами* або *кристалітами*.

Анізотропія – різниця властивостей кристалічних тіл у різних напрямках. Вона зумовлена різними відстанями і, отже, різними значеннями сил зв'язку між іонами в різних напрямках у кристалі.

Поліморфізмом називається наявність у багатьох металів і деяких неметалів різних типів кристалічних ґраток в залежності від тиску і температури. Різні кристалічні структури одного і того ж елемента називаються його поліморфними модифікаціями і позначаються початковими літерами грецької абетки, починаючи із низьких температур (Fe_{α} , Fe_{γ} ; Co_{α} , Co_{β} ; Mn_{α} , Mn_{β} , Mn_{γ} , Mn_{δ} , та ін.).

При поліморфному перетворенні різко змінюються властивості металів і сплавів: теплоємність, теплопровідність, електропровідність, магнітні, механічні, хімічні тощо.

Кристалічна будова реальних металів і сплавів не є ідеальною, тобто періодичність розташування атомів (іонів) у кристалічній порушується численними **дефектами** – недосконалостями її будови. До них належать *точкові, лінійні та поверхневі* мікродофекти. Існують також об'ємні макродефекти. До точкових дефектів належать вакансії, міжвузлові та домішкові атоми та їх комплекси. До лінійних дефектів відносяться дислокації – лінійні та гвинтові. Поверхневі дефекти – це межі зерен і структурних елементів, з яких складаються зерна, а також дефекти пакування. До об'ємних дефектів відносяться пори і включення іншої фази.

Процес утворення твердої кристалічної фази із рідини називається **первинною кристалізацією**. Форма, величина і напрямок кристалів впливає на властивості металів і сплавів.

Процес переходу кристалічного тіла з однієї фази в іншу зумовлений тим, що новий стан є енергетично більш стійким, з меншим запасом вільної енергії. Цей перехід проходить з виділенням (при кристалізації) або поглинанням (при плавленні) прихованої теплоти. Виділення прихованої теплоти сприяє збереженню сталої температури протягом процесу фазового переходу.

Кристалізація починається після деякого переохолодження рідкої речовини нижче рівноважної температури кристалізації T_s (рис.1.3). При температурі T_s обидві фази (рідка і тверда) знаходяться у рівновазі.

Таким чином, процес кристалізації може проходити тільки при переохолодженні металу нижче рівноважної температури T_s . Різниця між теоретичною T_s і реальною $T_{кр}$ температурами називається **ступенем переохолодження**:

$$\Delta T = T_s - T_{кр} \quad (1.4)$$

Ступінь переохолодження не є сталою величиною. Вона залежить від швидкості охолодження, природи і чистоти металу (Рис..2.2).

Процес первинної кристалізації проходить у **дві стадії**:

- а) утворення центрів кристалізації;
- б) ріст кристалів.

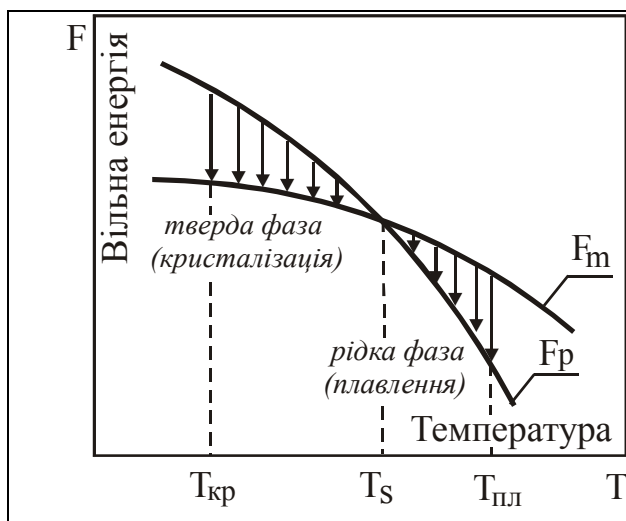


Рис. 1.3. Зміна вільної енергії рідкого і кристалічного стану в залежності від температури.

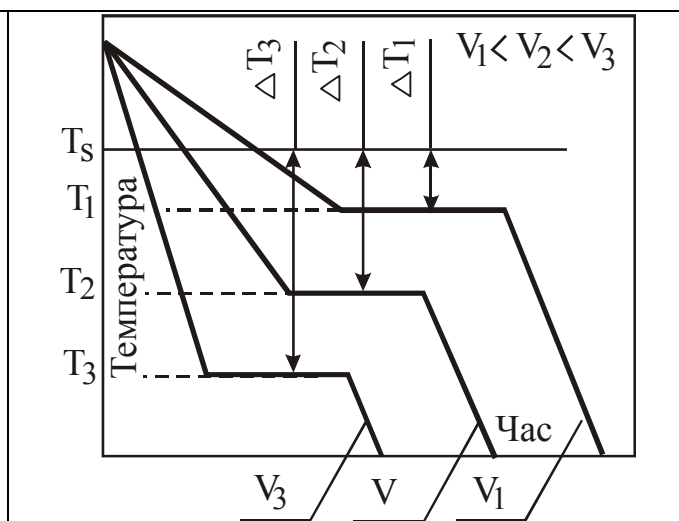


Рис. 1.4. Криві охолодження при кристалізації.

Існує два **механізми** утворення центрів кристалізації: *самочинний і гетерогенний*.

Самочинне утворення зародків проходить тільки у високочистому рідкому металі. Для рідини характерний ближній порядок у розташуванні атомів, тобто лише в окремих мікрооб'ємах зберігається впорядковане розташування атомів, що відповідає твердому стану. Внаслідок теплового руху ближній порядок нестійкий, а тому із зниженням температури збільшується кількість і розмір таких мікрооб'ємів. При температурах кристалізації вони перетворюються в зародки

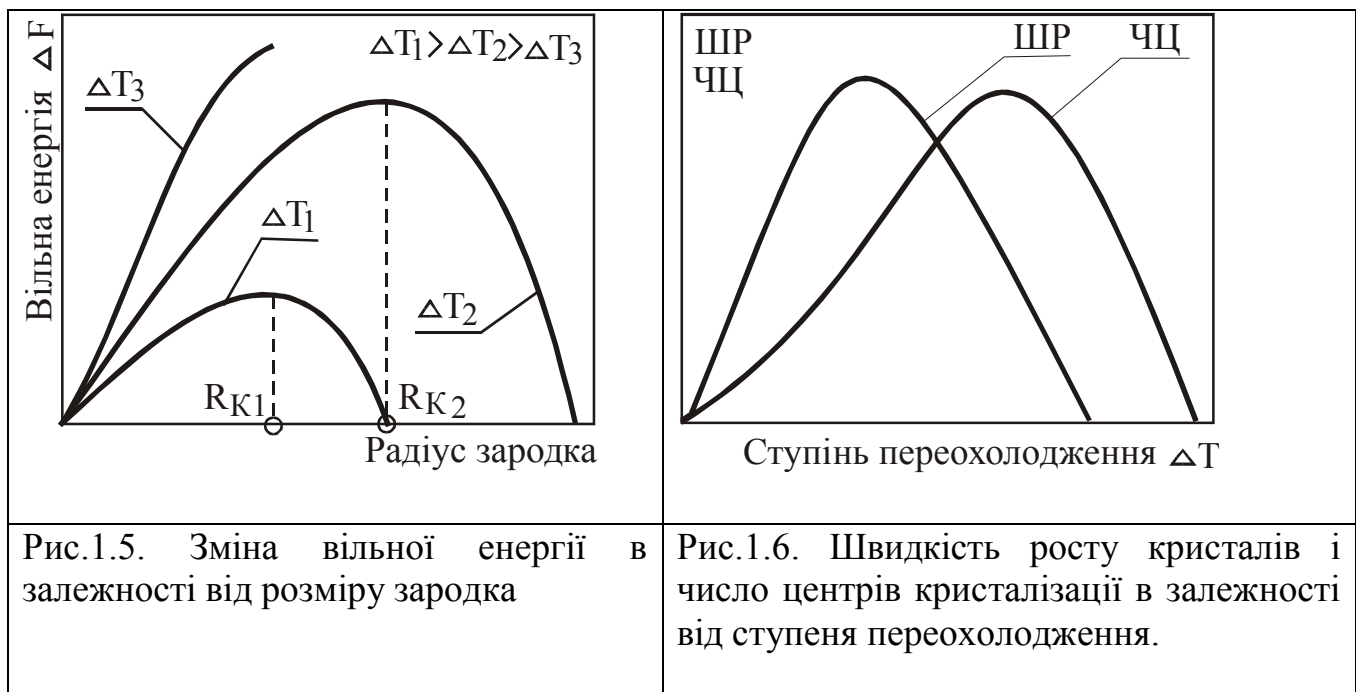
твердої фази. Утворення зародків викликає зменшення вільної енергії за рахунок переходу деякого об'єму із рідкого стану в твердий. Дальший ріст твердої фази пов'язаний із зменшенням поверхневої енергії. Ріст зародків з розмірами менше критичного приводив би до росту запасу внутрішньої енергії, що суперечить природі самого процесу.

Чим менша величина зародка, тим більше відношення його поверхні до об'єму, а значить, тим більша частина від загальної енергії приходить на поверхневу енергію. При утворенні зародка розміром менше критичного, вільна енергія системи зростає, тобто приріст її внаслідок утворення вільної поверхні, перебиває її зменшення в результаті утворення твердої фази (рис.1.5.).

Після утворення зародка проходить подальший ріст кристалів шляхом переходу атомів металу з рідкого стану на поверхню зародка.

Гетерогенне утворення зародка проходить на готових підкладках, якими є тверді частинки в сплаві, стінки форми, виливниць при умові, що поверхнева енергія між підкладкою і твердою фазою менша поверхневої енергії між зародком і твердою фазою. В реальних умовах утворення центрів кристалізації проходить за гетерогенним механізмом.

Число центрів кристалізації (Ч.Ц.) самочинно утворених в металі, і швидкість росту кристалів (Ш.Р.) залежить від ступеня переохолодження системи, яка в свою чергу залежить від швидкості охолодження (рис.1.6).



При відсутності переохолодження (при температурі T_s) число центрів і швидкість росту кристалів рівні нулю і процес кристалізації не відбувається.

Із збільшенням ступеня переохолодження росте число центрів і швидкість їх росту. Проте швидкість утворення зародків росте швидше, ніж швидкість їх росту.

Експериментально доведено, що для даного ступення переохолодження ЧЦ і ШР є сталими величинами протягом всього часу затвердіння.

Для металів і сплавів криві ЧЦ і ШР не досягають максимуму, так як метали в рідкому стані мають малу схильність до переохолодження.

Кристалізація при великих ступенях переохолодження сприяє утворенню дрібної зернистої структури. Отже, змінюючи швидкість охолодження можна одержати зерна різної величини.

Величина зерен знаходиться в такій залежності від числа зародків і швидкості росту:

$$d = 1,14 \sqrt{\left(\frac{\text{Ш.Р.}}{\text{Ч.Ц.}}\right)^3} \quad (1.5).$$

На процес затвердіння впливають й інші фактори, такі як: наявність домішок, газових включень, температури металу і форми, чистота поверхні виливниці.

Часто на практиці при розливці рідких металів користуються процесом штучного регулювання зерна, який носить назву *модифікування*. При цьому в метал вводять в невеликій кількості домішки різних речовин, які практично не змінюють хімічного складу сплаву і сприяють утворенню дрібнозернистої структури. Такі речовини називають *модифікаторами*. Модифікатори діляться на дві групи:

I-го роду - речовини, які знаходяться в розплавленому металі в твердому стані;

II - го роду - речовини, які розчинені в рідкому металі (поверхнево-активні).

Модифікатори першого роду є додатковими центрами кристалізації.

Вимоги до модифікаторів I - роду.

1. Домішка повинна мати більш високу температуру плавлення, ніж основний метал.

2. Домішка повинна бути ізоморфна з основним металом.

Модифікатори другого роду при утворенні зародка утворюють з ним плівку, яка утруднює доступ атомів металу з рідкої фази на поверхню зародка.

Форма кристалів суттєво залежить від швидкості охолодження і наявності нерозчинених частинок, напряму тепловіддачі та ін.

Швидка і нерівномірна тепловіддача приводить до утворення *дендритних* кристалів. Кристалізація в цьому випадку починається з утворення осі кристалу, яка росте в напрямку основної тепловіддачі. Далі осі розгалужуються і кристал приймає дендритну будову. Процес завершується тим, що заповнюються всі міжосьові проміжки і кристал набуває округлої форми, витягнутої в напрямку основної тепловіддачі. Такі кристали називаються стовпчастими. Дендритна форма кристалу зберігається тільки в тому випадку, якщо не вистачає металу для заповнення всіх міжосьових порожнин.

У випадку, коли процес проходить при повільному і рівномірному затвердінні, тобто коли кристали ростуть з однаковою швидкістю у всіх напрямках, то їх форма буде *зернистою* або поліедричною

Порядок виконання роботи

1. Одержати зразки, які підлягають макродослідженню.
2. Зачистити наждачним папером поверхню, обезжирити її, протерти ватою з бензином.
3. У випадку великих зразків встановити їх горизонтально на підставку.
4. Провести пробу за Бауманом.
5. Промити поверхню з допомогою вати і просушити фільтрувальним папером.
6. Відбиток приклеїти в протокол.
7. Вивчити колекцію зломів, охарактеризувати їх, замалювати одержану структуру.
8. Одержати прилади і солі.
9. Приготувати насичений розчин солей.
10. Підігріти їх до температури 70-80 °С.
11. Встановити на мікроскоп скло, нанести краплю і спостерігати за процесом кристалізації.
12. Нанести краплю розчину на підігріте скло. В обох випадках замалювати найбільш характерні стадії затвердіння.
13. Проаналізувати варіанти і встановити відмінності.
14. Прибрати робоче місце.

4. МАТЕРІАЛИ І ПРИЛАДИ

- 1 Комплект зразків.
2. Наждачний папір.
3. 5%-ий розчин сірчаної кислоти.
4. Розчин гіпосульфїту.
5. Листи фотопаперу.
6. Фільтрувальний папір.
7. Реактив Кешієна.
8. Чашки для реактивів.
9. Ванночки 9 x 12, 11 x 19.
10. Термометр.
11. Мікроскоп.
12. Солі (біхромат калію, мідний купорос).
13. Посудина, скляні палочки.
14. Термометр.
15. Водяна лазня.
16. Вата.

5. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке макроаналіз, його суть?
2. Завдання макроаналізу?
3. Що таке макроструктура?
4. Які вади металу називають “прихованими”, їх характеристика?
5. Можливі домішки в металі.
6. Яка може бути кристалічна будова металу?
7. Види зламу металу.
8. Реактиви, їх характеристика, вибір.
9. Дендритна і зерниста будова металу.
10. Вплив фосфору і сірки на властивості сталі.
11. Як розміщуються домішки в металі?
12. Що таке ліквіація?
13. Що таке анізотропія, поліморфізм?
14. В чому полягає спосіб Баумана?
15. Як і для чого аналізують металічні вироби після зварювання, хіміко – термічної обробки?
16. Вплив легуючих металів на колір зламу.
17. Будова кристалічного тіла.
18. Властивості кристалічного тіла.
19. Металевий тип зв'язку.
20. Типи кристалічних ґраток, їх характеристики.
21. Дефекти кристалічної будови.
22. Будова зерна металу. Монокристал і полікристал.
23. Анізотропія. Поліморфізм.
24. Первинна кристалізація.
25. Степінь переохолодження.
26. Стадії і механізми процесу кристалізації.
27. Ближній і дальній порядки.
28. Фактори, що впливають на величину і форму зерна.
29. Модифікатори, їх класифікація.
30. Вимоги до модифікаторів I-го роду.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи

На конкретному прикладі (сплави системи Pb-Sn) вивчити методику побудови кривих охолодження і визначення критичних точок методом термічного аналізу.

Короткі теоретичні відомості

Термічний аналіз металів і сплавів полягає у визначенні температур фазових перетворень. Він ґрунтується на наявності теплового ефекту перетворення. Будь-яке перетворення в металі (плавлення, кристалізація, поліморфні перетворення) супроводжується поглинанням або виділенням тепла – термічним ефектом. Якщо простежити за зміною температури металу при охолодженні або нагріванні, то на кривій спостерігається злам у вигляді горизонтальної полички. Графічне зображення зміни температури в часі при охолодженні носить назву *кривої охолодження*. Температури початку і кінця фазових перетворень, які визначаються за кривими охолодження, називаються критичними.

Правило фаз. Правильність побудови кривих охолодження перевіряють за допомогою правила фаз.

У подвійній системі в рівновазі найбільше може бути три фази, в потрійній системі - чотири фази і т.д. Рівновага системи описується величиною, яка називається *ступенем вільності*.

Число ступенів вільності рівне:

$$C = K + 1 - \Phi, \quad (2.1),$$

де C - число ступенів вільності, тобто кількість факторів рівноваги (концентрація, температура), які можуть змінюватися незалежно, але при цьому не може змінюватися кількість фаз;

K - число компонентів системи,

Φ - число фаз.

З рівняння (2.1) можна зробити висновок, що існує одна температура, при якій система може знаходитись в рівновазі у двофазному стані. Це означає, що процес кристалізації проходить при сталій температурі - ізотермічно.

Одержавши велику кількість кривих охолодження для сплавів різного хімічного складу, можна побудувати діаграму стану цієї системи

Так, якщо переносити критичні точки ряду сплавів даної системи в координати температура (вісь ординат) - концентрація (вісь абсцис) і з'єднати температури початку і кінця кристалізації, то одержимо графічне зображення фазового і структурного стану сплавів даної системи, тобто *діаграму стану*. На рис. 2.1 показана діаграма стану системи Pb-Sn.

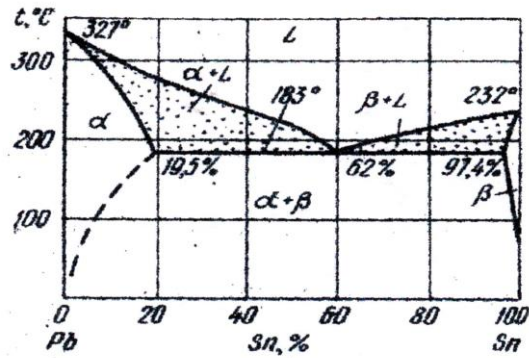


Рис.2.1. Діаграма стану Pb-Sn.

Кожна точка діаграми відповідає певному стану системи при певній температурі в умовах рівноваги. На рис.2.2 показана схема установки для визначення критичних точок металів і сплавів. До її складу входять електронагрівник 1, який розплавляє досліджуваний сплав 2 в тиглі 3, накритому азбестовою пластиною 4. Для контролю за зміною температури використовується термоелектричний пірометр. До його складу входять термопара 5, з'єднувальні провідники 6 та термовольтметр 7.

Розглянемо принцип роботи термоелектричного пірометра, оскільки в техніці він використовується досить часто. Термопара 5 являє собою дві дротини з різних металів зі спаяними кінцями з одного боку. Це з'єднання в термопарі називається гарячим спаєм і призначене для розміщення в зоні визначення температури.

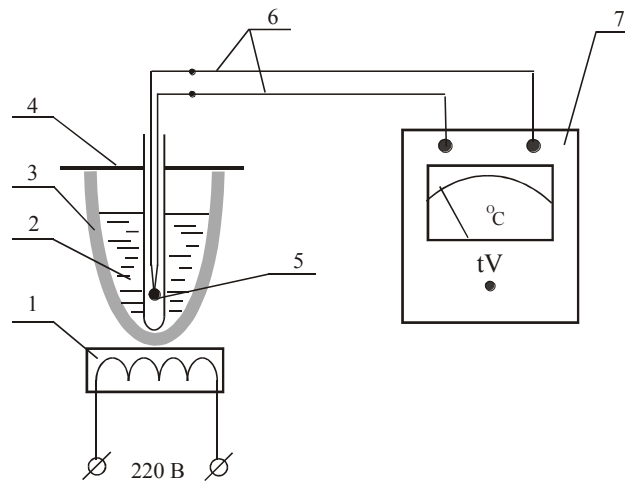


Рис.2.2. Схема установки для вивчення процесу кристалізації методом термічного аналізу.

Матеріали дротин підібрані таким чином, що при їх сумісному нагріванні в ділянці гарячого спаю виникає різниця потенціалів, величина якої змінюється зі зміною температури. Два інших кінці дротин термопари з'єднані з провідниками б (холодні спаї), які йдуть до гальванометра 7. Гальванометр фіксує різницю потенціалів, отриману на термопарі. Шкала гальванометра протарована не в мілівольтах, а в градусах Цельсія, тому такий гальванометр (мілівольтметр)

називають термовольтметром. Чим вищою є температура гарячого спаю термопари, тим більше відхиляється стрілка термовольтметра. В залежності від робочої температури використовують різні термопари. **Термопара** - це два різнорідних проводи, одні кінці яких з'єднані з мілівольтметром, інші спаяні між собою.

В техніці найширше застосування знайшли термопари (за матеріалом дротин):

- платино-платинородієві, ПП-1 (0...1300⁰С);
- хромель-алюмельові, ХА (0...1000⁰С);
- хромель-копельові, ХК (0...600⁰С);
- мідь-константанові, МК (0...400⁰С).

Для вимірювання температури в сплавах Рb - Sn використовують мідь-константанову термопару з інтервалом температур від 290 до 400 °С (константан - сплав 58,8% Cu, 16% Mn, 40% Ni).

Прилади і матеріали

1. Установка для проведення термічного аналізу.
2. Метали (свинець,олово) і сплави Рb і Sn з 5, 10, 40, 80 Sn, товчене деревне вугілля.
3. Секундомір.

Порядок виконання роботи

Для визначення критичних точок (температур кристалізації) **необхідно:**

- на дно фарфорового тигля покласти 100...150 г чистого металу або сплаву певного складу і ввімкнути електронагрівник;
- накрити тигель азбестовою кришкою і розплавити метал;
- через отвір в кришці встановити в розплав гарячий спай термопари, а холодний спай з'єднати з термовольтметром;
- вимкнути нагрівник;
- через кожні 20 секунд записувати покази термовольтметра, припинивши записи через 2...3 хв після повного затвердіння металу;
- за одержаними даними побудувати криву охолодження в координатах температура – час охолодження;
- на одержаній кривій визначити температуру кристалізації (для чистого металу) або температуру початку та кінця кристалізації для сплавів;
- оформити звіт за результатами роботи.

ДЛЯ ПОБУДОВИ ДІАГРАМИ НЕОБХІДНО:

1. Накреслити сітку в координатах температура - склад.
2. Позначити на діаграмі вертикалями склад сплавів, а крапками – температури кристалізації чистих металів.

3. З'єднати в лінію точки, які характеризують кінець затвердіння сплавів. Оскільки точки розміщені на одній температурі – 246 °С, то лінія буде горизонтальною.
4. З'єднати плавними лініями точки, які відповідають початку затвердіння сплавів, і продовжити їх до точок, що відповідають затвердіванню чистих металів і до перетину з лінією солідус.
5. Оформити звіт.

Контрольні питання

1. Основні види взаємодії компонентів у сплавах.
2. Правила фаз і відрізків.
3. Зв'язок між діаграмою стану і властивостями.
4. Термічний аналіз побудови кривих охолодження із застосуванням правила фаз.
5. Криві охолодження чистих металів і сплавів.
6. Основні методи побудови діаграм стану.
7. Евтектична кристалізація. Діаграма стану I роду.
8. Діаграма стану II роду.
9. Діаграма стану III роду.
10. Діаграми стану IV роду.
11. Діаграми стану з поліморфними перетвореннями в компонентах.

МІКРОСТРУКТУРА ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ (ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ, ЧАВУНІВ)

Мета роботи

Вивчення мікроструктури вуглецевих сталей у відпаленому стані та чавунів.

Короткі теоретичні відомості

ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ

Мікроструктура вуглецевих сталей та білих чавунів описується діаграмою стану залізо-цементит, яка показана на рис. 3.1.

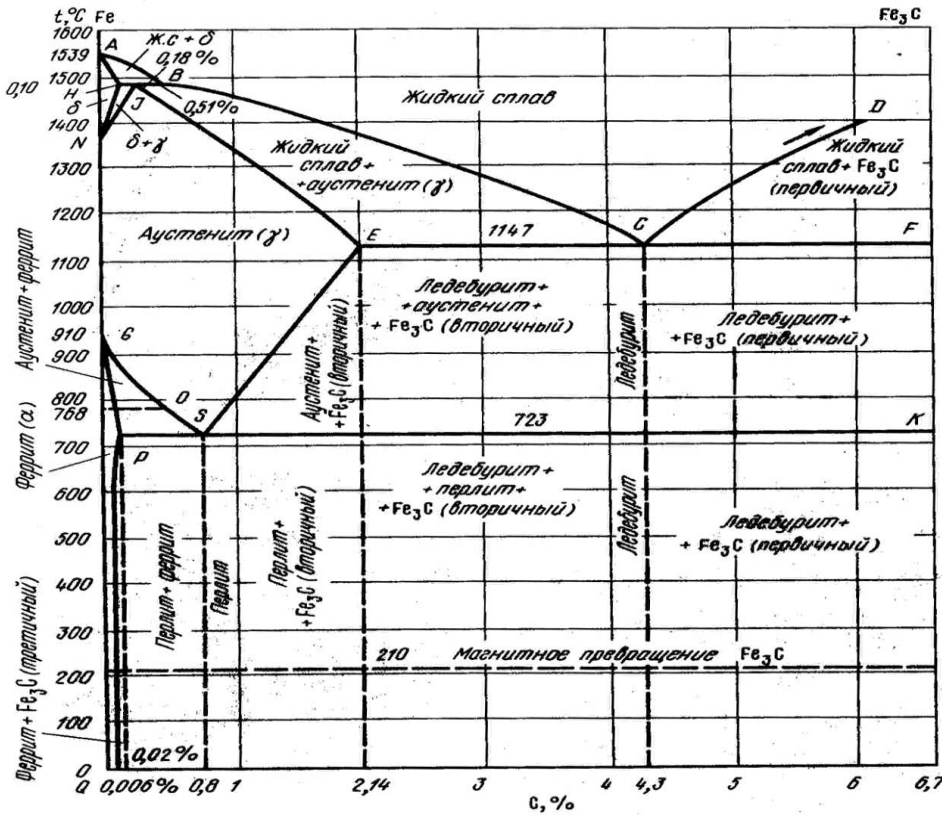


Рис. 3.1. Діаграма стану залізо-цементит.

Класифікація вуглецевих сталей

Сталі класифікують за наступними ознаками:

- за структурою у рівноважному (відпаленому) стані;
- за призначенням;
- за складом;
- за ступенем розкислення;

за способом виробництва;
за якістю.

1. Класифікація за *структурою*.

За структурою у рівноважному (відпаленому) стані вуглецеві сталі поділяють на:

доевтектоїдні сталі з вмістом від 0,02% до 0,8% вуглецю зі структурою, яка складається з фериту – світлі зерна і перліту – темні зерна. Кількість перліту в сталі змінюється пропорційно кількості вуглецю;

евтектоїдні, що містять 0,8% вуглецю, із структурою - перліт;

заевтектоїдні сталі з вмістом від 0,8% до 2,14% вуглецю зі структурою, що складається з перліту і вторинного цементиту, розміщеного у вигляді стінки межами зерен перліту. Цементит, як і ферит, при травленні 4%-им розчином азотної кислоти в спирті має білий колір. Тому застосовують лужний травник – нітрат натрію, який забарвлює цементит в темний колір і зовсім не діє на ферит.

2. Класифікація за *призначенням*.

Вуглецеві сталі за призначенням поділяють на:

будівельні;

машинобудівні або конструкційні, які залежно від термообробки поділяють на цементовані, покращувані, середньовідпущені (ресорно-пружинні), автоматні, ливарні;

інструментальні сталі, що містять 0,7 – 1,3% вуглецю;

3. Класифікація за *ступенем розкислення*:

Киплячі, розкислені лише марганцем (позначають *кп*);

напівспокійні, розкислені марганцем і алюмінієм (позначають *пс*);

спокійні, розкислені марганцем, кремнієм і алюмінієм (позначають *сп*).

4. Класифікація за *складом*:

маловуглецеві (0,02 – 0,25% вуглецю);

середньовуглецеві (0,25 – 0,64% вуглецю);

високовуглецеві (0,64 – 2,14% вуглецю).

5. Класифікація за *способом виробництва*:

мартенівські, отримані в мартенівських печах;

конверторні, отримані в конверторах;

електросталі, отримані в електропечах;

вакуумні, отримані в вакуумних печах;

електрошлакові, отримані способом електрошлакового переплаву.

6. Класифікація за *особливими (дефектними) структурами* сталі.

Особливими (дефектними) називають структури металів і сплавів, які не є типовими, їх отримують у результаті виконання деяких технологічних операцій або відхилення від встановлених режимів. До особливих структур належать:

крупнозерниста структура;

відманштеттова структура;
структура перепаленого металу;
структура зварного заліза;
стрічкова або лінійчата структура.

Крупнозерниста структура спостерігається, як правило, в литій або перегрітій сталі. Знижує механічні властивості. виправляють її відпалом.

Відманштеттова структура є наслідком додаткового прискореного охолодження перегрітої сталі з характерним розміщенням фериту у вигляді голок межами і всередині зерен. Вона супроводжується дуже низькими механічними властивостями, особливо ударною в'язкістю. виправляють відпалом.

Структура перепаленого металу є результатом високого нагрівання (близько до точки плавлення). Цій структурі характерні крупні зерна, межі яких оплавлені. Сталь обезвуглецьована на поверхні і межами зерен. Утворені небезпечні домішки порушують зв'язок між зернами. Перепал – невиправний дефект.

Зварне залізо отримують особливим способом. Після продування в конверторі отриманий метал виливають у ванну з рідким шлаком, отримують крицю, яку піддають обробці тиском. Такий метал не містить розчиненого кисню, не має бульбашок, тріщин, усадочних раковин. Недоліком цього заліза є наявність шлаку, який знижує механічні властивості. Мікроструктура зварного заліза складається з фериту і орієнтованих шлакових домішок.

Стрічкова структура є результатом сильного забруднення сталі неметалічними домішками (оксиди, сульфід), які при гарячій обробці тиском витягуються у вигляді стрічок у напрямку деформуючого зусилля. Стрічкова структура може бути і результатом порушення технологічної обробки тиском. Якщо кінець обробки тиском проводити при заниженій температурі у двофазній ділянці аустеніту і фериту, то ферит, що виділяється, витягується стрічками в напрямку прикладеного зусилля. Стрічкова структура супроводжується анізотропією властивостей. усувають її відпалом або нормалізацією.

7. Класифікація за якістю.

Класифікація за якістю проводиться в залежності від кількості домішок сірки і фосфору.

- 7.1. Сталі звичайної якості (вміст S і P 0,04...0,06% кожного).
- 7.2. Якісні сталі (0,035% S, 0,035% P).
- 7.3. Сталі високої якості (0,025% S, 0,025% P).
- 7.4. Сталі особливо високої якості (0,015% S, 0,015% P).

Маркування сталей

Сталі за ДСТ маркують буквенними і числовими індексами.

1. Сталі вуглецеві *звичайної якості*.

Сталі вуглецеві звичайної якості за ДСТ 380 - 71 поділяють на три групи:

А – які поставляють за механічними властивостями;

Б – які поставляють за хімічним складом;

В – які поставляють за хімічним складом і механічними властивостями. Залежно від нормуючих показників (вміст С, Р, S) сталь кожної групи поділяють на категорії.

Сталі залежно від групи маркують:

А – Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6;

Б – БСт0, БСт1...БСт6;

В – ВСт1 ... ВСт5.

Букви Ст означають "сталь звичайної якості", цифри від 0 до 6 – умовний порядковий номер марки. Букви Б і В перед маркою означають групу сталі; групу А не вказують.

Індекси *кп*, *пс*, *сп* після номера марки позначають ступінь розкислення сталі.

Дуже важливою експлуатаційною і технологічною характеристикою сталі є величина зерна, яку визначають з допомогою мікроскопа при 100 - кратному збільшенні шляхом замірювання або порівняння зі стандартною шкалою, що містить 8 номерів. Номеру 1 відповідає найкрупніше зерно, а номеру 8 – найменша величина. Киплячі сталі – грубозернисті, спокійні – дрібнозернисті.

2. *Конструкційні якісні сталі.*

Конструкційні якісні сталі класифікують за ДСТ 1050 -70. Наприклад: Сталь 05кп, 08кп, 10кп, 16кп, 15...85.

Цифри вказують середній вміст вуглецю в сотих долях процента. Для позначення конструкційної якісної сталі з підвищеним умістом марганцю в кінці марки ставлять букву Г: 15Г, 20Г.

3. *Інструментальні вуглецеві якісні сталі.*

Інструментальні вуглецеві якісні сталі маркуються за ДСТ 1435 - 70 буквою У і цифрою, що вказує вміст вуглецю в десятих долях процента: У7, У8 ... У13.

Для позначення високоякісної сталі в кінці марки ставлять букву А, а сталі особливо високої якості – букву - Ш: У7А, У7Ш.

ЧАВУНИ

Чавунами називають сплави заліза з вуглецем, які містять більше 2,14% (за вагою) вуглецю. Теоретична межа між сталями і чавунами вказана на діаграмі стану системи Fe-C точкою "Е", яка визначає найбільшу кількість вуглецю, що може бути розчинений в Fe_γ при температурі 1147°C. Частіше зустрічаються чавуни з умістом. 2,5 – 4,5% С.

Крім вуглецю, який є головним компонентом сплаву, в чавунах завжди є інші елементи, які постійно присутні в кожному з чавунів, переходячи до його складу в доменній печі із залізних руд, палива, флюсів. Інші, такі як Ni, Cr, Cu, Mo, потрапляють випадково, перебуваючи в залізних рудах, або ж їх вводять в чавун для надання йому особливих властивостей.

Вуглець у чавунах може бути або в хімічно зв'язаному із залізом стані у вигляді Fe₃C, який називають *цементитом* або карбідом заліза, або у вигляді так

званого вуглецю відпалу (*графіту*). Залежно від виду, в якому знаходиться вуглець в чавунах, їх поділяють на білі та сірі.

Сірі чавуни за формою графіту підрозділяють на сірі звичайні, ковкі і високоміцні. *Білі чавуни* – це граничні чавуни; їх використовують для виробництва сталі. Білі чавуни є також вихідним продуктом для отримання так званих "ковких" чавунів. Сірі звичайні, високоміцні та ковкі чавуни – це ливарні сплави, їх використовують для виготовлення відливок деталей машин. На поведінку вуглецю в сплавах з залізом впливають два фактори:

1. Хімічний склад сплаву.
2. Швидкість його охолодження, особливо в ділянці високих температур.

Білі чавуни.

У цих чавунах весь вуглець міститься у вигляді Fe_3C . Цьому сприяє, головним чином, підвищений вміст Mn у чавунах. Марганець сам утворює карбіди з вуглецем і сприяє більшій стійкості Fe_3C в чавуні. Марганцю в переробних чавунах міститься завжди від 1,0 до 2,5%. Аналогічно до марганцю діє хром, молібден та інші карбідоутворюючі елементи.

Мікроструктура білих чавунів залежить від умісту в них вуглецю її легко можна визначити за діаграмою стану. Характерною структурною складовою білих чавунів є евтектика *ледебурит*.

Ледебуритом називають механічну суміш аустеніту і первинного цементиту, яка утворюється при температурі $1147^{\circ}C$ і містить 4,3 % C (точка C на діаграмі).

Білий чавун, який містить 4,3 % C, має структуру, яка складається тільки із зерен ледебуриту. Це евтектичний білий чавун. При температурі $1147^{\circ}C$ аустеніт, який входить до складу евтектики, містить у розчині 2,14% C. При зниженні температури від $1147^{\circ}C$ до $727^{\circ}C$ з аустеніту виділяється вторинний цементит (по лінії ES на діаграмі), який звичайно структурно не виявляється, так як він об'єднується з цементитом евтектичного походження. При температурі $727^{\circ}C$ аустеніт має концентрацію, яка дорівнює 0,8% C і при цій температурі перетворюється в перліт. І тому нижче $727^{\circ}C$ ледебурит вже є сумішшю цементиту і перліту, яка зберігає характерні ознаки механічної суміші.

На відміну від ледебуриту, що утворився при температурі $1147^{\circ}C$ та існував до температури $727^{\circ}C$, ледебурит в ділянках температур нижче евтектоїдної називають *перетвореним ледебуритом*. Білі чавуни з умістом вуглецю від 4,3 до 6,67 % називають заевтектичними. В структурі цих чавунів крім ледебуриту є зерна надлишкового первинного цементиту, який виділяється зі сплаву при його затвердінні, починаючи від лінії CD на діаграмі у формі довгих голкових кристалів.

Так як первинний цементит не має структурних перетворень, то при температурах нижче $727^{\circ}C$ структура заевтектичного білого чавуну складається з перетвореного ледебуриту і первинного цементиту. Білі чавуни з умістом вуглецю від 2,0 до 4,3 % називають доевтектичними.

Крім ледебуриту в їх структурі є надлишковий аустеніт, який виділяється з рідкого сплаву при його кристалізації по лінії AC на діаграмі. При охолодженні від температури 1147°C до 727°C аустеніт, що виділився спочатку, змінює свою концентрацію від 2,14 до 0,8% C і при температурі 727°C знову зазнає перлітного перетворення. Нижче 727°C структура білого чавуну складається з перетвореного ледебуриту, перліту і вторинного цементиту.

Кількісне співвідношення між структурними складовими в білих чавунах легко визначити за діаграмою Fe - Fe₃C сплавів, використовуючи правило відрізків.

Білі чавуни за механічними властивостями відрізняються великою крихкістю і високою твердістю, яка збільшується пропорційно вмісту вуглецю.

Сірі чавуни.

Характерною структурною складовою сірих звичайних чавунів є пластинчатий *графіт*. Відносно умов утворення графіту серед матеріалознавців є дві точки зору.

1. Графіт виділяється безпосередньо з розчину.

2. Завжди за будь-яких умов графіт є продуктом розпаду цементиту.

Друга теорія більш розповсюджена і відповідає сучасним уявленням про фазові перетворення в сплавах і повністю пояснює зміни, які спостерігаються в чавунах.

Графіт непластичний, його міцність мізерна. Твердість графіту дуже мала. В сірому чавуні графіт розташований у вигляді пластинок різної форми і довжини, розрихлює його металічну основу і знижує його властивості.

Графіт, як неметалічна складова, слабо полірується і зовсім не відображає світла в мікроскопі. Тому вже на не травленому шліфі графіт можна легко відрізнити на фоні неметалічної основи чавуну.

Вуглець у сірому чавуні в більшості знаходиться у вигляді графіту. Частина вуглецю може також бути зв'язана з залізом у вигляді Fe₃C.

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{зв'яз}} + C_{\text{св.}} \quad (5.1)$$

На відміну від мікроструктури білих чавунів, яку визначають загальним умістом вуглецю в чавуні, мікроструктура металічної основи сірих чавунів залежить тільки від кількості зв'язаного в них вуглецю. На цю кількість впливає наявність в чавуні домішок, які сприяють графітизації, особливо кремнію. Кількість кремнію в сірих чавунах заходиться в межах від 1,25 до 4,25%. Аналогічно кремнію графітизації сірого чавуну сприяють також алюміній, нікель, мідь та ін.

На кількість Fe₃C в чавуні значно впливає також швидкість охолодження сплаву. Швидке охолодження, як правило, сприяє утворенню Fe₃C, повільне охолодження – його розкладу і виділенню графіту.

Класифікація сірих чавунів за видом металічної основи.

1. Якщо в сірому чавуні $C_{\text{зв'яз.}} = 0\%$ і весь $C_{\text{заг.}} = C_{\text{граф}}$, то мікроструктура такого чавуну складається з фериту і графіту.

2. Якщо $0\% < C \text{ зв'яз.} < 0,8\%$, то структура сірого чавуну складається з фериту, перліту і графіту.

Сірі чавуни, в яких $C \text{ зв'яз.} \leq 0,8\%$ називають доевтектоїдними сірими чавунами.

3. Якщо $C \text{ зв'яз}$ в сірому чавуні відповідає вмісту його в евтектоїді (0,8%), мікроструктура такого чавуну складається з перліту і графіту.

4. Якщо $C \text{ зв'яз.}$ в сірому чавуні від 0,8 до 2,0%, його мікроструктура складається з перліту, вторинного цементиту і графіту. Це так звані половинчасті сірі чавуни.

На практиці найчастіше отримують перлітний сірий чавун, який має високі механічні властивості, високу зносостійкість і добру оброблюваність на верстатах.

Форма виділення графіту в сірому чавуні істотно впливає на механічні властивості останнього. Чавун, в якому вуглець знаходиться у вигляді дрібних пластинок, має підвищені механічні властивості, чавун з крупнопластинчатим виділенням графіту – знижені механічні властивості. Великої уваги заслуговує використання в машинобудуванні високоміцного модифікованого сірого чавуну. Його отримують шляхом додавання в чавун незадовго перед розливанням (на жолоб або в ковш) у невеликих кількостях (від 0,1 до 0,8%) магнію і феросиліцію чи інших модифікаторів. Тепер модифікований чавун одержують з межею міцності на розтяг від 450 до 1000 МПа і відносним видовженням від 1,5 до 7,8%.

Ковкий чавун.

Ковким чавуном називають чавун, отриманий спочатку у вигляді виливки білого чавуну, який шляхом подальшої термічної обробки – відпалу (томлення) змінює свій внутрішній склад і механічні властивості.

Отримання ковкого чавуну ґрунтується на властивості цементиту при нагріванні до високих температур і витримці при цих температурах розкладатися: $Fe_3C \rightarrow 3Fe_\gamma + C$ з виділенням вуглецю у вигляді пластівців. Цей вуглець називають *вуглецем відпалу*.

Перебуваючи в чавуні у вигляді пластівців, вуглець відпалу руйнує і розпушує зв'язок зерен його металічної основи в меншій мірі, ніж графіт у сірому звичайному чавуні і такий чавун має підвищені механічні властивості, особливо міцність. Він також набуває деякої пластичності, яка дозволяє відливкам з ковкого чавуну сприймати пружні й незначні пластичні деформації без небезпеки їх руйнування.

Залежно від ступеня графітизації відливки структура ковкого чавуну може складатися з фериту і вуглецю відпалу або ж перліту і вуглецю відпалу.

Маркування чавунів

Сірі звичайні чавуни маркують буквами СЧ і цифрами, що означають границю міцності на розтяг в кгс/мм². Наприклад, СЧ15 і СЧ20 і т.п.

Ковкі чавуни маркують буквами КЧ і цифрами, перша з яких означає межу міцності на розтяг в кгс/мм², а друга – відносне видовження в %. Наприклад, КЧ 33-6 ($\sigma = 33$ кгс/мм² або 330 МПа, $\delta = 6\%$).

Високоміцні чавуни маркують буквами ВЧ і цифрами, які мають той же зміст, що і в ковких чавунах. Наприклад, ВЧ100-1,5 $\sigma = 100$ кгс/мм² або 1000МПа, $\delta = 1,5\%$.

Прилади і матеріали.

1. Матеріали:

- зразки сталі (5 шт.);
- технічне залізо;
- сталь доевтектоїдна, евтектоїдна і заевтектоїдна;
- зразок з дефектною структурою.
- зразки чавунів у нетравленому вигляді (3 шт.);
- зразки чавунів у травленому вигляді (3 шт.);
- зразки білих чавунів (3 шт.);
- травники;
- спирт;
- промокальний папір;
- вата;
- піпетка;
- фетр.

2. Наочні посібники:

- стандартна шкала величини зерна;
- альбом з фотознімками структур сталі;
- графік залежності властивостей структур сталі від умісту вуглецю;
- таблиця марок сталі.

3. Обладнання:

- мікроскопи МИМ - 7, ММР - 4;
- шліфувально-полірувальна машина.

Порядок проведення роботи

1. Отримати прилади і матеріали.
2. Покласти задалегідь підготовлений зразок на стіл мікроскопа полірованої поверхнею до об'єктива.
3. Дослідити й описати мікроструктуру заданих зразків, схематично замалювати кожну.
4. Під кожним зразком вказати збільшення і назву структури.
5. Визначити вміст вуглецю в досліджуваних сталях.
6. Визначити шляхом порівняння зі стандартною шкалою номер зерна сталі.
7. Розглянути під мікроскопом і замалювати мікроструктури доевтектичного і заевтектичного білих чавунів; вказати їх хімічний склад і властивості.

8. Вивчити і замалювати мікроструктури сірих звичайних чавунів з різною металічною основою до і після травлення.

9. Замалювати типові мікроструктури високоміцного і ковкого чавунів, пояснити, як впливає форма графіту на механічні властивості чавуну.

Контрольні запитання

1. Що таке сталі?
2. Вплив вуглецю та домішок на властивості сталей.
3. Охарактеризувати фазові та структурні складові сталей.
4. Ізотермічні перетворення в сталях.
5. Класифікація вуглецевих сталей.
6. Маркування вуглецевих сталей.
7. Яка різниця між сталями і чавунами?
8. В якому вигляді може бути присутнім вуглець у чавунах?
9. Яка різниця між білими і сірими чавунами? Галузь їх застосування.
10. Які структурні складові зустрічаються в білих чавунах?
11. Як поділяють білі чавуни залежно від вмісту в них С?
12. Що таке аустеніт, ледебурит, перліт?
13. Яка структурна складова характерна для сірих чавунів?
14. Як впливає графіт на властивості металічної основи сірого чавуну?
Властивості модифікованого чавуну.
15. Яка різниця в хім. складі білого і сірого чавунів? Де більше марганцю, де більше кремнію? Як ці елементи впливають на властивості чавунів?
16. Як впливає фосфор і сірка на ливарні властивості сірих чавунів?
17. Як класифікують сірі чавуни за структурою?
18. Що називають ковким чавуном? Яка різниця між ковким і сірим звичайним чавуном?
19. Як маркують чавуни?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4
ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛЕЙ
Мета роботи

Вивчити вплив на структуру і твердість сталі швидкості охолодження при термічній обробці; вмісту вуглецю; температури відпуску. Оволодіти методикою термічної обробки.

Короткі теоретичні відомості

Термічною обробкою (ТО) називається нагрівання сплаву до певної температури, витримка його при даній температурі і подальше охолодження із заданою швидкістю.

Метою термообробки є отримання заданих властивостей сплаву шляхом зміни його структури без зміни форми і складу. Термічною обробкою можна змінити властивості сплавів для найрізноманітніших цілей. Будь-який режим термообробки може бути графічно представлений в координатах "температура-час".

Зміна складу і властивостей сплавів шляхом термічної обробки тісно пов'язана з діаграмами стану. Діаграма стану показує, які сплави можуть піддаватися термічній обробці і в яких сплавах даної системи можна очікувати максимального ефекту термообробки.

Для того, щоб можна було здійснити ТО, сплав повинен мати фазові перетворення, тобто при нагріванні в ньому мають проходити або зміна розчинності (рис.4.1 а, б) або алотропні перетворення (рис.4.1 в). Сплави, що не мають фазових перетворень, зумовлених зміною розчинності чи алотропним перетворенням, не можуть зміцнюватись шляхом термічної обробки.

Основними видами ТО є:

а) **відпал I-го роду** - термічна обробка сплавів, що не мають фазових перетворень, яка полягає в нагріванні вище температури рекристалізації з подальшим повільним охолодженням (з піччю);

б) **відпал II -го роду** - нагрівання вище температури фазових перетворень з подальшим повільним охолодженням. Якщо охолодження проводиться прискорено, тобто на повітрі, то такий відпал називається **нормалізацією**;

в) **гартування** - нагрівання вище температури фазових перетворень з подальшим швидким охолодженням. При гартуванні різко змінюються властивості - твердість, міцність зростають, пластичність знижується, фіксується нерівноважний стан сплаву;

г) **відпуск**- термічна обробка, яка полягає у нагріванні загартованої сталі нижче температур фазових перетворень з метою зняття внутрішніх напружень і остаточного формування структури і властивостей.

Найбільш поширеним видом зміцнювальної термообробки вуглецевих сталей, що містять більше 0,3% вуглецю, є гартування з відпуском.

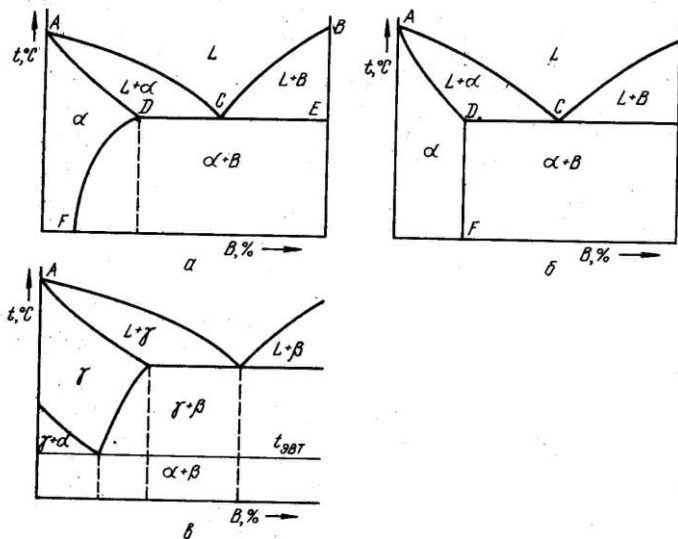
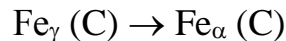


Рис. 4.1. Діаграми стану сплавів, що можуть термічно зміцнюватися

Гартуванню піддають інструменти для обробки металів - різці, свердла, зубила, напильники; вимірювальний інструмент - калібри, шаблони; інструменти, що деформують метал в холодному стані - штампи, а також різноманітні деталі машин - пружини, шийки колінвалів та ін.

Основною структурною складовою загартованих сталей є **мартенсит**, тобто пересичений розчин вуглецю в α -Fe. Мартенсит утворюється в результаті бездифузійного перетворення переохолодженого до 200 °C аустеніту.



Мартенсит має дуже високу твердість і разом з тим він крихкий і непластичний.

Перетворення аустеніту в мартенсит супроводжується збільшенням об'єму на 2,5 – 3 %. Збільшення об'єму є однією з причин виникнення внутрішніх напруг, які можуть викликати деформування і утворення тріщин у виробах в процесі гартування.

Крім мартенситу, структурними складовими загартованої сталі можуть бути сорбіт, тростит і бейніт.

Сорбіт - це дрібнодисперсна суміш фериту і цементиту, яка утворюється в результаті розпаду аустеніту, переохолодженого до 650 °C



Сорбіт має високі механічні властивості: високу міцність і хорошу в'язкість при підвищеній твердості (НВ 250 -300).

Тростит також є сумішшю фериту і цементиту, але більш дисперсною, ніж сорбіт. Утворюється в результаті розпаду аустеніту, переохолодженого до 600 – 560 °C. Разом з високою міцністю тростит має високу границю пружності, але низьку в'язкість.

Бейніт - це структура змішаного типу - частково перлітного, частково мартенситного, оскільки складається з пересиченого розчину вуглецю в α -Fe і

цементиту Fe_3C . Твердість бейніту вища, ніж у перлітних структур (сорбіту і троститу), і нижча, як у мартенситу. Бейніт утворюється в проміжній області, що межує з областями перлітного і мартенситного перетворень.

Охолодження можна проводити:

- 1) ізотермічним методом, тобто в нагрітому середовищі, що має температуру, яка лежить в інтервалі між точками A_{c1} ($727\text{ }^\circ\text{C}$) і M_p (точка початку мартенситного перетворення),
- 2) шляхом неперервного охолодження.

Процес ізотермічного розпаду зображається у вигляді С-подібних кривих, що показують кількість розкладеного аустеніту в залежності від часу, що пройшов з початку перетворення при даній температурі (рис.4.2).

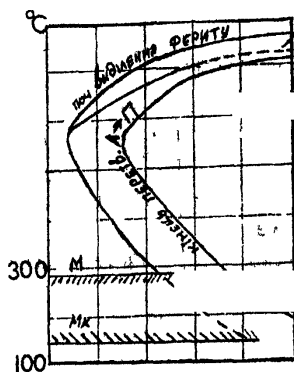


Рис. 4.2. Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту

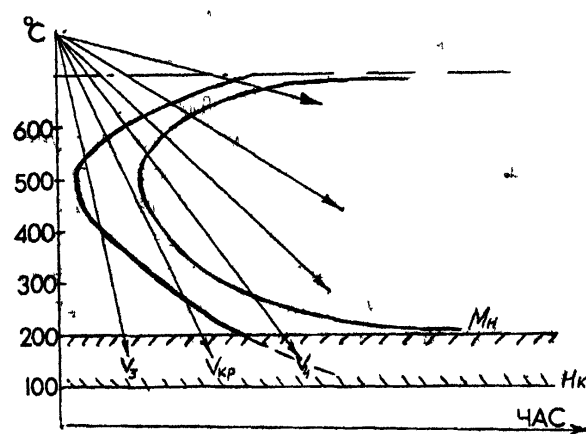


Рис. 4.3. Утворення різних структур при неперервному охолодженні

Перетворення при неперервному охолодженні легко пов'язати з перетвореннями при ізотермічному розпаді переохолодженого аустеніту, шляхом накладання кривих неперервного охолодження на С-подібну діаграму (Рис. 3.3). Як видно з діаграми, при Рис.их швидкостях будуть одержані перлітні структури - сорбіт, тростит, а при великих – мартенсит.

Отже, **критична швидкість гартування** ($V_{кр}$) - це така мінімальна швидкість охолодження, при якій аустеніт перетворюється в мартенсит. Температурний інтервал мартенситного перетворення (M_p - M_k) залежить від хімічного складу сталі.

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ

Температура нагрівання під гартування визначається хімічним складом сталі. Для доевтектоїдної сталі температура нагрівання має бути на $30 - 50\text{ }^\circ\text{C}$ вища критичної точки A_3 , а для заевтектоїдної сталі - на $30 - 50\text{ }^\circ\text{C}$ вища критичної точки A_1 .

В якості **гартувальних середовищ** використовується: вода, розчини солей, лугів, кислот; мінеральні масла; розплави солей і легкоплавких металів.

СПОСОБИ ГАРТУВАННЯ СТАЛЕЙ

- а) гартування в одному охолоджувачі;
- б) перервне гартування;
- в) гартування з підстуджуванням;
- г) гартування із самовідпуском;
- д) ступінчасте гартування;
- е) ізотермічне гартування;
- є) поверхневе гартування.

Гартування в одному охолоджувачі

Виріб, нагрітий до температури гартування, занурюють в гартувальне середовище (воду чи масло), де витримують до повного охолодження. Цей метод гартування найбільш простий і використовується для більшості сталених виробів нескладної форми. **Недоліком** цього методу є небезпека виникнення великих внутрішніх напружень при температурі мартенситного перетворення, якщо гартування проводилось у воді.

Перервне гартування

Виріб охолоджують спочатку в швидко охолоджуючому середовищі, а потім - в повільно охолоджуючому. Перше охолодження проводять у воді, а потім виріб переносять в масло. Цей спосіб використовується для гартування виробів з вуглецевих інструментальних сталей середніх і великих перерізів. **Недоліком** цього методу є складність регулювання витримки у воді. Орієнтовно час витримки у воді береться рівним 1 сек - на кожні 5-6 мм товщини виробу.

Гартування з підстуджуванням

Використовується цей метод для зменшення внутрішніх напружень. Загартувану деталь перед зануренням в охолоджувач деякий час витримують на повітрі. При підстуджуванні температура деталей не повинна знижуватися нижче критичної точки A_{c3} (для доевтектоїдних сталей) чи A_{c1} (для заевтектоїдних сталей).

Ступінчасте гартування

Загартувана деталь після нагрівання до температури гартування охолоджується в гартувальному середовищі, нагрітому вище температури M_p , що забезпечує швидкість охолодження вище критичної в інтервалі найменшої стійкості аустеніту. Витримка в цьому середовищі повинна надати загартуваній деталі температуру гартувальної ванни і не повинна перевищувати час, що відповідає початку перетворення аустеніту для даної сталі. Потім йде остаточне, звичайно повільне охолодження, під час якого і проходить гартування, тобто перетворення аустеніту в мартенсит. Цей спосіб дає гартування з мінімальними внутрішніми термічними напруженнями. Використовується ступінчасте гартування для деталей до 10 - 12 мм з вуглецевих сталей, а з легованих - діаметром 20-30 мм.

Ізотермічне гартування

Загартувана, деталь після нагрівання до температури гартування охолоджується в гартувальному середовищі, температура якого береться в

інтервалі 250 – 400°C (трохи вище M_p), тривалість часу витримки в гартувальному середовищі визначається часом перетворення аустеніту при даній температурі. Після ізотермічного гартування сталь має структуру бейніту, набуває високої твердості і підвищеної в'язкості. Гартувальними середовищами для ізотермічного гартування є розплави солей металів.

Гартування із самовідпуском

Застосовується для ударного інструменту (зубила, молотки і т. п.), якому необхідно надати в різних частинах різної твердості і в'язкості. При гартуванні охолоджується у воді тільки робоча частина інструменту, а потім, витягнувши її з води, необхідно дочекатися її нагрівання за рахунок тієї частини інструмента, яку не занурюють у воду, до появи на поверхні робочої частини певного кольору:

солон'яно – жовтого кольору, якому відповідає	220 – 240°C,
оранжевий -	240 – 260°C,
червоно – фіолетовий -	260 – 280°C,
синій -	280 – 300°C.

Поверхнєве гартування

Для деталей, що працюють в умовах тертя, висока твердість потрібна лише на поверхні. Цього можна досягти поверхневим гартуванням, при якому до температури гартування нагрівається тільки поверхневий шар металу, який потім швидко охолоджується. Нагрівання поверхневого шару деталі може здійснюватися газовим полум'ям, електрострумом і т. п.

ВІДПУСК СТАЛІ

Гартування сталі супроводжується суттєвим збільшенням об'єму, що викликає виникнення значних внутрішніх напруг. Гартувальні напруги можуть привести до короблення і утворення тріщин в процесі гартування або викликати деформацію в умовах експлуатації. Тому загартовані деталі машин чи інструментів завжди піддають відпуску.

Відпуск здійснюється шляхом нагрівання загартованої сталі до температури менше A_1 . Основним перетворенням при відпуску є розпад мартенситу – виділення надлишкового вуглецю у вигляді дрібних кристалів карбїду заліза. Мартенсит гартування переходить в мартенсит відпуску. Залишковий аустеніт також перетворюється в мартенсит відпуску, а потім зі збільшенням температури нагрівання спостерігається ряд послідовних перетворень: мартенсит відпуску перетворюється в бейніт відпуску, бейніт – в тростит, а тростит в сорбіт відпуску. Структури відпуску мають зернисту будову.

В залежності від температури нагрівання розрізняють три ***різновиди відпуску***: низький, середній і високий відпуск.

Низький відпуск полягає в нагріванні загартованої сталі до температури 200°C, витримці при цій температурі та повільному охолодженні. Утворена структура – відпущений мартенсит. Такий відпуск рекомендується для інструментальних сталей і цементованих деталей.

Середній відпуск полягає в нагріванні загартованої сталі до 350 – 400°C, витримці при цій температурі та повільному охолодженні. Утворена структура – тростит відпуску. Такий відпуск рекомендується для пружин і ресор.

Високий відпуск полягає в нагріванні загартованої сталі до 500 – 650°C, витримці при цій температурі та повільному охолодженні. Утворена структура – сорбіт відпуску. Гартування сталі в комплексі з високим відпуском на сорбіт називають термічним **покращенням**. Покращення рекомендується для середньовуглецевих сталей.

Порядок проведення роботи

1. Одержати зразки, користуючись кліщами, помістити їх в піч.
2. Провести нагрівання зразків до відповідної температури.
3. Вийняти зразки з печі і провести гартування чи відпуск згідно із завданням.
4. Зачистити, поверхню (торці) зразків напильником, а при необхідності на шліфувальному крузі.
5. Заміряти твердість кожного зразка на твердомірі ТК.
6. Практична частина цієї роботи передбачає виконання студентом завдання з відображенням його результатів у звіті.

ЗАВДАННЯ

Встановити залежності твердості сталей від швидкості охолодження.

Для виконання роботи беруться 4 зразки сталі 30 і нагріваються до певної температури. Тривалість витримки при температурі - 10 хв. Після того, як колір зразка співпаде з кольором печі, нагріті зразки виймають і швидко переносять в охолоджуюче середовище: на повітря, в масло, воду. Будують теплові режими відпалу, нормізації і гартування.

Перед заміром твердості, після гартування зразки зачищають на абразивному крузі для зняття окалини і обезвуглецьованого шару. Заміри проводять на твердомірі Роквелла алмазним конусом при навантаженні 150 кг. Результати заносять у таблицю. За одержаними даними будується графік в координатах: твердість (НВ) - швидкість охолодження °C/с.

Контрольні питання

1. Зв'язок діаграми стану з можливістю проведення термічної обробки.
2. Основні види термічної обробки сталі та їх призначення.
3. Чотири основних перетворення в сталях при нагріванні та охолодженні.
4. Діаграма ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту.
5. Мартенситна діаграма. Що таке мартенсит?
6. Особливості мартенситного перетворення.
7. Відпали I-го та II-го роду і їх різновиди.
8. Мета гартування, вибір температури гартування.
9. Гартувальні середовища. Способи гартування сталі, їх переваги і недоліки, використання.
10. Види і призначення відпуску сталі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 СПЛАВИ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ І МІДІ

Мета роботи

Вивчення мікроструктури сплавів на основі алюмінію і міді.

Ознайомлення з практикою термічної обробки дуралюмініу та визначення його твердості після штучного старіння.

Встановлення взаємозв'язку між мікроструктурою сплавів на основі міді та відповідною діаграмою фазового стану.

Короткі теоретичні відомості

Сплави на основі алюмінію ділять на три групи:

деформівні, ливарні та спечені.

Деформівні алюмінієві сплави за властивостями та використанням поділяються на дві групи:

1. Сплави, що не зміцнюються термічною обробкою:

АМц, АМг, АМгЗ, АМг5п і АМг6. Ці сплави використовуються у трьох станах: відпаленому, напівнагартваному та нагартваному. Сплави цієї групи відзначаються високою корозійною стійкістю та доброю зварюваністю, проте низькою та середньою міцністю і використовуються у вигляді листів для виготовлення зварних виробів (бензо- та маслбаків) і деталей, що виготовляються холодною штамповкою.

2. Сплави, що зміцнюються термічною обробкою:

а) алюмінієві сплави для листів, профілів і труб марок Д1, Д6, Д16 і В95.

б) алюмінієві сплави для заклепок марок Д18 і В65.

в) алюмінієві сплави для штамповок марок Д1, АК6, АК8.

Сплави цієї групи характеризуються більш високими механічними властивостями, проте пониженою корозійною стійкістю на вологому повітрі, в річній та морській воді.

При експлуатації у вологому середовищі їх захищають від корозії *плакуванням* або *анодною поляризацією*. Плакуванню піддають тільки листи.

Плакування проводять шляхом гарячої прокатки виливків сплаву з листами чистого алюмінію або сплаву алюмінію з цинком.

Профілі, труби та інші пресовані вироби здебільшого захищають від корозії за допомогою анодної поляризації з подальшим лакофарбовим покриттям.

Анодна поляризація являє собою гальванічний процес при якому на поверхні сплаву утворюється тонка плівка Al_2O_3 , яка захищає метал від корозії.

На механічні властивості алюмінієвих сплавів впливає хімічний склад, а також вид термічної обробки.

Режим термічної обробки залежить від марки сплаву.

Дуралюмін марки Д1 відноситься до системи Al- Cu-Mg -Mn і має такий хімічний склад: Cu 3,8- 4,8%, Mg 0,4- 0,8%, Mn 0,4- 0,8%, Fe ≤ 0,7%, Si ≤ 0,7%, Al- решта. Сума інших домішок ≤ 0,4%

Мідь та магній- основні компоненти, які впливають на зміцнення сплаву. Марганець є обов'язковою присадкою, він подрібнює структуру, підвищує міцність та корозійну стійкість сплаву.

Залізо та кремній - небажані домішки. Залізо є шкідливою домішкою, воно значно знижує міцність та пластичність дуралюміну.

Кремній до деякої міри усуває шкідливий вплив заліза, зв'язуючи його в сполуку, яка легко руйнується при деформації.

Напівфабрикати із сплаву Д1 виготовляються у вигляді листів, плит, профілів, прутків, труб, штамповок та поковок.

Для підвищення пластичності та усунення наклепу дуралюмін після холодної обробки тиском піддають **рекристалізаційному відпалу** при температурі 340- 370 °С з охолодженням на повітрі.

Типові механічні властивості дуралюміну марки Д1 після відпалу.

$\sigma_b = 210 \text{ Мн/м}^2$, $\delta = 18\%$, $\text{НВ} = 450 \text{ Мн/м}^2$.

Структура сплаву Д1 після відпалу складається, в основному, із кристалів твердого розчину Al(Cu, Si, Mg) і вторинних виділень кристалів CuAl_2 , Mg_2Si та Al_2CuMg .

Гартування дуралюміну полягає в нагріванні сплаву вище лінії граничної розчинності, витримки при цій температурі та швидкому охолодженні.

В сплаві Д1 при нагріванні та витримці при температурі 490 - 505°C відбувається розчинення використаних фаз (CuAl_2 , Mg_2Si та S- фази). При гартуванні дуралюміну з охолодженням в воді фіксується структура пересиченого твердого розчину Al (Cu, Mg, Si), яка існувала при температурі нагрівання.

В загартованому стані $\sigma_b = 300 \text{ Мн/м}^2$, $\delta = 18\%$, $\text{НВ} = 750 \text{ Мн/м}^2$.

Цей перенасичений твердий розчин є нестійкий. Самочинний розпад його починається при кімнатній температурі через 2- 3 год. після гартування і закінчується через 5- 7 діб.

Такий процес зміцнення загартованого дуралюміну при кімнатній температурі називається природнім **старінням**.

Структура сплаву Д1 після гартування та природнього старіння складається із зерен твердого розчину і темних включень інтерметалічних сполук заліза, що не розчинилися в алюмінію (Рис.5.1).

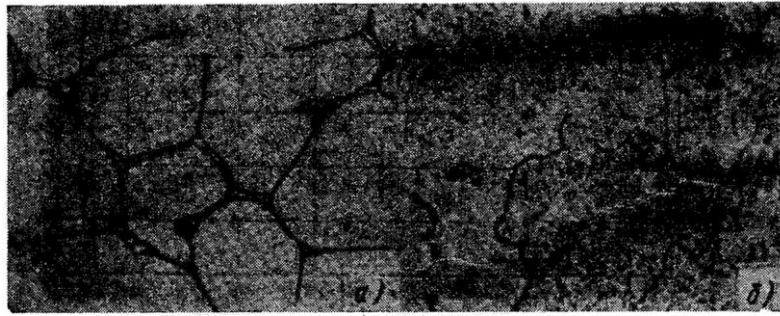


Рис. 5.1. Мікроструктура дуралюмінію Д1, х200.

Після гартування та природнього старіння дуралюмін має типові механічні властивості: $\sigma_b = 420 \text{ Мн/м}^2$, $\delta = 15\%$, $\text{НВ} = 1000 \text{ Мн/м}^2$.

Дуралюмін марки Д1 після рекомендованого режиму термічної обробки: гартування при температурі 490- 505°C з охолодженням в воді і природнього старіння не менше чотирьох діб широко використовується для виготовлення різних деталей машин та конструкцій середньої міцності.

Діаграма стану Al- Cu показана на рис.5.2.

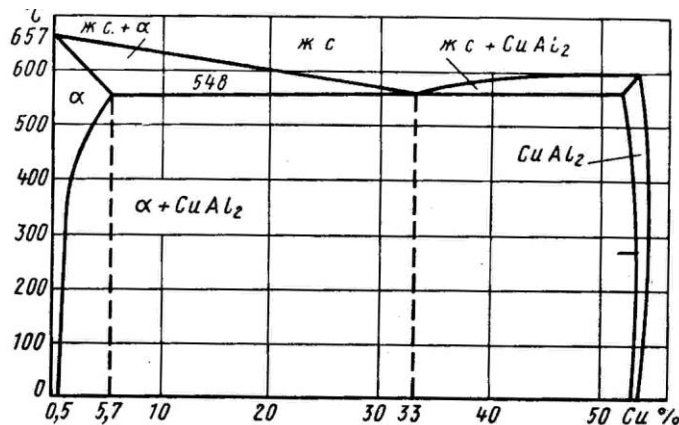


Рис. 5.2. Діаграма стану Al- Cu.

Ливарні алюмінієві сплави називаються **силумінами**, основними компонентами яких є алюміній і кремній.

СПЛАВИ НА ОСНОВІ МІДІ

Мідь відзначається відносно високою температурою плавлення (1083°C) і високою густиною (8.93 г/см^3 ($*10^3 \text{ кг/м}^3$)). Висока електропровідність, теплопровідність, пластичність і корозійна стійкість міді є основними факторами, завдяки яким вона знайшла широке застосування в електротехнічній, машинобудівній та приладобудівній промисловості.

Мідь у відпаленому стані має низьку міцність ($\sigma_b \approx 25 \text{ кгс/мм}^2$ ($\sigma_b \approx 250 \text{ Мн/м}^2$)) і $\delta \approx 45\%$). Шляхом легування (0,9% Cd) і наступною холодною

пластичною деформацією можна значно зміцнити мідь ($\sigma_{\text{в}} \approx 70 \text{ кгс/мм}^2$ ($\sigma_{\text{в}} \approx 700 \text{ Мн/м}^2$), $\delta \approx 4\%$); електропровідність при цьому знижується на 10%.

Внаслідок невисокої міцності чиста мідь як конструкційний матеріал не знаходить широкого використання. Підвищення механічних та технологічних характеристик може бути досягнуто спаленням міді з іншими металами – цинком, оловом, алюмінієм, берилієм та ін.

Сплави міді з цинком називають *латунями*. Діаграма стану системи мідь-цинк приведена на рис.5.3.

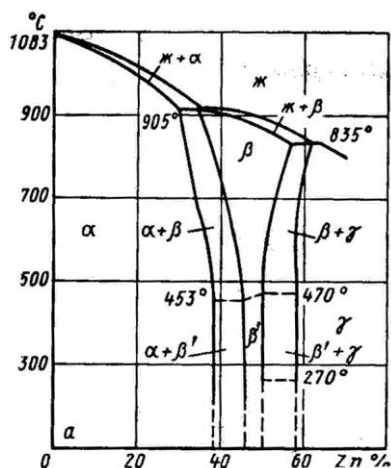


Рис.5.3. Діаграма стану системи мідь-цинк.

Всі латуні за структурою поділяють на дві групи:

1. сплави з вмістом до 39% Zn є однофазними і мають структуру α -твердого розчину;
2. сплави, що містять більше 39% Zn, мають двофазну структуру $\alpha + \beta'$. Фаза β' має більший вміст цинку і після травлення набуває більш темного забарвлення, ніж α -фаза.

При підвищенні вмісту цинку в α -латуні до 39% зростають її міцність і пластичність. А при підвищенні вмісту цинку від 39 до 45% міцність продовжує зростати, а пластичність зменшується, особливо з появою α -фази.

Внаслідок великої відстані між лініями ліквідус і солідус на діаграмі Cu-Zn, дендритна ліквіація у латуней проявляється слабо, але ці сплави схильні до утворення концентрованих усадочних раковин. Тому латуні використовуються, в основному, як деформівні, а не ливарні сплави.

Окрім простих латуней, тобто сплавів міді з цинком, в техніці широко використовуються спеціальні леговані латуні з більш високими механічними та експлуатаційними властивостями.

Мікроструктура α -латуні приведена на рис.5.4.

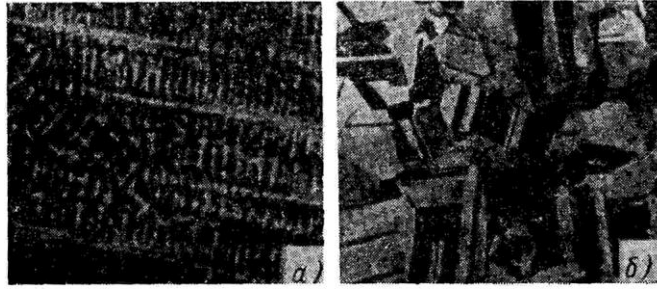


Рис.5.4. Мікроструктура α -латуні: а) литої, $\times 250$; б) деформованої $\times 100$.

Бронзами називають сплави міді з оловом та іншими елементами (алюмінієм, кремнієм, берилієм).

Практичне застосування в машинобудуванні мають сплави міді з оловом, що містять до 12% олова. Тому при дослідженні структури олов'янистих бронз користуються не всією діаграмою Cu-Sn (Рис.5.5.), а лише її лівою частиною.

Особливістю олов'янистих бронз є їх значна схильність до ліквіації (велика відстань між лініями ліквідус та солідус) і сповільненість процесів дифузії. Як видно із діаграми область існування α -твердого розчину обмежується як суцільними так і пунктирними лініями. α -фаза є твердим розчином олова в міді і має по відношенню до неї ізоморфну кристалічну решітку, тобто кубічну гранецентровану.

Фази α і β є твердими розчинами, утвореними на базі інтерметалічних сполук електронного типу. Твердий розчин α має вигляд дендритів із значною хімічною неоднорідністю (дендритна ліквіація). Якщо литий сплав з дендритною структурою відпалити, то утворюються однорідні зерна (Рис.5.6).

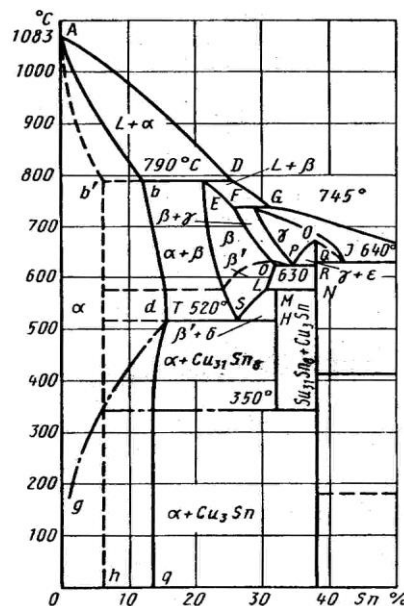


Рис.5.5. Діаграма стану Cu-Sn.

Олов'яниста лита бронза використовується в промисловості як антифрикційний матеріал

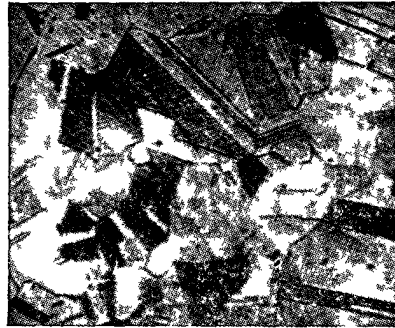


Рис. 5.6. Мікроструктура відпаленої олов'янистої бронзи з 6% олова, $\times 100$.

Найбільш поширеними марками олов'янистих бронз є бронзи із вмістом олова 5 і 10%, які часто замінюють більш дешевими алюмінієвими бронзами (з 5% Al) що мають кращі властивості.

Алюмінієві бронзи

Сплави міді з алюмінієм називають алюмінієвими бронзами. Ліва, практична частина діаграми фазового стану $Cu - Al$ показана на рис. 5.7.

Практичне застосування мають сплави міді з алюмінієм, що містять 10-11% Al і мають структуру α або $\alpha + \gamma_2$.

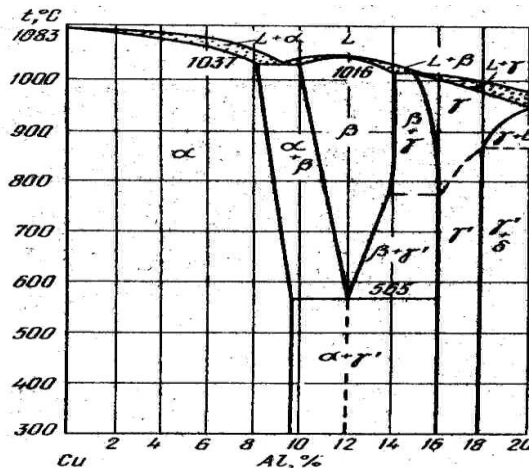


Рис.5.7. Діаграма фазового стану $Cu - Al$.

Сплави, що відповідають по складу області α - однофазні, термічно не зміцнюювані, досить пластичні, їх структура складається із однорідних зерен твердого розчину α .

Сплави, що відповідають по складу області $\alpha + \gamma_2$ – двофазні сплави, термічно зміцнювані, менш пластичні, ніж сплави області α , а в структурі містять евтектоїд $\alpha + \gamma_2$. Внаслідок підвищеної крихкості фази γ_2 використовуються тільки доевтектоїдні двофазні алюмінієві бронзи, тобто із вмістом Al менше 11,8%.

Алюмінієві бронзи використовуються як в деформованому стані, так і в литому. На Рис.5.8 показана структура литої алюмінієвої бронзи з 10 % Al . Структура складається із зерен твердого розчину α (світлий фон) та евтектоїду $\alpha + \gamma_2$ (темний фон). При великих збільшеннях структура евтектоїду нагадує структуру перліту, тобто являє собою суміш $\alpha + \gamma_2$ – фаз.

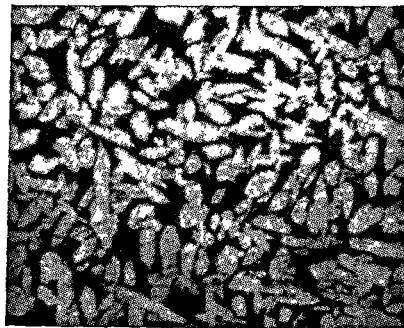


Рис.5.8. Мікроструктура литої алюмінієвої бронзи з 10% алюмінію x100.

Прилади і матеріали

Шліфи силуміну, дуралюмінію, латуні і бронзи.

Травники.

Спирт.

Промокальний папір

Вата.

Піпетка.

Фетр.

Обладнання:

- Мікроскоп ММР - 4;
- шліфувально-полірувальна машина.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Одержати прилади і матеріали.
2. Покласти заздалегідь підготовлений зразок на стіл мікроскопа полірованої поверхнею до об'єктива.

3. Дослідити і описати мікроструктуру заданих зразків, схематично замалювати кожну.
4. Під кожним зразком вказати збільшення і назву структури.
5. Замалювати діаграми стану систем Al- Cu, Al-Si.
6. Вказати хімічний склад та область застосування сплаву Д1.
7. Визначити твердість зразків дуралюмінію до гартування.
8. Провести гартування та штучне старіння зразків дуралюмінію. Температура гартування 500 ± 5 °С, витримка 15- 30 хв. для виробів січенням до 15 мм, охолодженню в воді при температурі не вище 40 °С.
Температура старіння 50, 100, 200 та 250 °С. Час витримки при кожній температурі старіння: 5, 10, 20, 40 хв.
9. Визначити твердість зразків після гартування та штучного старіння.
10. Провести аналіз одержаних експериментальних даних і вияснити вплив температури та часу старіння на зміну механічних властивостей.
11. Замалювати мікроструктуру дуралюмінію після відпалу та після гартування і старіння.
12. Замалювати мікроструктуру силуміну після модифікування.
13. Замалювати діаграми фазового стану Cu –Zn, Cu-Sn і вказати на них положення досліджуваних сплавів.
14. Замалювати мікроструктури латуні і бронзи.

Методичні вказівки

1. Нагрівання зразків дуралюмінію марки Д1 проводити в селітрових ваннах (суміш 55% KNO_3 та $NaNO_3$), точно контролюючи температуру та виконуючи правила техніки безпеки.
2. При гартуванні зразки швидко переносять із селітрової ванни в бак для гартування з водою і, рівномірно перемішуючи, - охолоджують.
3. Штучне старіння можна проводити при 50 °С в підігрійтій воді при - 200 і 250 °С- в селітрових ваннах.
4. Після кожної термічної операції (гартування та старіння) зразки зачищають з торців наждачним папером та випробовують на твердість на твердомірі при навантаженні 60 кГ (600Н) сталевією кількою. Результат по таблиці твердості переводять в одиниці Брінеля.

Контрольні питання.

1. Класифікація сплавів на основі алюмінію.
2. Алюмінієві сплави, що не зміцнюються ТО.
3. Сплави, що зміцнюються ТО.
4. ТО дуралюмінію.
5. Фізичні та механічні властивості міді.
6. Класифікація сплавів на основі міді.
7. Латуні, хімічний склад, мікроструктура, (з використанням діаграми стану $Cu - Zn$).
8. Прості та складні латуні, їх маркування.
9. Бронзи, хімічний склад, мікроструктура, області застосування.
10. Алюмінієві бронзи, особливості мікроструктури (пояснити з використанням діаграми $Cu - Al$).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 МЕХАНІЧНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Ознайомитися з технологічними можливостями основних методів механічної обробки (листова штампування, точіння, фрезерування) та обладнанням для їх виконання.

Короткі теоретичні відомості

А. Листове штампування

Листовим штампуванням називається технологічний процес обробки тиском листових заготовок шляхом повного чи часткового їх розділення або зміни просторової форми.

Листовому штампуванню *характерна* висока продуктивність, значний коефіцієнт використання матеріалу, можливість порівняно просто механізувати та автоматизувати виробничий процес й отримувати високу якість штампованих деталей незалежно від рівня кваліфікації робітника-штампувальника. Однак для здійснення методу необхідне складне й дороге технологічне устаткування: силовий агрегат – *прес* і спеціальний інструмент – *штамп*. Ці чинники роблять доцільним використання штампування в умовах масового виробництва й обмеженим при малій програмі випуску деталей.

Заготовкою при листовому штампуванні може бути вальцьований лист, смуга або стрічка, скручена в рулон. Товщина заготовки при холодному штампуванні зазвичай не більше 10 мм. Як правило, деталі із заготовки товщиною понад 10 мм штампують із нагріванням до кувальних температур (гаряче листове штампування). Це забезпечує значно менші зусилля при деформуванні порівняно з холодним штампуванням. Однак холодне листове штампування отримало більше поширення, ніж гаряче.

Найпоширенішими матеріалами для листового штампування є низьковуглецеві сталі, пластичні леговані сталі, мідь, латунь з умістом міді понад 60%, алюміній і його сплави, магнієві сплави, титан та ін.

Усі прості операції листового штампування поділяються на *роздільні й формозмінні*. При *роздільних* операціях проходить розділення заготовок по *замкнутому контуру* (вирубвання, пробивання, вирізування) або *розімкнутому контуру* (підрізка, відрізка). *Формозмінні операції* листового штампування (згинання, витягування з потоншуванням і без потоншування стінок, відбортовування, обтискування) є технологічно складнішими, оскільки призводять до місцевих змін товщини заготовки, зниження пластичності матеріалу й можливого його руйнування. Тому необхідне використання спеціальних заходів до підвищення пластичності металу і попередження його руйнування (використання мастил, зміна геометрії й шорсткості робочих поверхонь інструменту, підігрівання заготовок, проміжний відпал тощо).

Обробку заготовок листовим штампуванням здійснюють спеціальними інструментами – *штампами*, які призначені для одночасного виконання однієї (прості штампи) або кількох (комбіновані штампи) операцій. Залежно від виконуваних операцій прості штампи поділяють на штампи формозмінної та роздільної дії.

Штамп для листового штампування – відносно складний інструмент і складається з багатьох деталей (рис. 6.1). Базовими деталями штампа є дві плити (верхня 5 та нижня 9), на яких закріплюють робочі елементи – матрицю 4 та пуансон 12. Співвісність переміщення пуансона 12 відносно матриці 4 забезпечується точністю переміщення повзуна преса, направляючими втулками 1 та колонками 8, запресованими відповідно у верхню і нижню плити штампа. Для здійснення зворотно-поступального переміщення пуансона відносно матриці нижня частина штампа кріпиться нерухомо до стола преса, а верхня – до його повзуна за допомогою хвостовика 2 або спеціальних прихватів.

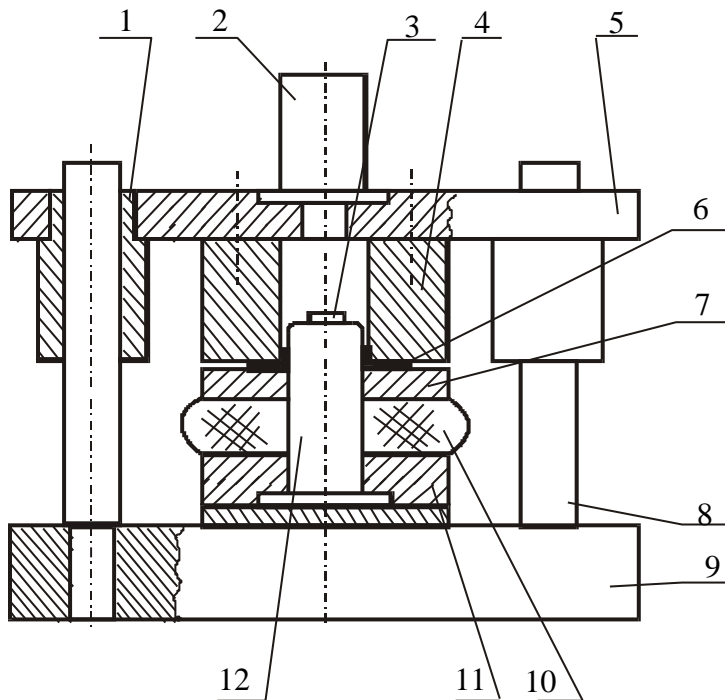


Рис. 6.1.
Конструкція штампа для відбуртовування отворів

- 1 – направляюча втулка;
- 2 – хвостовик;
- 3 – фіксатор;
- 4 – матриця;
- 5 – плита верхня;
- 6 – заготовка;
- 7 – кільце притискне;
- 8 – колонка;
- 9 – плита нижня;
- 10 – гумовий демпфер;
- 11 – пуансонотримач;
- 12 – пуансон.

У дрібносерійному виробництві часто використовують *універсальні переналагоджувальні штампи* із змінними пуансонами і матрицями. Змінюючи їх налагодження, можна виготовляти різні деталі. Однак, це знижує точність обробки і зменшує ресурс роботи штампа.

В якості силових агрегатів при штампуванні використовують *преси* з гідравлічним, гвинтовим, кривошипно-інерційним та іншими приводами повзуна.

Для виконання лабораторної роботи використовується прес з кривошипно-інерційним приводом, конструктивна схема якого зображена на рис. 6.2.

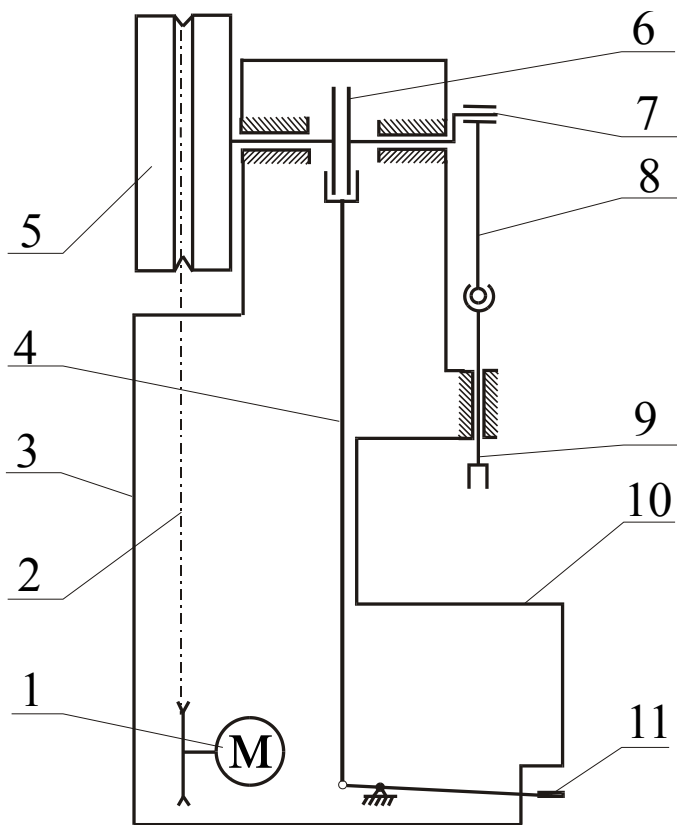


Рис. 6.3.
Конструктивна схема
кривошипного преса

- 1 – електродвигун;
- 2 – клиновий ремінь;
- 3 – станина;
- 4 – тяга приводу муфти;
- 5 – маховик-шків;
- 6 – муфта;
- 7 – кривошип;
- 8 – шатун;
- 9 – повзун;
- 10 – стіл;
- 11 – педаль приводу муфти.

Такий прес забезпечує перетворення високошвидкісного безперервного обертового руху вала електродвигуна 1 у дискретний зворотно - поступальний рух повзуна 9 зі створенням при цьому значних зусиль. Здійснюється це за рахунок використання накопиченої кінетичної енергії, отриманої при обертанні масивного диска (маховика) 5. Привід обертання забезпечується клиноремінною передачею 2. Перетворення обертового руху маховика в зворотно - поступальний рух повзуна реалізується за класичною схемою: кривошип 7, шатун 8 та повзун 9. Увімкнення переміщення повзуна в необхідний момент часу (після встановлення заготовки в штамп) проводить робітник-штампувальник, натискаючи ногою на педаль 11. Рух педалі 11 переміщує тягу 4 приводу зчепної муфти 6. Муфта передає обертання від маховика 5 до кривошипа 7, обертає кривошип 7 на 1 оберт (360°) і автоматично вимикає зчеплення кінематичного ланцюга між шківом 5 та кривошипом 7. Отже, маховик 5 обертається безперервно, а повзун 9 - дискретно на 1 подвійний хід (від крайнього верхнього положення до крайнього нижнього положення і знову в крайнє верхнє положення) після натискання на педаль 11. Всі згадані конструктивні елементи змонтовані на масивній станині 3. На ній закріплений стіл 10 із Т-подібними пазами для встановлення різноманітних штампів.

Враховуючи надзвичайно великі зусилля в зоні штампування і високі швидкості переміщення рухомих частин штампувального устаткування, ставляться високі вимоги до **техніки безпеки** при роботі на штампувальному обладнанні. Серед них увімкнення робочого руху штампа двома руками, захисні щити і екрани навколо робочої зони, спеціальні затискачі і пінцети для введення і

виведення поштучних заготовок у зону обробки, шумо ізолюючі навушники для обслуговуючого персоналу та ін. Однак найбільший ефект у плані безпечних умов праці дає автоматизація штампувального процесу. Як правило, це здійснюють шляхом автоматичної подачі заготовки у вигляді стрічки з рулону або поштучне встановлення заготовок програмованим маніпулятором. У такому разі прес працює повністю в автоматичному режимі й обслуговується одним налагоджувальником на 10...15 одиниць обладнання (штампувальна дільниця).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією, принципом роботи, технологічними можливостями та правилами безпечної експлуатації кривошипного преса.

2. Пояснити принцип дії штампа для листового штампування по запропонованому складальному кресленні (згідно з варіантом).

3. Виконати відбуртовку на листовій заготовці і визначити параметри процесу:

– коефіцієнт відбуртовки

$$K_o = d_o / (D_u - 2S) \quad (6.1)$$

– висоту бурта

$$H = 0,5(D_u + 2(R + S) - d_o - \pi(R + 0,5S)) \quad (6.2)$$

за параметрами заготовки і деталі (див. рис. 6.3.)

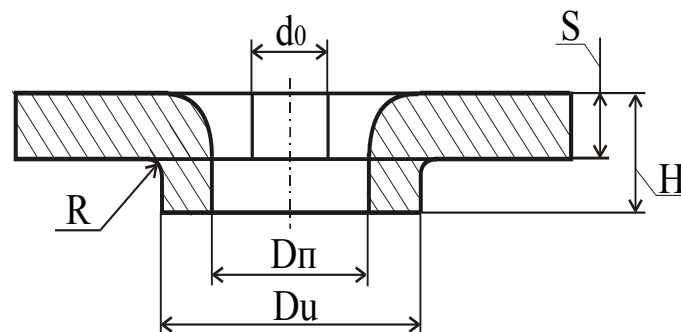


Рис. 6.3.

Деталь після відбуртовки з накладеним контуром заготовки

5. Зробити висновок за результатами роботи.

Б. Токарна обробка матеріалів

Точіння – найпоширеніший вид обробки матеріалів різанням. Формоутворення поверхні при точінні відбувається при обертанні заготовки (*головний рух*) і поступальному русі інструмента (*рух подач*). Точінням отримують зовнішні і внутрішні поверхні типу тіл обертання (циліндричні, конічні, сферичні, тороїдні, фасонні), плоскі поверхні (підрізання торців), нарізають зовнішні й внутрішні різьби.

Усі токарні верстати поділяють на такі *типи*:

- універсальні токарно-гвинторізні;
- напівавтомати й автомати одно- та багатошпindelні;
- токарно-револьверні;
- токарно-карусельні;
- лоботокарні;

За рівнем універсальності токарні верстати поділяють на *універсальні, спеціалізовані й спеціальні*. На універсальних верстатах виконують різноманітні

операції обробки деталей різної форми та розмірів. Їх використовують на підприємствах одиничного та дрібносерійного виробництва, в ремонтних майстернях. Універсальні верстати поділяють на токарні та токарно-гвинторізні.

Спеціалізовані верстати призначені для обробки однотипних деталей, подібних за формою, але з різними розмірами, наприклад, ступінчастих валів, муфт, труб й ін. Використовують їх переважно в серійному виробництві.

На спеціальних верстатах обробляють одну певну деталь, наприклад, корпус світильника, важіль редуктора й ін. Такі верстати доцільно використовувати на підприємствах крупносерійного і масового виробництва.

Режими різання при точінні визначають швидкістю різання V , подачею S та глибиною різання t . **Швидкість різання V , м/хв.**, –

це лінійна швидкість точки заготовки, розміщеної на оброблюваній поверхні і найбільш віддаленої від осі заготовки.

$$V = \pi D n / 1000, \text{ м/хв.}, \quad (6.3)$$

де D – діаметр заготовки, мм; n – частота обертання заготовки, об/хв.

Шлях, пройдений ріжучим лезом інструмента відносно заготовки за одиницю часу або за один оберт заготовки, називають **подачею S** (мм/хв., мм/об). Подача буває поздовжньою S_{nz} (уздовж осі заготовки) і поперечна S_n (перпендикулярно до осі заготовки).

Глибина різання t , мм визначається як віддаль між оброблюваною 1 і

обробленою 3 поверхнями (рис. 6.4), виміряна перпендикулярно до останньої. При токарній обробці глибина різання визначається за формулою:

$$t = 0,5(D - d), \quad (6.4)$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні 1; d – діаметр обробленої поверхні 3.

Параметри режиму різання суттєво впливають на продуктивність обробки і якість обробленої поверхні. Так швидкість різання визначає кількість теплоти, яка виділяється під час різання, інтенсивність наростоутворення, рівень зміцнення поверхневого шару металу, характер стружки, інтенсивність зношування інструмента.

Виходячи з конструктивних вимог до деталі й технологічних можливостей устаткування, призначають оптимальні значення режимів різання, тобто такі, які забезпечують необхідну якість обробки при максимальній продуктивності процесу. **Основний час T_o** при точінні – це час, впродовж якого інструмент переміщається на робочій подачі.

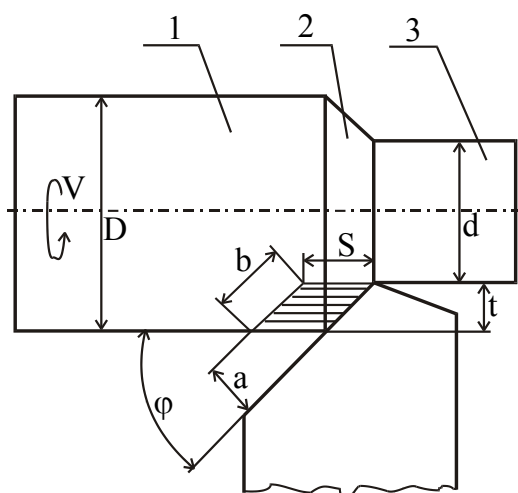


Рис. 6.4. Елементи перерізу зрізаного шару при точінні

$$T_o = (L_{вр} + L_{точ} + L_{вих})i/Sn, \quad (6.5)$$

де $L_{вр}$ – довжина врізання (для плавного входу різця в матеріал заготовки), мм; $L_{точ}$ – довжина точіння, мм; $L_{вих}$ – довжина виходу різця з ділянки обробки, мм; i – кількість проходів різця; S – подача, мм/об; n – частота обертання шпинделя, об/хв.

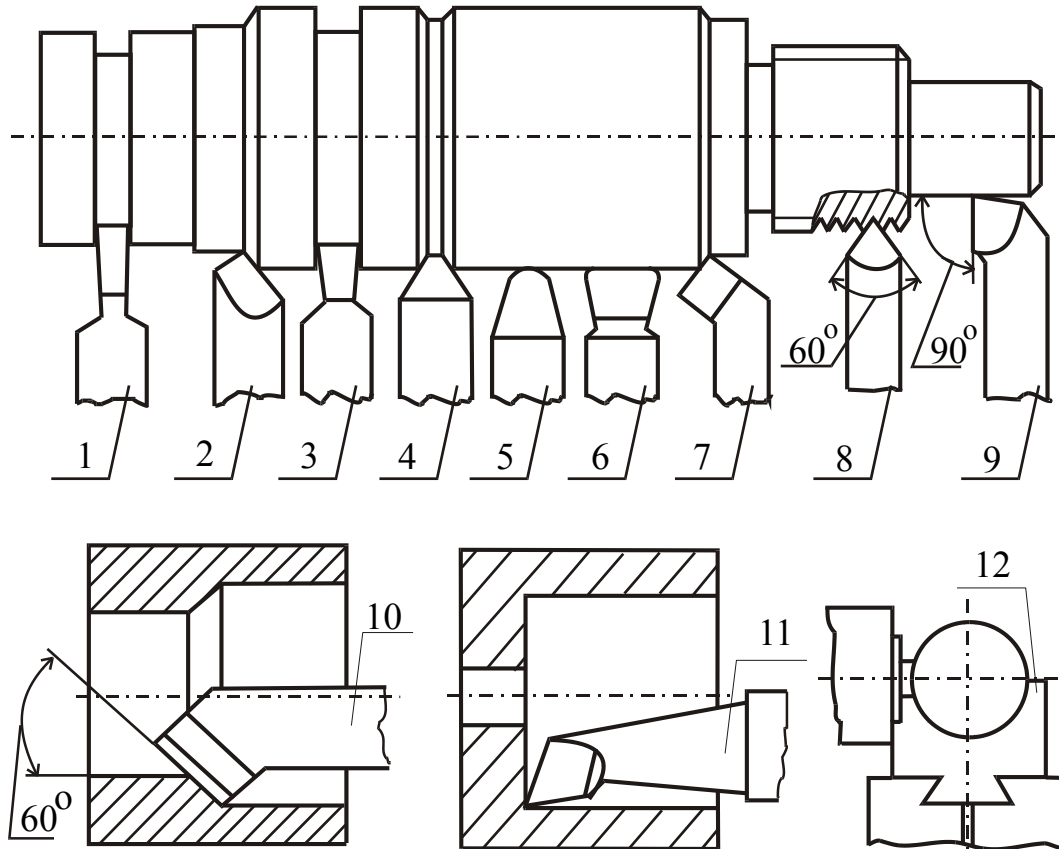


Рис. 6.5. Типи токарних різців:

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1 – відрізний; | 7 – прохідний відігнутий; |
| 2 – прохідний (лівий); | 8 - різбовий зовнішній; |
| 3 – канавочний прямий; | 9 – прохідний упорний; |
| 4 – канавочний трапецевидний; | 10 – розточний для наскрізних отворів; |
| 5 – із закругленою вершиною; | 11 – розточний для глухих отворів; |
| 6 – широкий чистовий; | 12 – фасонний. |

Для формування різноманітних поверхонь на заготовці необхідно вибрати потрібний різець. Конфігурація найвживаніших токарних різців (вигляд зверху) і приклади їх використання зображені на рис. 6.5.

Для забезпечення процесу стружкоутворення при виготовленні ріжучої частини різців необхідно використовувати матеріали, які твердіші, ніж в оброблюваний матеріал. Крім цього, матеріал різця повинен зберігати цю твердість при підвищених температурах (*теплостійкість*), які виникають у зоні різання. Такі матеріали називають *інструментальними*. *Вуглецеві інструментальні сталі* У8, У10, У10А, У11А, У12А містять 0,7...1,3% вуглецю. Після термообробки мають твердість HRC 60...62. Мають обмежене застосування,

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1 – важіль перемикачання числа обертів; | 13 – задня бабка; |
| 2 – коробка передач; | 14 – піноль задньої бабки; |
| 3 – коробка подач; | 15 – задній центр; |
| 4 – електродвигун; | 16 – різцетримач; |
| 5 – важіль увімкнення обертів; | 17 – поперечний супорт; |
| 6 – фартух; | 18 – поздовжній супорт; |
| 7 – маховик поздовжньої подачі; | 19 – заготовка; |
| 8 – маховик поперечної подачі; | 20 – патрон; |
| 9 – станина; | 21 – важіль механізму перебору; |
| 10 – тумба; | 22 – важіль реверсу подачі; |
| 11 – вимикач; | 23 – шпindelна бабка. |
| 12 – маховик затиску заднього центра; | |

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією універсального токарно-гвинторізного верстата та його технологічними можливостями.
2. Ознайомитися з конструкцією токарного різця та описати його призначення.
2. Проаналізувати вплив швидкості різання та подачі на якість обточеної поверхні (за результатами обробки).
3. Розрахувати основний час при точінні запропонованої поверхні з урахуванням режимів обробки й геометрії заготовки.

В. Фрезерна обробка матеріалів

Фрезерування – вид обробки матеріалів різанням за допомогою багатолезового інструмента – фрези. **Головним рухом** при фрезеруванні є обертання фрези. Рух подач здійснюється поступальним переміщенням заготовки зі столом верстата. Залежно від напрямку переміщення стола розрізняють такі **подачі**: поздовжня (вліво – вправо), поперечна (до себе – від себе), вертикальна (вверх – вниз). Фрезеруванням обробляють плоскі поверхні (горизонтальні, вертикальні та нахилені), пази, впадини, канавки, а також фасонні поверхні.

Залежно від конструкції й призначення, **фрези** бувають різних типів. За конструкцією фрези бувають **суцільні** (як правило, зі швидкоріжучої сталі) і **збірні**. Останні виготовляють із конструкційної сталі, а вставні ножі – з швидкоріжучої сталі, твердих сплавів або мінералокераміки. Рифлені ножі закріплюють затуванням у клинових пазах. Твердосплавні пластини паяють твердими припоями (латунними) або закріплюють механічно.

Залежно від способу закріплення на верстаті розрізняють фрези **насадні** (мають отвір і встановлюють на оправці) і **кінцеві** з конічними або циліндричними хвостовиками.

Циліндричні фрези мають зуби тільки на циліндричній поверхні і використовують для обробки площин (рис. 6.7, а, б, в). Великі фрези виготовляють із вставними ножами з швидкоріжучої сталі (рис. 6.7, б). Для фрезерування

широких площин використовують блоки з різно направленими зубами (рис. 6.7, *в*) для компенсації осьових зусиль. Торцеві фрези із зубами на торці і циліндричній частині використовують для обробки площин. Їх виготовляють суцільними (рис. 6.7, *г*) і зі вставними зубами (рис. 6.7, *д*).

Рис. 6.7. Типи фрез

Кінцеві фрези (рис. 6.7, *е*) використовують для обробки пазів, площин, фасонних поверхонь. Звичайно їх виготовляють зварними: ріжуча частина – з швидкоріжучої сталі, а хвостовик – з вуглецевої.

Дискові фрези (рис. 6.7, *ж*) використовують при обробці прямолінійних пазів, канавок і площин. Виготовляють їх суцільними зі швидкоріжучої сталі й зі вставними ножами. Відрізні й шліцеві фрези (рис. 6.7, *и*) – дискові фрези малої товщини, призначені для відрізання матеріалів і прорізання вузьких канавок, наприклад, у головках гвинтів.

Кутові фрези (рис. 6.7, *к*) із зубами на конічній поверхні використовують для прорізання канавок кутового профілю при виготовленні фрез, зенкерів, розверток.

Фасонні фрези (рис. 6.7, *л*) використовують для обробки деталей складного, частіше криволінійного профілю. Контур ріжучого леза зуба повинен відповідати профілю оброблюваної поверхні. Пальцевою фрезою, показаною на рис. 6.7, *м* нарізають зуби крупно модульних зубчастих коліс.

На рис. 6.8 зображені схеми горизонтально-фрезерного і вертикально-фрезерного верстатів. Основними вузлами верстатів є нижня плита 1, станина 2, електродвигун із клинопасовою передачею 3, коробка швидкостей 4, хобот 5,

горизонтальний (вертикальний) шпиндель 6, цапфа 7 для закріплення оправки з фрезою, стіл для встановлення оброблюваної деталі 8, полозки 9, консоль 10, коробка подач 11.

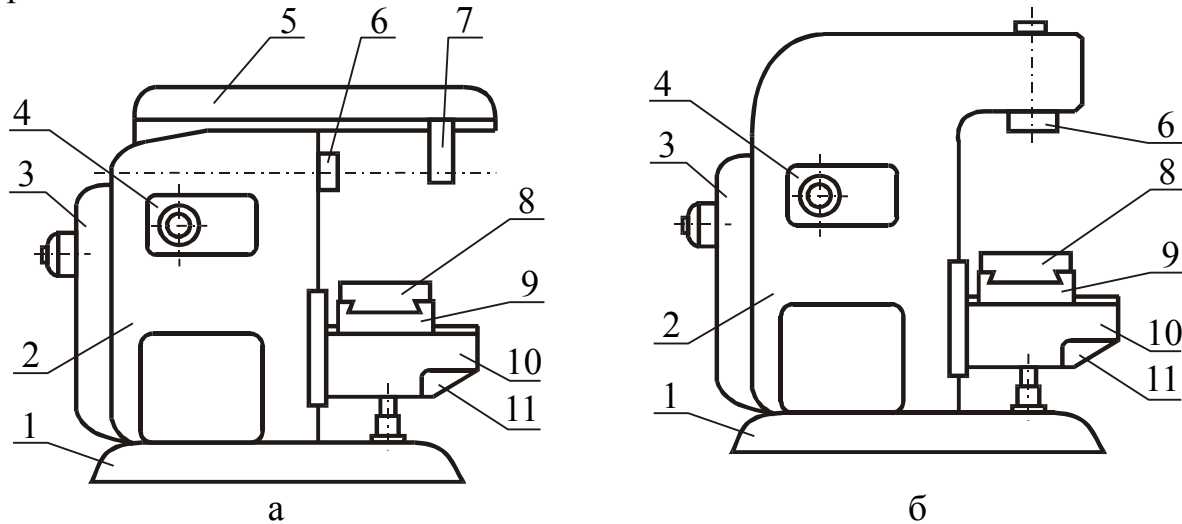


Рис. 6.8. Горизонтально-фрезерний (а) та вертикально-фрезерний (б) верстати

Режим різання визначається швидкістю різання V , м/хв, подачею S і глибиною різання t , мм.

Швидкість різання V – колова швидкість найвіддаленішої від осі обертання точки ріжучого леза фрези:

$$V = \pi D n / 1000, \text{ м/хв}, \quad (6.6)$$

де D – діаметр фрези, мм; n – частота обертання фрези, об/хв.

Подача – прямолінійне або обертове переміщення заготовки відносно осі фрези.

При фрезеруванні розрізняють хвилинну подачу S_x – переміщення оброблюваної деталі, мм/хв; подачу на оберт S_o – переміщення деталі за один оберт фрези, мм/об; подачу на зуб S_z – переміщення деталі при повороті фрези на один кутовий крок зубів, мм/зуб.

Згадані подачі взаємопов'язані між собою такими залежностями:

$$S_x = S_o n = S_z n z, \quad (6.7)$$

де n – частота обертання фрези, об/хв; z – кількість зубів фрези.

Хвилинна подача визначає продуктивність обробки, подача на зуб характеризує інтенсивність навантаження на зуб і, відповідно, стійкість фрези.

Залежно від напрямку обертання фрези і напрямку подачі розрізняють **зустрічне** фрезерування при подачі заготовки на зустріч обертанню фрези і **попутне** при співпаданні напрямків обертання фрези і подачі. При чорновій обробці доцільно використовувати зустрічне фрезерування, а при чистовій – попутне.

Глибина різання t , мм – товщина шару матеріалу, який знімається фрезою за один прохід, виміряна перпендикулярно до оброблюваної поверхні.

Ширина фрезерування B – довжина поверхні контакту фрези з оброблюваною заготовкою, виміряна в напрямі, перпендикулярному напрямку подачі.

Товщина зрізаного шару при фрезеруванні – товщина шару металу, що зрізається одним зубом фрези, виміряна в радіальному напрямку. Ця величина є змінною (від 0 до максимуму при зустрічному фрезеруванні й навпаки при попутному). Для вирівнювання навантажень, які виникають при цьому на механізмах верстата, використовують фрези з гвинтовими зубами.

Від правильного вибору елементів режиму різання залежить продуктивність обробки, точність і шорсткість обробленої поверхні, необхідна потужність верстата. Визначаючи оптимальний режим різання, розраховують глибину різання, потім – найбільшу технологічно допустиму подачу і лише за отриманими значеннями t і S – швидкість різання V .

Глибину різання t вибирають залежно від величини припуску на обробку, необхідних точності і шорсткості поверхні, потужності верстата. Для зменшення часу чорнової обробки намагаються зняти припуск за один прохід, а якщо це не можливо, то за мінімальне їх число. Як правило, при фрезеруванні відливків і поковок, покритих твердою окалиною, глибина різання не повинна перевищувати 2 мм.

Подачу S при чорновому фрезеруванні вибирають максимально допустимою з метою зменшення основного часу. При чистовому фрезеруванні величина подачі залежить від заданої шорсткості поверхні. Величини подач із врахуванням міцності зубів фрези, їх стійкості, властивостей оброблюваного матеріалу, заданої шорсткості обробленої поверхні приводяться в нормативних довідниках і знаходяться в межах 0,04 – 0,5 мм/зуб.

Швидкість різання V залежить від матеріалу заготовки, матеріалу фрези, її діаметра, періоду стійкості фрези, глибини різання, подачі і ширини фрезерування. Її визначають аналітично (за формулою) або за довідковими таблицями.

Продуктивність обробки Q при фрезеруванні визначають кількістю деталей, які виготовляють за певний період часу T (місяць, зміну, годину):

$$Q = T/T_k, \quad (6.8)$$

де T_k – час обробки однієї деталі, хв.

Головним складником часу обробки деталі є **основний технологічний час T_0** , хв, який витрачається на безпосередню зміну стану заготовки (форми, розмірів). Його визначають за формулою

$$T_0 = Li/S_x, \quad (6.9)$$

де L – розрахункова довжина заготовки, мм; i – число проходів фрези.

Розрахункова довжина заготовки

$$L = l_1 + l + l_2, \quad (6.10)$$

де l_1 – довжина шляху врізання фрези, мм; l – фактична довжина фрезерування оброблюваної поверхні, мм; l_2 – перебіг фрези, мм.

Довжину шляху врізання l_1 , фактичну довжину фрезерування оброблюваної поверхні l та перебігу фрези l_2 , мм, визначають при фрезеруванні, виходячи із траєкторії руху центра фрези. Практично це легко визначити, викресливши ескіз обробки (операційний ескіз).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією вертикально-фрезерного верстата, призначенням його основних вузлів і механізмів.
2. Ознайомитися з основними типами фрез, способами їх закріплення на даному верстаті, з основними операціями обробки заготовок на фрезерному верстаті.
3. Проаналізувати вплив режимів обробки на результати фрезерування.
4. За індивідуальним завданням в протоколі виконати необхідні розрахунки режимів фрезерування.

Контрольні питання

1. Яке технологічне устаткування необхідне для здійснення листового штампування?
2. Які матеріали використовують для листового штампування?
3. Класифікація операцій листового штампування.
4. Основні конструктивні елементи штампа та їх функціональне призначення.
5. Універсальні переналагоджувальні штампи, їх переваги та недоліки.
6. Типи пресів для листового штампування.
7. Правила техніки безпеки при роботі на штампувальному обладнанні.
8. Які поверхні обробляють на токарних верстатах?
9. Які типи різців використовують при точінні?
10. Які інструментальні матеріали використовують для виготовлення різців?
11. Які властивості повинні мати інструментальні матеріали?
12. Характеристика режиму різання при точінні.
13. Яке призначення токарно-карусельних верстатів?
14. Який рух є головним при точінні?
15. Назвіть основні вузли фрезерного верстата.
16. Головний рух при фрезеруванні.
17. Як здійснюють подачі при фрезеруванні та які типи подач розрізняють?
18. Виходячи з чого визначаються режими різання при фрезеруванні?
19. Які типи поверхонь можна отримати фрезеруванням?

Лабораторна робота №1
Макроскопічний аналіз та первинна кристалізація

Мета роботи: _____

Прилади і матеріали: _____

ПРОТОКОЛ № 1(ЗРАЗОК № 1 метод Баумана)

Назва зразка- _____

Матеріал- _____

Опис макроструктури та виявлених
домішок: _____

Рисунок

Висновок: _____
(зробити висновок про наявність ліквідації сірки)

ПРОТОКОЛ № 2 (ЗРАЗОК № 2 - фрактографія)

Назва зразка- _____

Матеріал- _____

Опис злому за характерними ознаками:

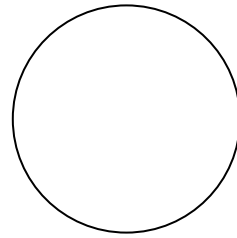
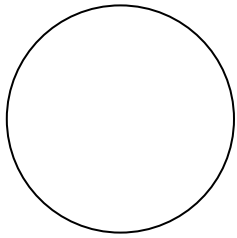
Механізм руйнування: _____

Рисунок

Висновки: _____
(проаналізувати макроструктури різних металів і сплавів, причини, що привели до руйнування)

ПРОТОКОЛ №3 (первинна кристалізація)

Назва солі _____

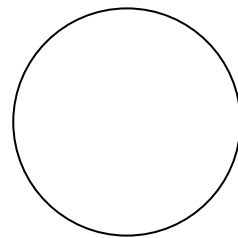
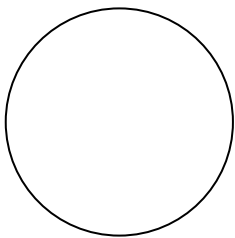


Кристалічна будова
на початку кристалізації
Висновок: _____

Кристалічна будова
в кінці кристалізації

ПРОТОКОЛ №4 (первинна кристалізація)

Назва солі _____



Кристалічна будова
на початку кристалізації
Висновок: _____

Кристалічна будова
в кінці кристалізації

Висновки: _____

—

—

—

—

Роботу виконав:

Роботу перевірів:

“ _____ ” _____ 200 р

“ _____ ” _____ 200 р.

Лабораторна робота № 2
Термічний аналіз металів і сплавів

Мета роботи: _____

Прилади і матеріали: _____

ПРОТОКОЛ №1

Визначення критичних точок при нагріванні та охолодженні сплаву
 Результати термічного аналізу

Час, с														
Темпе- ратура	Нагрівання													
	Охолодження													

Криві нагрівання та охолодження сплаву

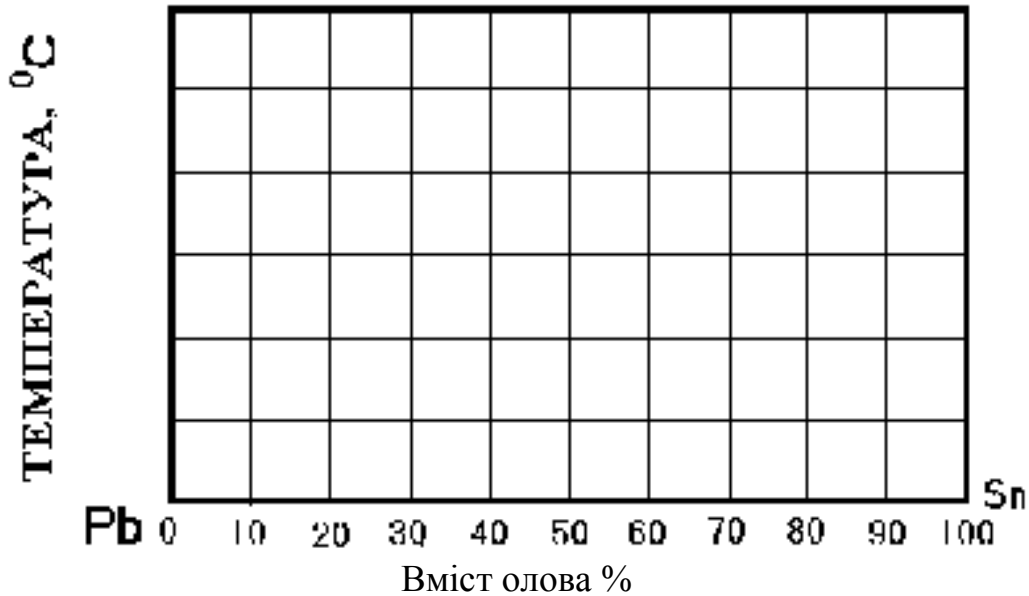


Температура критичних точок, ($^{\circ}\text{C}$)
 початок кристалізації- кінець кристалізації-
 вміст компонентів у евтектиці, %

СВИНЦЮ-

ОЛОВА-

Діаграма стану свинець олово



Висновки: _____
 (Проаналізувати криві охолодження і діаграму стану. В побудованій діаграмі вказати точки, лінії, області, а

також фази і структури, які утворюються в кожній області)

Застосування правил фаз і відрізків: _____

Роботу виконав: _____

Роботу перевірів: _____

“ _____ ” _____ 200 р

“ _____ ” _____ 200 р.

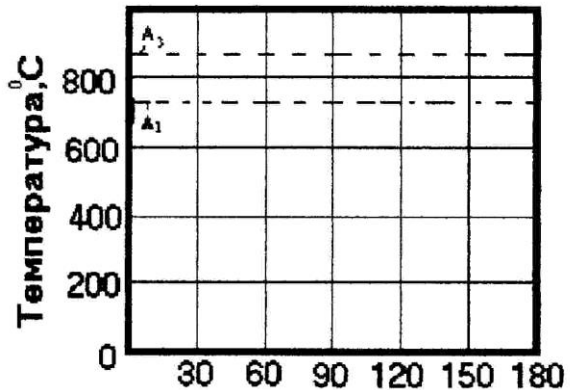
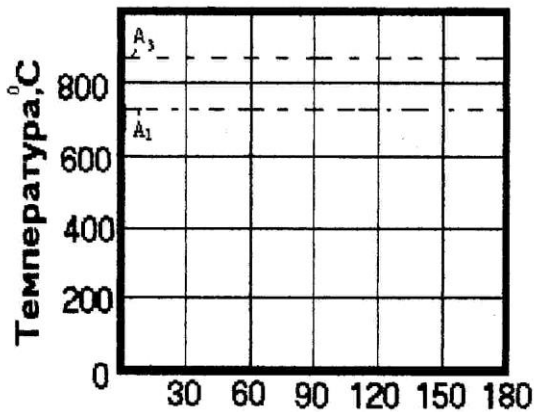
Лабораторна робота № 3
Термічна обробка сталей

Мета роботи: _____

Прилади і матеріали: _____

ПРОТОКОЛ № 1
Відпал і нормалізація сталі

Матеріал (марка), ДСТ- _____
Масова частка вуглецю, % _____
Критичні точки сталі, (°C) _____
Температура нагрівання- _____;
Час нагрівання, хв. _____ час витримування - _____
Охолоджуюче середовище: при відпалі _____
при нормалізації _____
Швидкість охолодження, град/с:
при відпалі _____; при нормалізації _____
Твердість, НВ:
після відпалу _____; після нормалізації _____
прогнозована структура: після відпалу _____
після нормалізації _____
Тепловий режим відпалу сталі _____ Тепловий режим нормалізації сталі _____



ПРОТОКОЛ № 2
Гартування сталі

Матеріал (марка), ДСТ- _____
Масова частка вуглецю, % _____
Критичні точки сталі, (°C) _____
Температура нагрівання- _____

Час нагрівання, хв _____; час витримування, хв - _____

Гартувальне середовище _____

Швидкість охолодження, град/с;
у маслі _____; у воді _____

Твердість, HRC:

після гартування у маслі _____

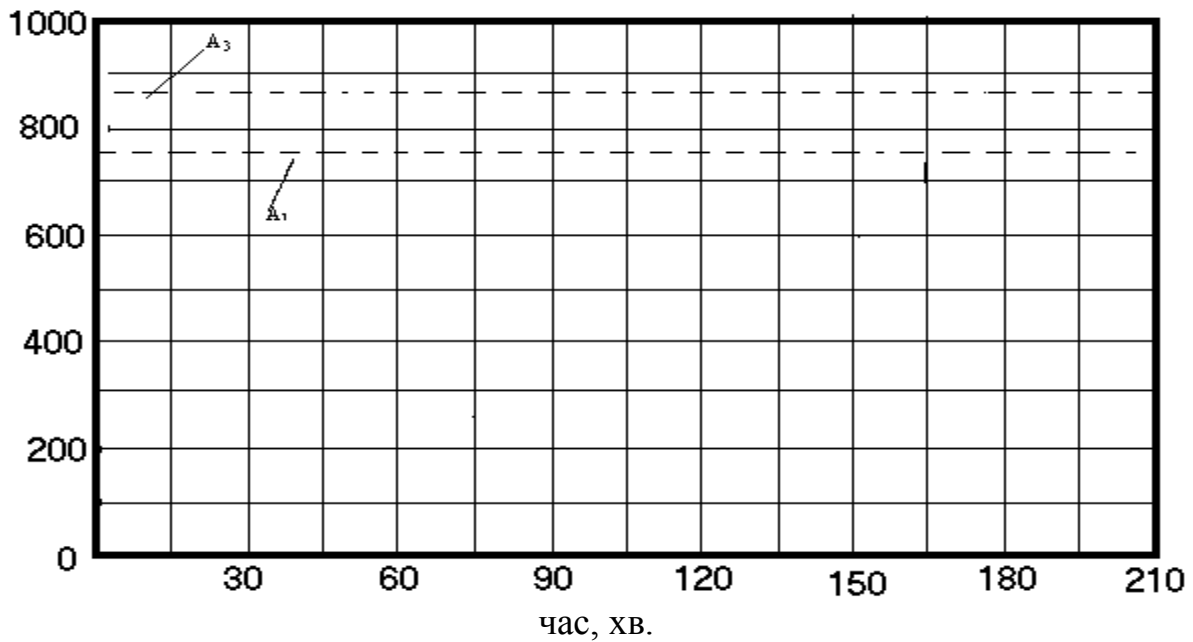
після гартування у воді _____

Прогнозована структура:

після гартування у маслі _____

після гартування у воді _____

Тепловий режим гартування сталі



1-у воді, 2-у маслі
ПРОТОКОЛ № 3

Результати термічної обробки сталі _____

Вид термічної обробки	Режим ТО		Швидкість охолодження, °C/с	Твердість		Прогнозована структура
	T, °C	t, хв		HВ, кгс/мм ²	HRC	
Відпал						
Нормалізація						
Гартування у воді						
Гартування у маслі						

Залежність твердості сталі від швидкості охолодження



характеристика мікроструктури: після відпалу _____
після нормалізації _____
після загартування у воді _____
після загартування у маслі _____

Висновки: _____
(проаналізувати вплив швидкості охолодження на утворення структур і твердість сталі)

Роботу виконав:

Роботу перевірів:

“ _____ ” _____ 200 р

“ _____ ” _____ 200 р.

Лабораторна робота № 4.
Залізовуглецеві сплави (сталі, чавуни)

Мета роботи: _____

Прилади і матеріали: _____

ПРОТОКОЛ № 1 (ЗРАЗОК № 1, доєвтектоїдна сталь)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Структурні складові: _____

Характеристика мікроструктури: _____

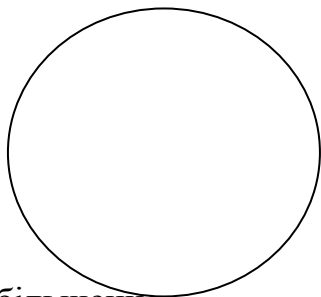
Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури:



Критичні точки сталі, (°С)

A_1 = _____

A_3 = _____

Збільшення-

Приклади застосування:

ПРОТОКОЛ № 2 (ЗРАЗОК № 2, заєвтектоїдна сталь)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Структурні складові: _____

Характеристика мікроструктури: _____

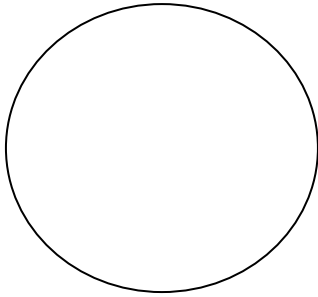
Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури:



Критичні точки сталі, ($^{\circ}\text{C}$)

$A_1 =$ _____

$A_3 =$ _____

Збільшення-

Приклади застосування: _____

ПРОТОКОЛ № 3

Діаграма стану залізо-цементит



Лінії: ABCD- _____
AHIECF- _____
HIB- _____
GP- _____
ES- _____
ECF- _____
PSK- _____
PQ- _____

Області: NIESG- _____
GPQO- _____
AHNA- _____

Структурні складові (дати визначення):

Ферит- _____

Аустеніт- _____

Цементит- _____

Перліт- _____

Ледебурит- _____

Висновки: _____

(проаналізувати різницю в структурі і зміну механічних властивостей сталей в залежності від масової долі

вуглецю і структури.)

ПРОТОКОЛ № 4 (ЗРАЗКИ №3, 4; сірий звичайний чавун)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Форма графітових включень- _____

Структурні складові металічної основи: _____

Спосіб отримання- _____

Механічні властивості (за даними літератури):

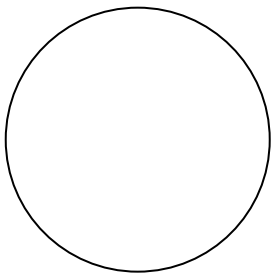
Границя міцності на розтяг, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Границя міцності на згин, σ_{zg} , МПа (кгс/мм²) _____

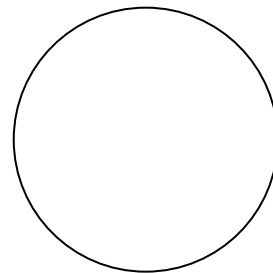
Відносне видовження, σ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури _____ чавунів:



Збільшення-
до травлення



Збільшення-
після травлення

Приклади застосування: _____

ПРОТОКОЛ № 5 (ЗРАЗКИ № 5,6, ковкий чавун)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Форма графітових включень- _____

Структурні складові металічної основи: _____

Спосіб отримання- _____

Механічні властивості (за даними літератури):

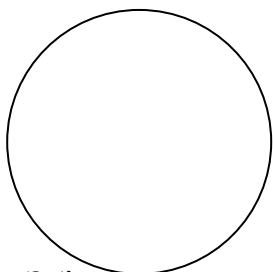
Границя міцності на розтяг, σ_B , МПа (кгс/мм²) _____

Границя міцності на згин, $\sigma_{зг}$, МПа (кгс/мм²) _____

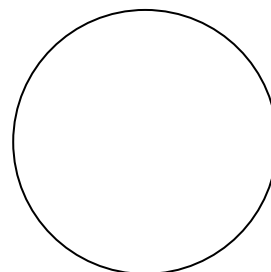
Відносне видовження, σ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури _____ чавунів:



Збільшення-
до травлення



Збільшення-
після травлення

Приклади застосування: _____

ПРОТОКОЛ № 6 (ЗРАЗКИ № 7, 8, високоміцний чавун)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Форма графітових включень- _____

Структурні складові металічної основи: _____

Спосіб отримання- _____

Механічні властивості (за даними літератури):

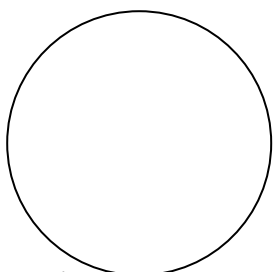
Границя міцності на розтяг, σ_B , МПа (кгс/мм²) _____

Границя міцності на згин, $\sigma_{зг}$, МПа (кгс/мм²) _____

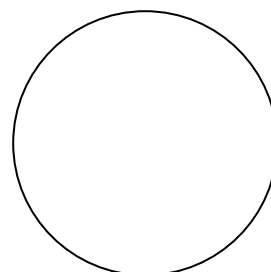
Відносне видовження, σ , % _____

Твердість, НВ, _____

Рисунок мікроструктури _____ чавунів:



Збільшення-
до травлення



Збільшення-
після травлення

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

(проаналізувати різницю між структурою і зміною механічних властивостей сірих чавунів в залежності від форми

графітових включень і виду металічної основи)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Сплави на основі кольорових металів

ПРОТОКОЛ №1 (ЗРАЗОК №1, силумін)

Матеріал (марка), ДСТ _____

Хімічний склад, % _____

Структурні складові: _____

Спосіб отримання: _____

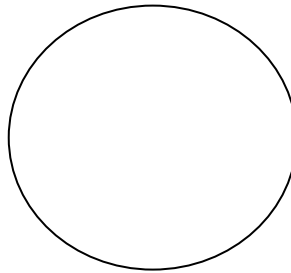
Властивості:

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури _____ (після модифікування):



Збільшення-

Приклади застосування: _____

ПРОТОКОЛ № 2 (ЗРАЗОК № 2, дуралюміній)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Хімічний склад, % _____

Структурні складові: _____

Спосіб отримання: _____

Механічні властивості (до термічної обробки):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Механічні властивості після термічної обробки

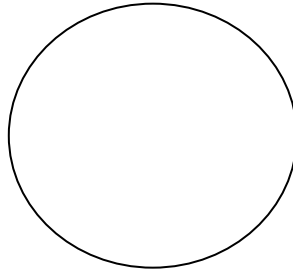
Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, _____

Термічна обробка _____

Температура гартування, (°C) _____
Охолоджуюче середовище _____
Старіння: температура, (°C) _____ тривалість витримки _____
Рисунок мікроструктури (після термічної обробки):



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____
(проаналізувати різницю між структурами і зміною механічних властивостей в

залежності від модифікування і термічної обробки)

ПРОТОКОЛ №3 (ЗРАЗОК №3, латунь)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Хімічний склад, % _____

Структурні складові: _____

Механічні властивості:

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, _____

Рисунок мікроктури _____ :

	<p>Збільшення-</p> <p>Приклади застосування: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
--	--

ПРОТОКОЛ № 4 (ЗРАЗОК № 4, **бронзи**)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Хімічний склад, % _____

Структурні складові _____

Спосіб отримання: _____

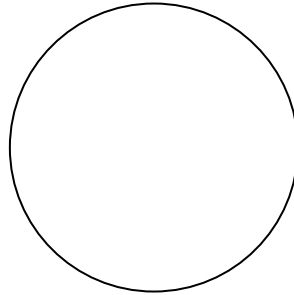
Механічні властивості:

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, _____

Рис.юнок мікроструктури _____ :



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

(проаналізувати різницю між структурою і зміною механічних властивостей в залежності від складу сплавів і

термічної обробки)

Роботу виконав:

Роботу перевірів:

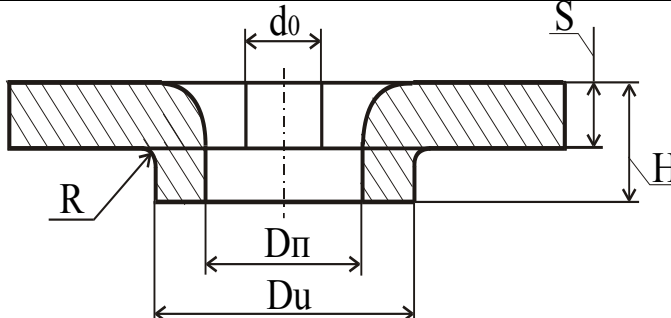
“ _____ ” _____ 200 р

“ _____ ” _____ 200 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6
МЕХАНІЧНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ
ПРОТОКОЛ №1

А. Листове штампування

Розрахувати коефіцієнт відбуртовки K_0 та висоту бурта H , якщо товщина листа $S = 1, 2$ мм, $R = 1$ мм. Значення d_0 та D_u вибрати з таблиці (варіант В за № студента в списку групи)

Ескіз заготовки та деталі	d_0 , мм	Діаметр D_u				
		10	10,5	11	11,5	12
	5	B1	B2	B3	B4	B5
	5,5	B6	B7	B8	B9	B10
	6	B11	B12	B13	B14	B15
	6,5	B16	B17	B18	B19	B20
	7	B21	B22	B23	B24	B25
$K_0 =$						
$H =$						

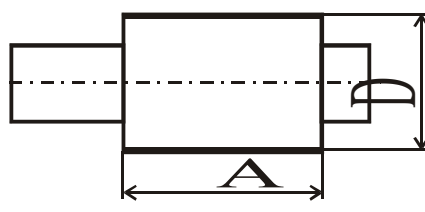
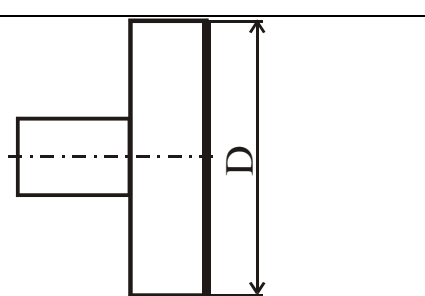
ПРОТОКОЛ №2

Б. Токарна обробка

Вибрати різець, викреслити операційний ескіз і розрахувати основний час для обточування запропонованих поверхонь.

($L_{вріз} = L_{вих} = 5$ мм)

(варіант для розрахунку за № студента в списку групи)

Ескіз обробки	Умови обробки для варіантів					
		B1	B6	B11	B16	B21
	D , мм	100	90	80	70	60
	A , мм	120	110	100	90	80
	Проточити поверхню діаметром D на довжину A за 3 проходи. $S = 0,1$ мм/об., $V = 60$ м/хв.					
		B2	B7	B12	B17	B22
	D , мм	140	130	120	110	100
	Проточити торець заготовки діаметром D за 2 проходи. $S = 0,05$ мм/об., $V = 60$ м/хв.					

		B3	B8	B13	B18	B23
	D , мм	40	35	30	25	20
	Проточити фасонним різцем сферу діаметром D за 1 прохід. $S=0,1$ мм/об., $V=60$ м/хв.					
		B4	B9	B14	B19	B24
	D , мм	100	90	80	70	60
	d , мм	70	60	50	40	30
Проточити канавку від діаметра D до діаметра d . $S=0,05$ мм/об., $V=40$ м/хв.						
		B5	B10	B15	B20	B25
	D , мм	M24x 2	M22x 1,7	M20x 1,5	M18x 1,2	M16x 1
	A , мм	120	110	100	90	80
Нарізати різьбу на діаметрі D довжиною A за 3 проходи. $V=8$ м/хв.						
Операційний ескіз (контури заготовки й інструмента та напрямки їх руху)			Розрахунок T_o			

ПРОТОКОЛ №3

В. Фрезерна обробка

Для приведенного нижче індивідуального завдання викреслити ескіз обробки і розрахувати частоту обертання шпинделя n (об/хв), основний технологічний час і продуктивність обробки деталі за 1 зміну (8 год.) на заданому режимі. Умовно вважати час обробки 1 деталі рівним $1,3T_o$

Варі-ант	Швидкість різання, V , м/хв.	Подача S , мм/зуб	Діаметр фрези, D , мм	К-сть зубів, z	Прох. i	Фреза	Верстат	Оброблювана поверхня
1	15,7	0,04	110	30	2	Торцева	Вертик.	Плоска, L=200
2	15,7	0,05	80	50	1	Дискова	Гориз.	Паз сегментної шпон., h=8
3	15,7	0,06	24	6	1	Кінцева	Вертик.	Коло, D=80
4	20,4	0,07	10	6	1	Кінцева	Вертик.	Паз призматич. шпон., L=40, h=6
5	20,4	0,08	100	25	3	Циліндр	Гориз.	Плоска, L=180
6	20,4	0,09	24	6	1	Кінцева	Вертик.	Прямокут. контур 80x160
7	31,4	0,10	30	7	1	Кінцева	Вертик.	Коло, D=100
8	31,4.	0,04	100	40	3	Торцева	Вертик.	Плоска, L=140
9	31,4	0,05	22	6	1	Кінцева	Вертик.	Півколо, D=120
10	40,6	0,06	60	24	3	Циліндр	Гориз.	Плоска, L=200
11	40,6	0,07	18	6	1	Кінцева	Вертик.	Квадрат, a=140
12	40,6	0,08	60	27	1	Дискова	Гориз.	Паз сегментної шпон., h=6

<p>Операційний ескіз (контури заготовки й інструмента та напрямки їх руху)</p>	<p>Розрахунок T_o та Q</p>
Роботу виконав	Роботу перевірів

ГЛОСАРІЙ

АЛОТРОПІЧНА МОДИФІКАЦІЯ — одна із кристалічних форм речовини.

АЛОТРОПІЯ — існування одного і того ж хімічного елемента у вигляді двох чи кількох простих речовин, різних за кристалічними формами і властивостями.

АНІЗОТРОПІЯ — векторіальність властивостей матеріалу в різних напрямках.

БІЛИЙ ЧАВУН — чавун з матово-білою поверхністю зламу, в якому весь вуглець знаходиться в зв'язному стані – у вигляді карбїду заліза Fe₃C.

БЛИЖНІЙ ПОРЯДОК — певна впорядкованість в розташуванні сусідніх атомів на відстанях, співрозмірних з міжатомними, в рідких металах при температурах близьких до температури кристалізації.

БЛОКИ МОЗАЇКИ — ділянки монокристалу чи зерен полікристалу, що відрізняються незмінною кристалічною ґраткою і розорієнтовані на долі градуса.

БОРУВАННЯ — насичення поверхні виробів зі сталі і деяких інших металів бором для підвищення твердості, зносостійкості і корозійної стійкості.

БРОНЗА — сплав міді з різними хімічними елементами (оловом, алюмінієм, берилієм, кремнієм і ін.), за винятком цинку і нікелю.

ВАКАНСІЇ — точкові дефекти кристалічної ґратки, які являють собою вільні від атомів вузли кристалічної ґратки.

ВИСОКОМІЦНІЙ ЧАВУН — чавун, в якому графіт має кулясту форму.

ВИСОКОЧАСТОТНЕ ГАРТУВАННЯ — поверхнєве гартування сталі з застосуванням нагрівання струмами високої частоти.

ВІДПУСКНА КРИХКІСТЬ I РОДУ — зниження ударної в'язкості легованої сталі після відпуску при температурі близько 300 °С. Не залежить швидкості охолодження після відпуску. Усувають повторним відпуском при більш високій температурі.

ВІДПУСКНА КРИХКІСТЬ II РОДУ — зниження ударної в'язкості легованої сталі при відпуску в інтервалі температур 400— 600 °С. Проявляється в результаті повільного охолодження після відпуску. Усувають шляхом легування сталі молібденом чи вольфрамом, а також прискореним охолодженням після відпуску.

ГЕТЕРОГЕННА СТРУКТУРА — неоднорідна структура, певні частини якої відрізняються за фізичними і хімічними властивостями і відділені одні від одних поверхнею розділу.

ГАЗОВЕ ЦІАНУВАННЯ — дифузійне насичення поверхні сталевих деталей одночасно вуглецем і азотом в газовому середовищі для підвищення поверхнєвої твердості, зносостійкості і витривалості сталі.

ГАЗОВІ РАКОВИНИ — порожнини (пустоти) у виливках чи зливках, які виникають при кристалізації і заповнені газом, що виділяється з нього.

ГІСТЕРЕЗИС — різна реакція фізичного тіла на певні внутрішні впливи в залежності від того, чи піддавалось це тіло раніше тим же впливам чи піддається їм вперше.

ГОМОГЕНІЗАЦІЯ — вирівнювання хімічного складу металу за об'ємом зливка, виливки, деталі, зерна.

ГРАФІТИЗАЦІЯ — утворення частинок графіту в структурі чавунів внаслідок розпаду термодинамічно нестійкого цементиту. Процес графітизації лежить в основі отримання ковкого чавуну.

ДЕНДРИТИ — кристали деревоподібної форми, які утворюються з розплавів, парів чи розчинів в процесі кристалізації речовини в умовах направленою тепловідведення.

ДЕНДРИТНА ЛІКВАЦІЯ — хімічна неоднорідність в межах дендриту.

ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ РЕШІТКИ МЕТАЛІВ — порушення правильного періодичного розміщення атомів (іонів) в вузлах кристалічної ґратки металів. Їх поділяють на точкові (вакансії і між вузлові атоми), лінійні (дислокації), поверхневі (границі зерен і субзерен, дефекти пакування) і об'ємні (пори, тріщини).

ДЕФЕКТИ МЕТАЛІВ — порушення кристалічної структури металів; відхилення від передбаченої технічними умовами якості металів за хімічним складом, структурою, станом поверхні, механічними і іншими властивостями.

ДИСПЕРСНА СТРУКТУРА — структура речовини, що включає в себе найдрібніші частинки однієї чи кількох фаз (чим дрібніші частинки, тим вища дисперсність структури).

ДИФУЗІЙНА МЕТАЛІЗАЦІЯ — насичення поверхневих шарів металевих виробів іншими металами шляхом їх дифузії при високій температурі для підвищення зносо- і корозійної стійкості та в декоративних цілях.

ДИФУЗІЙНИЙ ВІДПАЛ — термічна обробка сплавів з метою усунення дендритної ліквідації, що полягає у нагріванні і тривалому витримуванні виливків при високій температурі.

ДИФУЗІЙНИЙ ШАР — поверхневий шар металу, в якому відбувається зміна складу при хімічно-термічній обробці.

ДИФУЗІЯ — теплове переміщення іонів, атомів в напрямку вирівнювання їх концентрації; в кристалічній речовині — переміщення атомів на віддалі, що перевищують міжатомні.

ДІАГРАМА СТАНУ СПЛАВІВ — графічна залежність між фазовим та структурним складом сплавів, температурою і концентрацією компонентів. Показує склад сплавів у рівноважних умовах. За допомогою діаграми стану визначають температуру плавлення сплавів, вибирають температури оброблення тиском, встановлюють режими термічної обробки сплавів.

ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗО-ЦЕМЕНТИТ — діаграма, яка описує фазовий та структурний стан залізовуглецевих сплавів в залежності від складу і температури.

ДОЕВТЕКТОЇДНА СТАЛЬ — вуглецева чи низьколегована сталь, що містить менше, ніж 0,8% вуглецю, у рівноважному стані (після відпалу) має структуру фериту і перліту, за призначенням – конструкційна.

ДУРАЛЮМІН — сплав алюмінію з 2,2— 5,2% Cu, 0,2—2,7% Mg і 0,2—1,0% Mn.

ЕВТЕКТОЇДНА СТАЛЬ — сталь з вмістом вуглецю 0,8%, рівноважна структура якої складається з перліту.

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ — властивість матеріалу проводити електричний струм під дією незмінного в часі електричного поля.

ЕЛЕКТРОХІМІЧНА КОРОЗІЯ — руйнування металів у водних розчинах електrolітів.

ЖАРОМІЦНА СТАЛЬ — сталь, здатна чинити опір деформації і руйнуванню при високих температурах. З них виготовляють клапани двигунів внутрішнього згоряння, лопатки турбін, деталі кріплення і т. д.

ЖАРОМІЦНІСТЬ — здатність матеріалів (переважно металевих сплавів) при високих температурах витримувати без руйнування механічні навантаження. Жароміцність сплаву характеризується опором повзучості.

ЖАРОСТІЙКА СТАЛЬ — сталь, стійка проти окиснення при високій температурі.

ЖАРОСТІЙКІСТЬ — здатність металів і сплавів чинити опір окисненню при високих температурах.

ЗАГАРТОВУВАНІСТЬ — здатність сталі набувати максимальної твердості в результаті гартування.

ЗАЕВТЕКТОЇДНА СТАЛЬ — вуглецева і легована сталь, що містить більше 0,8% C, у рівноважному стані (після відпалу) структура заевтектоїдної сталі складається з перліту і цементиту.

ЗАРОДКИ КРИСТАЛІВ — групи атомів або нерозчинні в розплаві частинки, навколо яких при переохолодженні виростають кристали.

ЗЕРНИСТІСТЬ — характеристика розміру абразивних зерен. Зернистість шліфувальних кругів характеризується розміром зерен і позначається відповідним номером. За зернистістю абразивний матеріал поділяється на шліфзерно, шліф-порошки, мікропорошки.

ЗЕРНО (КРИСТАЛІЧНЕ) — кристал певної форми в полікристалічному матеріалі.

ЗЛАМ — поверхня, яка утворюється після руйнування взірця чи виробу.

ЗНЕВУГЛЕЦЬОВУВАННЯ — зменшення вмісту вуглецю на поверхні сталевих деталей при нагріванні в окислювальному або водневому середовищі.

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ — опір матеріалів, деталей машин і інших поверхонь тертя зношуванню, залежить від хімічного складу сплавів, структури, термічної обробки і твердості структурних складових.

ЗОНАЛЬНА ЛІКВАЦІЯ — хімічна неоднорідність по об'єму зливка, деталі чи зварного шва..

ІЗОТЕРМІЧНЕ ГАРТУВАННЯ — гартування, яке полягає в різкому охолодженні сталі до температури 300—400 °С, подальшому тривалому витримуванні при цій температурі до повного або часткового розпаду аустеніту і охолодженні на повітрі. Знижуються внутрішні напруження, утворюється структура бейніту або бейніту з мартенситом.

ІЗОТРОПІЯ — однаковість фізичних і механічних властивостей тіла (середовища) у всіх напрямках.

ІНВАРНІ СПЛАВИ — залізонікелеві сплави з низьким температурним коефіцієнтом лінійного розширення. З високим вмістом хрому мають хороші антикорозійні властивості. Використовують при виготовленні точних приладів і деталей до них.

ІНСТРУМЕНТАЛЬНА СТАЛЬ — вуглецева і легована сталь з високою твердістю, міцністю, зносостійкістю, яка використовується для виготовлення різального, штампового і вимірювального інструменту.

ІНТЕРКРИСТАЛІТНА КОРОЗІЯ — тяж, що й міжкристалітна корозія.

КАРБІДНА ЛІКВАЦІЯ — неоднорідність розподілу карбідів у високовуглецевій легованій сталі, погіршує властивості швидкорізальних сталей.

КОАГУЛЯЦІЯ — укрупнення частинок в дисперсних системах.

КОБАЛЬТОВІ СПЛАВИ — сплави на основі кобальту з добавками-домішками хрому, нікелю, молібдену, вольфраму і інших елементів, мають малий коефіцієнт термічного розширення в інтервалі температур 20—870 °С, високі жаро- і корозійну стійкість, особливі магнітні властивості. Їх застосовують для виготовлення деталей, які експлуатують при високих температурах, наприклад, лопаток турбореактивних двигунів.

КОВКИЙ ЧАВУН — сірий чавун підвищеної пластичності, в якому графіт має форму пластівців. З нього виготовляють колінчасті і розподільні вали, поршні дизельних двигунів, коромисла клапанів, деталі зчеплення та інші вироби.

КОЕФІЦІЄНТ ДИФУЗІЇ — кількість речовини, що дифундує через одиницю площі (1 см²) за одиницю часу (1 с) при перепаді концентрації, що дорівнює одиниці.

КОНСТРУКЦІЙНА СТАЛЬ — вуглецева або легована сталь, що містить менше, ніж 0,8% С, є доевтектоїдною і призначена для виготовлення деталей машин і будівельних конструкцій.

КОРОЗІЯ — процес руйнування металів і сплавів під дією навколишнього середовища. За механізмом корозійного процесу розрізняють хімічну і електрохімічну корозію.

КРИСТАЛИ — тверді тіла із закономірним розташуванням атомів (іонів), що утворюють кристалічну ґратку.

КРИСТАЛІЗАЦІЯ — перехід з рідкого чи газоподібного стану в твердий з утворенням кристалічної структури.

КРИСТАЛІЧНА ГРАТКА — геометрично правильне, закономірне розташування атомів (іонів) в просторі. Більшість технічно важливих металів утворюють складну кристалічну решітку: кубічну об'ємноцентровану, кубічну гранецентровану, чи гексагональну щільноупаковану.

КРИТИЧНИЙ СТУПІНЬ ДЕФОРМАЦІЇ — величина (ступінь) пластичної деформації металу чи сплаву, при якому після рекристалізаційного відпалу утворюються зерна максимального розміру:

КРИТИЧНА ТОЧКА — температура, при якій в металі чи сплаві відбувається фазове перетворення.

КРИТИЧНА ШВИДКІСТЬ ГАРТУВАННЯ — мінімальна швидкість охолодження сталі, при якій утворюється структура мартенситу без продуктів перлітного та бейнітного розпаду аустеніту. При гартуванні сталь потрібно охолоджувати зі швидкістю більшою, ніж критична швидкість гартування.

КРИТИЧНИЙ ДІАМЕТР — максимальний діаметр сталювого циліндру, який прогартується наскрізно в даному охолоджувальному середовищі.

КРИХКІСТЬ — властивість твердих матеріалів руйнуватися при механічних впливах без помітної пластичної деформації.

ЛАТУНЬ — сплав Cu з Zn (до 45%), з добавками Al, Fe, Mn, Ni, Pb і інших елементів. За способом обробки латуні поділяють на деформівні латуні, що піддаються обробці тиском, і ливарні латуні, що відрізняються хорошими ливарними властивостями. Латунь застосовують в машино- і приладобудуванні, в автомобільній і суднобудівній промисловості.

ЛЕГОВАНА СТАЛЬ — сталь, у склад якої вводять хімічні (легуючі) елементи для підвищення експлуатаційних і технологічних властивостей. Конструкційну леговану сталь застосовують в машинобудуванні для виробництва виробів, які витримують при експлуатації статичні і динамічні навантаження. Леговану сталь з особливими фізичними і хімічними властивостями використовують для виготовлення клапанів двигунів внутрішнього згорання, лопаток парових і газових турбін, хімічної апаратури і інших виробів.

ЛЕГУВАННЯ — введення до складу металевих сплавів спеціальних хімічних елементів для зміни будови сплавів, надання їм певних фізичних, хімічних чи механічних властивостей. Легування, при якому елементи вводять в кількості 0,1% називається мікролегуванням.

ЛЕГУЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ — хімічні елементи, переважно метали, що вводять до складу сплавів для надання їм певних властивостей (Ni, Cr, Mn, V, Ti та інші).

ЛЕДЕБУРИТ — евтектична механічна суміш аустеніту і цементиту, яка утворюється при температурі нижче 1147 °С; при температурі нижче 727 °С це суміш перліту і цементиту (ледебурит перетворений).

ЛІКВАЦІЯ — неоднорідність хімічного складу за об'ємом зливка, деталі, зерна, яка виникає при кристалізації металу:

ЛІНІЯ ЛІКВІДУС — лінія на діаграмі стану, яка показує температури початку кристалізації сплавів і є геометричним місцем точок ліквідус.

ЛІНІЯ СОЛІДУС — лінія на діаграмі стану, яка показує температури кінця кристалізації сплавів і є геометричним місцем точок солідус.

МАГНІТОМ'ЯКІ МАТЕРІАЛИ — матеріали, які легко намагнічуються в магнітному полі і легко розмагнічуються поза ним. Для них характерні низька коерцитивна сила і малі втрати на гістерезис. До магнітом'яких матеріалів відносяться пермалой, пермендюр, залізо армко, карбонільне і електролітичне залізо, електротехнічна сталь і ін.

МАГНІТОТВЕРДІ МАТЕРІАЛИ — матеріали, які важко намагнічуються в магнітному полі і важко розмагнічуються поза ним. З них виготовляють постійні магніти, що використовують в мікродвигунах і у вимірю-вальних приладах.

МАКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ — вивчення будови металів і сплавів неозброєним оком чи при невеликому збільшенні (не більше 30 разів).

МАКРОСТРУКТУРА — будова металів і сплавів, яку видно неозброєним оком чи при невеликих збільшеннях (не більше 30 разів).

МАКРОШЛІФ — металевий зразок з плоскою шліфованою поверхнею, призначений для виявлення макро-структури.

МАРТЕНСИТ — пересичений твердий розчин вуглецю в α -залізі.

МАРТЕНСИТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ—бездифузійне фазове перетворення аустеніту в мартенсит у залізобуглецевих сплавах, яке відбувається при різкому охолодженні з температури вище 727 °С.

МІДНІ СПЛАВИ — сплави на основі міді, їх поділяють на латуні, бронзи і міднонікелеві сплави.

МІЖКРИСТАЛІТНА КОРОЗІЯ — корозія металу по границях зерен, пов'язана зі зниженням в нержавіючій сталі корозійної стійкості границь зерен при утворенні карбідів хрому

МІКРОСТРУКТУРА — будова металів і сплавів, що вивчається при великих збільшеннях (більше, ніж в 30 разів).

МІКРОШЛІФ — вірець з плоскою полірованою поверхнею, підданий травленню розчином кислоти або лугу для виявлення мікроструктури.

МІСЦЕВА КОРОЗІЯ — корозія, яка вражає певні ділянки поверхні металів, може бути у вигляді корозії плямами, виразкової корозії, точкової і міжкристалітної.

МОДИФІКАТОРИ — речовини, що додають в невеликих кількостях в рідкі сплави з метою подрібнення або зміна форми структурних складових. Для алюмінієвих сплавів як модифікатори застосовують солі лужних металів, Ti, V, Nb, Zr, а також одночасно Ti і V. Магній застосовується в якості модифікатора при виплавці високоміцного чавуну.

МОДИФІКОВАНИЙ ЧАВУН — чавун з високими механічними властивостями, в якому графіт має кулясту форму. Його отримують введенням в розплав Mg, Ce, Ca, PЗМ, лігатур і комплексних модифікаторів.

МОДИФІКУВАННЯ — введення в рідкі метали і сплави спеціальних речовин (модифікаторів) для подрібнення структури і покращення властивостей.

МОЗАЇЧНА СТРУКТУРА — структура кристалу, що складається з дрібних ділянок (блоків) кристалічної ґратки різного орієнтування.

МОНОКРИСТАЛ — окремий кристал з однотипною кристалічною ґраткою, їх широко застосовують в радіо-техніці і радіоелектроніці.

НАКЛЕП — зміцнення металевих матеріалів під дією холодною пластичної деформації.

НЕМЕТАЛІЧНІ ВКЛЮЧЕННЯ — макро- і мікрочастинки в металах і сплавах (карбіди, оксиди, силікати, сульфідні, нітриди), які утворюються в металі в процесі виробництва.

НЕПОВНЕ ГАРТУВАННЯ — гартування заевтектоїдних сталей, при якому нагрівання проводять вище температури A_{c1} , але нижче температури A_{c2} . Для отримання більш високої твердості за рахунок утворення надлишкового цементиту.

НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ — сталь, стійка проти корозії в умовах впливу атмосфери і слабоагресивних середовищ.

НІКЕЛІВІ СПЛАВИ — сплави на основі нікелю. Пластичні при високій температурі, піддаються прокатуванню, волочінню і штампуванню. В конструкційних, термоелектричних, магнітом'яких нікелевих сплавах поєднуються висока міцність і підвищена пластичність.

НОРМАЛІЗАЦІЯ — термічна обробка сталі або чавуну, яка полягає в нагріванні вище температури фазових перетворень, витримуванні і подальшому охолодженні на повітрі для отримання однорідної дрібнозернистої структури з вищими, порівняно з відпаленою сталлю міцністю і твердістю.

ОКСИДУВАННЯ — окиснення поверхневого шару металевих виробів з метою захисту від корозії. Для алюмінію застосовується електрохімічне оксидування (анодування).

ПАРАМЕТР КРИСТАЛІЧНОЇ ГРАТКИ — найменша відстань між атомами по ребру кристалічної решітки, вимірюється в ангстремах, нанометрах чи кілоіксах.

ПЕРЕОХОЛОДЖЕННЯ — охолодження речовини нижче температури її рівноважного переходу в інший фазовий стан (наприклад, нижче температури плавлення).

ПЕРЛІТ — евтектоїдна механічна суміш фериту і цементиту; одна зі структурних складових сплавів заліза з вуглецем.

ПЛАКУВАННЯ — покриття поверхні одного металу шаром іншого з подальшою прокаткою з метою зміни фізико-хімічних властивостей поверхні. Наприклад, плакування сплавів алюмінію застосовується для створення антикорозійного шару алюмінію на листах.

ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ — деформація, яка залишається в матеріалі після припинення дії сили.

ПЛАСТИЧНІСТЬ — здатність твердих тіл змінювати свою форму без руйнування під дією зовнішніх сил.

ПОВЗУЧІСТЬ — пластична деформація матеріалу з часом під дією постійних напружень, менших, ніж границя текучості.

ПОВНЕ ГАРТУВАННЯ — гартування доєвтектоїдних сталей з нагріванням до температури вище критичних точок $A_{c3}:A_{c3+}$ (30° — 50°).

ПРОГАРТОВУВАНІСТЬ — здатність сталі сприймати гартування на певну глибину. Глибина прогартуваності – це зона з напівмартенситною структурою.

ПРУЖНА ДЕФОРМАЦІЯ — деформація, що зникає після зняття навантаження, яке її викликає.

ПРУЖНІСТЬ — властивість матеріалів відновлювати свою форму і об'єм після припинення дії внутрішніх сил.

РАФІНУВАННЯ — вилучення шкідливих домішок з металів і сплавів. Електрохімічне рафінування використовується для алюмінію, міді, нікелю, цинку, натрію, свинцю, золота, срібла і інших кольорових металів.

РЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНИЙ ВІДПАЛ — нагрівання холоднодеформованого металу вище температури рекристалізації з метою виправлення структури і зняття наклепу.

РЕКРИСТАЛІЗАЦІЯ — відновлення структури і властивостей холоднодеформованого металу при нагріванні до температури рекристалізації.

РІДКОТЕКУЧІСТЬ — здатність розплавленого металу заповнювати ливарну форму.

РОЗКИСНЕННЯ — виведення з розплавлених металів (головним чином сталі, а також деяких інших сплавів) розчиненого в них кисню.

РОЗЧИННІСТЬ — властивість речовини утворювати розчини змінного складу з іншими речовинами (розчинниками).

СІРИЙ ЧАВУН — чавун, в якому вільний вуглець знаходиться у вигляді графіту пластинчастої форми. З нього виготовляють станини, шестерні, шківни, корпусні деталі середньої міцності, поршневі кільця і інші вироби.

СПЕЦІАЛЬНІ КАРБІДИ — карбіди, що утворилися карбідоутворюючими елементами (W, Cr, Ti, V), крім заліза.

СПЛАВ — речовина, отримана сплавленням, або іншими методами, двох або більше елементів.

СТАЛЬ — сплав заліза з вуглецем, що містить менше 2,14 % C з домішками інших елементів.

СТАЛЬ З ОСОБЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ — легована сталь зі спеціальними фізико-хімічними властивостями: кислотостійка, нержавіюча, жароміцна, електротехнічна і жаростійка сталі, а також сталь для постійних магнітів. Для цих сталей характерний низький вміст вуглецю і високий ступінь легування.

СТАРІННЯ СПЛАВІВ — процес розпаду перенасичених твердих розчинів, отриманих після гартування, який відбувається без нагрівання чи при невеликому нагріванні.

СТРУКТУРА — внутрішня будова матеріалу (металу, сплаву), що вивчається неозброєним оком чи за допомогою спеціальних приладів (оптичних, електронних, рентгенівських і ін.).

СУЦІЛЬНА КОРОЗІЯ — корозія, яка охопила всю поверхню металу. Суцільну корозію поділяють на рівномірну і нерівномірну залежно від глибини руйнування на різних ділянках.

ТВЕРДІСТЬ — опір матеріалу проникненню в нього іншого, більш твердого тіла. Твердість за Роквелом вимірюється в умовних одиницях, за Вікерсом і Брінелем в МПа.

ТЕПЛОСТІЙКІСТЬ — здатність інструментальної швидкорізальної сталі зберігати високу твердість (структуру мартенситу) при нагріванні до температури 550—600 °С.

ТИТАНОВІ СПЛАВИ — сплави на основі титану, що мають низьку питому густину, високі міцність і корозійну стійкість. Їх застосовують як конструкційні матеріали в авіації, машинобудуванні, медицині тощо.

ТРАВЛЕННЯ — хімічна і електрохімічна обробка поверхні металів, що застосовують для очищення від окалини, для отримання потрібного вигляду поверхні металевих напівфабрикатів, при лудінні і паянні, а також для мікроструктурних досліджень.

ТРИВАЛА МІЦНІСТЬ — здатність матеріалу чинити опір руйнуванню при тривалому впливі статичного навантаження і високої температури. Характеристикою тривалої міцності є напруження, що викликає руйнування при даній температурі за даний відрізок часу (границя тривалої міцності).

ТРИЩИННИ — порушення суцільності матеріалу або виробу в результаті часткового відриву однієї частини від іншої.

УДАРНА В'ЯЗКІСТЬ — властивість матеріалу чинити опір руйнуванню при ударному навантаженні (КС, вимірюють в МДж/м²). Для позначення ударної в'язкості додають третю букву, що вказує на вид надрізу на взірці: U, V, T (КСU означає ударну в'язкість взірця з U-подібним надрізом, КСV з V-подібним, КСТ із тріщиною).

УСАДКОВІ (УСАДОЧНІ) РАКОВИНИ — дефекти (пустоти) в зливках і виливках, що утворюються в результаті зменшення об'єму металу при переході з рідкого стану в твердий.

ФЕРИТ — твердий розчин вуглецю і легуючих елементів в α -залізі. Вміст вуглецю у низькотемпературному фериті не перевищує 0,02%.

ХІМІЧНА КОРОЗІЯ — самочинне руйнування металу внаслідок хімічної взаємодії з сухими газами або рідкими неелектролітами (нафтою, бензином, гасом, і ін.).

ХОЛОДНОЛАМКІСТЬ — різке зниження в'язкості і пластичності матеріалу з пониженням температури.

ХРОМУВАННЯ — дифузійне насичення поверхні металу хромом з метою підвищення поверхневої твердості, зносостійкості, корозійної стійкості і

окалиностійкості. При хромуванні середньовуглецева сталь набуває високої твердості і зносостійкості.

ЦЕМЕНТАЦІЯ — насичення поверхневого шару сталі вуглецем з метою підвищення поверхневої твердості, зносостійкості і границі витривалості.

ЦЕМЕНТИТ — хімічна сполука заліза з вуглецем (Fe_3C). Має високу твердість і низьку пластичність.

ЦІАНУВАННЯ — одночасне насичення поверхневого шару сталі вуглецем і азотом з метою підвищення її поверхневої твердості, зносостійкості і границі витривалості. Його здійснюють у твердих, рідких і газоподібних середовищах.

ЧАВУН — сплав заліза з вуглецем, що містить понад 2,14 % вуглецю і підвищену кількість домішок.

ЧЕРВОНОЛАМКІСТЬ — різке зниження пластичності сплавів при температурі гарячої обробки тиском у результаті оплавлення домішок.

ШВИДКОРІЗАЛЬНА СТАЛЬ — високолегована вольфрамом, хромом, молібденом, ванадієм, кобальтом інструментальна сталь. Для отримання високої теплостійкості інструмент із швидкорізальної сталі піддають спеціальній термічній обробці: гартуванню від температури 1240—1280 °С і трьохкратному відпуску при температурі 560—600 °С.

Література

1. Травин, О. В. Материаловедение [Текст] учебник для вузов / О. В. Травин, Н. Т. Травина. - М. Металлургия, 1989. - 383 с.
2. Солнцев Ю.П. Материаловедение [Текст] Материаловедение: Учебник для вузов. Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин. - Химиздат, 2007.-783 с.
3. Матеріалознавство [Текст] : навч. посібник / А. І. Яцюк, Р. А. Яцюк; Ін-т змісту і методів навчання, Укр. держ. лісотехн. ун-т. - К. : [б.в.], 1996. - 168 с.
4. Металознавство та термічна обробка металів [Текст] : підручник для студ. вищ. навч. закладів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк ; Національний ун-т "Львівська політехніка". - Л. : Афіша, 2002. - 304 с.: рис. - Бібліогр.: с. 299-300. - ISBN 966-7760-36-7
5. Практикум з матеріалознавства для студентів спеціальності 7.091700 "Технологія зберігання, консервування та переробки плодів і овочів" [Текст] / А. Ф. Головчук, В. І. Левчук. - Умань : [б.в.], 2002. - 140 с.
6. Матеріалознавство [Текст] : лабораторний практикум / В. Попович [и др.] ; Український держ. лісотехнічний ун-т. - Львів : [б.в.], 1997. - 109 с.
7. Металознавство [Текст] : підручник для студ. вузів / О. М. Бялік [та ін]. - К. : Політехніка, 2001. - 374 с
8. Гуляев А. П. Металловедение [Текст] /А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1977. – 678 с.
9. Матеріалознавство та конструкційні матеріали [Текст] : курс лекцій / В. Д. Кузнецов [и др.]. - К. : НАУ, 2003. - 120 с.

10. Лахтин Ю. М. Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений. 3-е изд., перераб. и доп. // Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
11. Матеріалознавство [Текст] : лабораторний практикум / С. І. Бондаренко [та ін.] ; ред. С. С. Дяченко ; Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. - Х. : Видавництво ХНАДУ, 2006. - 168 с.: рис., табл. - Бібліогр.: с. 163-165. - ISBN 966-303-105-0.
12. Сидорин И. И. Руководство к лабораторным работам по материаловедению / И. И. Сидорин. – М.: Металлургия, 1978. – 254 с.
13. Самохоцкий А. И. / Технология термической обработки металлов // А.И. Самохоцкий., Н.Г. Парфеновская. – М.: Машиностроение, 1976. – 428 с.
14. Металознавство і термічна обробка із застосуванням комп'ютерних технологій навчання: навч. посібник / за ред. Ю.М.Тарана. – К.: ІСДО, 1983. – 208 с.
15. Матеріалознавство та конструкційні матеріали [Text] : курс лекцій / В. Д. Кузнецов [и др.]. - К. : НАУ, 2003. - 120 с.
16. Волчок И.П., Плескач В.М. Технология конструкционных материалов. – К.: Вища школа, 1990. – 152 с.
17. Технология конструкционных материалов / Под общей ред. Прейса Г.А. - К.: Вища школа, 1984. – 359 с.

Интернет ресурсы

http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/924/MZTM_KONSP_LEK.pdf

<http://5fan.ru/wievjob.php?id=36606>

ptima.kiev.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=126...0...

<http://wiki.kspu.kr.ua/index.php/Файл:МТКМ.zip>

arhipova.vk.vntu.edu.ua/file/44faab28841487612b8cd2ff8c00c452.pdf

ela.kpi.ua/handle/123456789/2716