

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Луцького національного технічного університету

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

Конспект лекцій

для здобувачів фахової передвищої освіти
освітньо-професійної програми «Автомобільний транспорт»

галузь знань 27 Транспорт

спеціальності 274 Автомобільний транспорт

денної та заочної форми навчання

Луцьк 2021

УДК 620.22 (07)
Т - 38

До друку
Директор ТФК Луцького НТУ _____ О.О. Герасимчук

Рекомендовано до видання Навчально-методичною радою ТФК Луцького НТУ,
протокол № від « » _____ 2021 року.

Голова Навчально методичної ради ТФК Луцького НТУ
_____ С. В. Буснюк

Розглянуто і схвалено на засіданні ВЦК «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» ТФК Луцького НТУ,
протокол № від « » _____ 2021 року.

Голова ВЦК _____ М. М. Євсюк

Укладач: _____ Н.Л. Дудич, викладач ТФК Луцького НТУ

Рецензент: _____ В.П. Кашицький, професор, к.т.н. кафедри
Матеріалознавства Луцького НТУ

Відповідальний за випуск: _____, М.М. Євсюк, голова ВЦК
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Конспект лекцій [Текст] : Технологія конструкційних матеріалів та
матеріалознавство для здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня
«фаховий молодший бакалавр» освітньо-професійної програми
«Автомобільний транспорт» галузь знань 27 Транспорт
Т - 38 спеціальності 274 Автомобільний транспорт денної та заочної
форми навчання / укладач Н.Л. Дудич - Луцьк : ТФК Луцького НТУ,
2021. - 120 с.

Конспект лекцій є результатом узагальнення досвіду викладання курсу
“Технології конструкційних матеріалів та матеріалознавство” для студентів
технічних спеціальностей. У посібнику викладено виробництво чорних та
кольорових металів, ливарне та зварювальне виробництво, обробка металів
тиском та різанням, електрофізичні та електрохімічні методи обробки металів,
нові металічні матеріали, кристалічна будова металів, пластична деформація та
механічні властивості, залізо та його сплави, кольорові метали та їх сплави,
основи термічної обробки металів, леговані сталі, пластичні маси і неметалічні
матеріали.

© Н.Л. Дудич, 2021

ЗМІСТ

Вступ	7
Тема № 1. Виробництво чорних та кольорових металів	8
1. Сучасне металургійне виробництво	8
2. Матеріали для виробництва металів та сплавів	8
3. Виробництво чавуну	9
4. Виробництво сталі	12
5. Розливання сталі	14
6. Особливості виробництва кольорових металів	15
Тема № 2. Ливарне виробництво	18
1. Загальна характеристика ливарного виробництва	18
2. Рідкотекучість та усадки ливарних сплавів	19
3. Виготовлення виливок в піщаних разових формах	20
4. Спеціальні способи лиття	21
Тема № 3. Зварювальне виробництво. Спаювання металів	25
1. Суть процесу зварювання та класифікація	25
2. Види термічного зварювання	26
3. Види термомеханічного та механічного зварювання	29
Тема № 4. Обробка металів тиском	33
1. Загальна характеристика процесів обробки металів тиском	33
2. Прокатне виробництво, інструмент та обладнання	35
3. Волочіння та пресування металів	36
4. Кування. Об'ємне та листове штампування	38
Тема № 5. Обробка металів різанням	40
1. Основні схеми обробки різанням	40
2. Режими різання та геометрія шару, який зрізається	42
3. Металорізальні верстати, їх класифікація	43
4. Обробка заготовок на токарних, свердлильних, фрезерувальних верстатах	44

5. Обробка заготовок на протягувальних, стругальних, шліфувальних верстатах та нарізання зубчастого вінця	46
Тема № 6. Електрофізичні та електрохімічні методи обробки металів	48
1. Загальні відомості	48
2. Електроерозійні та електрохімічні методи обробки	49
3. Анодно-механічна обробка металів. Хімічні методи обробки	51
4. Ультразвукова обробка. Променеві методи обробки. Обробка плазмою	53
Тема № 7. Нові металічні матеріали. Способи їх отримання та методи обробки	54
1. Порошкові сталі та сплави. Основи порошкової металургії	54
2. Сплави на основі інтерметалідів. Аморфні та мікрокристалічні сплави	56
Тема № 8. Кристалічна будова металів	58
1. Атомно-кристалічна будова металів	58
2. Анізотропія. Дефекти кристалічної будови	60
3. Модель кристалізації полікристалічного металу за Миркінім	62
4. Самовільна та не самовільна кристалізація. Модифікування. Поліморфні перетворення в металах	62
5. Будова металічного зливка	63
Тема № 9. Металічні сплави та діаграми стану	64
1. Основні фази в сплавах	64
2. Принцип побудови діаграм стану	66
3. Визначення складу та кількості фаз за діаграмою стану	67
4. Зв'язок між властивостями сплавів і типом діаграми стану	68
Тема № 10. Пластична деформація, рекристалізація та механічні властивості металів і сплавів	69
1. Поняття про пружну та пластичну деформацію	69
2. Механізми пластичної деформації	70

3. Пластична деформація полікристалів, текстура деформації. Деформаційне зміцнення при пластичній деформації	71
4. Процеси, що відбуваються при нагріванні деформованих металів. Повернення, полігонізація	72
5. Первинна та вторинна рекристалізація. Холодна та гаряча деформації	73
6. Механічні властивості, які визначають при статичних випробуваннях	74
7. Властивості, які визначають при динамічних випробуваннях	76
Тема № 11. Залізо та його сплави. Вуглецеві сталі та чавуни	77
1. Компоненти та фази в системі Fe – C	77
2. Діаграма метастабільного стану системи Fe – C	79
3. Структурні складові діаграми Fe – C	80
4. Нонваріантні перетворення залізобуглецевих сплавів	81
5. Характеристика вуглецевих сталей	81
6. Характеристика чавунів	85
Тема № 12. Основні термічні обробки металів	87
1. Критичні точки на діаграмі Fe – C	87
2. Перетворення перліту в аустеніт при нагріванні сталі. Ріст зерна аустеніту при нагріванні	88
3. Перетворення в сталі при охолодженні. Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту	89
4. Класифікація основних видів термообробки	90
5. Гартування сталі	92
6. Види хіміко-термічної обробки металів	93
7. Перлітне і мартенситне перетворення	95
Тема № 13. Леговані сталі	97
1. Принципи та мета легування сталей	97
2. Класифікація і маркування легованих сталей	98
3. Конструкційні та інструментальні леговані сталі	100
Тема № 14. Кольорові метали і сплави	103
1. Титан та його сплави	103

2. Сплави на основі алюмінію	104
3. Магнієві сплави	106
4. Мідь та її сплави	106
5. Підшипникові сплави. Припої та легкоплавкі сплави	108
Тема № 15. Пластичні маси і неметалічні матеріали	110
1. Склад, класифікація та властивості пластмас	110
2. Термопластичні та термореактивні пластмаси	111
3. Газонаповнені пластмаси	113
4. Синтетичні еластomers, гуми. Клеї та герметики	113
5. Силікатні матеріали. Деревина	117
Список використаної літератури	

ВСТУП

Виробництво в кожній галузі промисловості ґрунтується на використанні технологічних методів і способів, які вироблені працею багатьох поколінь і є технологією цього виробництва.

Щоб обрати матеріал для виготовлення деталі й намітити найбільш раціональні методи його обробки, треба знати властивості металів і неметалевих конструкційних матеріалів, залежність цих властивостей від методів добування, складу, структури й обробки. “Технологія конструкційних матеріалів” – це комплексна дисципліна, яка містить основні відомості про способи виробництва металевих і неметалевих конструкційних матеріалів, їхню будову, властивості й методи для одержання заготовок, готових деталей або виробів різного призначення.

Вивчення даного курсу базується на паралельному вивченні таких курсів, як “Технічне креслення”, “Опір матеріалів”, “Теорія механізмів і машин”, “Деталі машин”, а також на знаннях хімії, фізики, математики.

В сучасних умовах розвитку суспільства одним із самих важливих факторів технічного прогресу в машинобудуванні є удосконалення технології виробництва. Докорінні зміни виробництва можливі в результаті створення більш досконалих методів праці, розробки принципово нових технологій.

Розвиток і удосконалення будь-якого виробництва в даний час пов’язані з його автоматизацією, створенням робототехнічних комплексів, широким використанням обчислювальної техніки, застосуванням станків з числовим програмним управлінням. Все це складає базу, на якій створюються автоматизовані системи управління, стає можливим оптимізація технологічних процесів і режимів роботи, створенням гнучких автоматизованих комплексів.

Створюючи конструкції машин і механізмів, забезпечуючи на практиці їх задані характеристики і надійність роботи з врахуванням економічних показників, інженер повинен впевнено володіти методами виготовлення деталей машин і їх зборкою. Для цього він повинен володіти глибокими технологічними знаннями.

Тема № 1

Виробництво чорних та кольорових металів

1. Сучасне металургійне виробництво

Метали, які застосовуються в техніці, поділяють на чорні й кольорові. До чорних належать залізо та його сплави, до кольорових - усі інші метали.

Спочатку залізо добували безпосередньо із руди відновленням у горнах. Із збільшенням висоти горнів залізо насичувалось вуглецем, від чого виплавлений сплав ставав крихким, але з кращими ливарними властивостями. Такий сплав дістав назву чавуну. З XIII ст. чавун почали переробляти на сталь - сплав з меншим, ніж у чавуні, вмістом вуглецю, силіцію, мангану та деяких інших елементів, а тому з більшою пластичністю та міцністю.

Така двостадійна схема виробництва сталі - виплавка чавуну в доменній печі та переробка його на сталь - і сьогодні є основною.

Продукцією чорної металургії є чавуни, феросплави (сплави заліза з підвищеним вмістом інших елементів) та сталеві зливки для виготовлення сортового прокату і великих деталей машин.

Виробництво кольорових металів характеризується великою різноманітністю технологічних процесів виплавки і визначається особливостями складу їхніх руд. Продукцією кольорової металургії є чисті метали та їхні сплави, а також зливки для виготовлення сортового прокату.

2. Матеріали для виробництва металів та сплавів

Для виробництва металів використовують руди, флюси, паливо, вогнетривкі матеріали.

Рудою називають гірські породи, які містять у собі метали в кількості, що забезпечує їх економічну доцільну переробку. Залізні руди, наприклад, містять 30...70 % металу. Руда складається з мінералів, у яких метал міститься у вигляді оксидів, сульфідів, карбонатів та пустої породи (в основному кремнезему SiO_2 , глинозему Al_2O_3 з домішками сірки, фосфору, арсену тощо).

Флюсом називають матеріали, які утворюють при виплавленні шлак-легкоплавку сполуку з пустою породою руди, золою палива та іншими

неметалевими вкрапленнями. При виплавці чорних і деяких кольорових металів флюсами можуть бути кварцовий пісок, що складається в основному з SiO_2 , вапняк CaCO_3 та інші сполуки кальцію і магнію.

Паливом в металургійних процесах можуть бути кокс, природний, доменний або коксовий газ, мазут.

Кокс одержують сухою перегонкою кам'яного вугілля без доступу повітря при температурі 1000... 1100 °С. Природний газ складається в основному з метану CH_4 . Доменний газ є побічним продуктом при виплавці чавуну в доменній печі, містить значну кількість горючих складових (до 32 % CO , до 4 % H_2). Мазут – тяжкий залишок перегонки нафти.

Вогнетривкі матеріали застосовують для внутрішнього облицювання (футерування) плавильних печей та іншого обладнання, яке перебуває під дією високих температур і розплавленого металу та шлаку. За хімічним складом вогнетривкі матеріали поділяють на кислі, основні та нейтральні.

3. Виробництво чавуну

Чавун виплавляють із залізних руд пірометалургійним способом у доменних печах, використовуючи для цього тверде паливо (кокс) і флюси.

Пірометалургійний спосіб ґрунтується на тому, що потрібна для виплавлення металу теплота забезпечується згорянням палива. Цей спосіб є головним для виробництва заліза і його сплавів, міді та інших металів.

Залізні руди містять залізо у вигляді оксидів, гідратів оксидів, карбонатів. Пустою породою в цих рудах, як правило, бувають кварцит або пісковик, глинясті речовини.

До основних залізних руд належать: магнітний залізняк з масовою часткою 45...70 % заліза у вигляді оксиду Fe_3O_4 ; червоний залізняк з масовою часткою 50...60 % заліза у вигляді оксиду Fe_2O_3 ; бурий залізняк у вигляді водного оксиду $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ містить до 35 % заліза; шпатовий залізняк з масовою часткою 30...40% у вигляді карбонату FeCO_3 .

Паливо під час виплавки чавуну виконує роль не тільки пального, а й відновлювача заліза з руди. Цим вимогам найкраще задовольняє тверде паливо - кокс.

Флюсами при виплавці чавуну в доменній печі є вапняк CaCO_3 або доломітизований вапняк, який складається з CaCO_3 .

Доменний процес вважається раціональним, якщо масова частка заліза в шихті становить не менш як 60 %. Тому важливим етапом у металургійному виробництві є підготовка руд до плавки. З цією метою руди піддають таким основним етапам:

- подрібнення;
- сортування;

збагачення полягає у збільшенні різними способами вмісту заліза в руді.

Для поліпшення плавки збагачену руду (концентрат) переробляють у кускові матеріали агломерацією або обкатуванням.

Агломерація полягає у спіканні руди (40...50 %), вапняку (15...20 %), дрібного агломерату і коксу в спеціальній агломераційній машині.

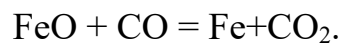
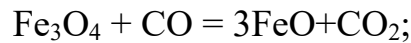
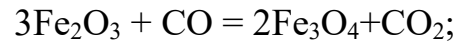
Обкатування полягає в окусковуванні подрібнених концентратів. Для цього концентрат, флюси і паливо зволожують і завантажують у нахилену чашу (гранулятор), що обертається, або в пустотілий барабан, де і утворюються обкотки - кульки діаметром 25...30 мм. Готові обкотки сушать і обпалюють при температурі 1200... 1300 °С. Використання обкотків, як і агломерату, поліпшує доменну плавку, підвищує продуктивність доменної печі, зменшує витрату палива.

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

У зоні повітряних фурм вуглець коксу взаємодіє з киснем дуття, згоряє, внаслідок чого температура в цій зоні печі досягає 1800...2000 °С. У таких умовах вуглекислий газ CO_2 взаємодіє з вуглецем коксу і утворює оксид

вуглецю CO, який і стає головним відновником заліза. Трохи вище, в зоні печі з температурою 700...450 °С, частина оксиду вуглецю розкладається з утворенням сажистого вуглецю.

Шихтові матеріали, опускаючись назустріч потоку розжарених газів, нагріваються, з них випаровується волога, виділяються леткі речовини. При досягненні температури 750...900 °С у шихті відновлюється залізо:



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

У відновленні заліза беруть участь також сажистий вуглець і водень.

Отже, суть доменного процесу полягає у відновленні оксидів заліза, що містяться в залізних рудах, твердим вуглецем, воднем та флюсом.

Таким чином, внаслідок відновлення заліза, мангану, силіцію, фосфору та сірки і розчинення їх у залізі в горні печі збирається шлак - сплав пустої породи, флюсів, попелу палива, а також частина невідновлених оксидів. У міру того як утворюються і накопичуються чавун і шлак, їх випускають із печі.

Головними продуктами доменного виробництва є чавун і феросплави, побічними - шлак і колошниковий газ. Залежно від хімічного складу, будови і призначення виплавлені в доменній печі чавуни поділяють на:

- переробні чавуни - основний вид чавуну, призначений для вироблення сталі;
- ливарні чавуни призначені для одержання фасонного литва;
- спеціальні чавуни, або феросплави - це сплави заліза із значним вмістом силіцію, мангану та інших елементів.

Шлак використовують для виробництва шлаковати, шлакоблоків, цементу.

Гази (CO, CO₂, H₂, CH₄N₂), що утворюються в печі, піднімаються вгору і в зоні колошника відводяться трубами з печі. Ці газы, названі колошниковими, використовують як паливо для нагрівання повітрянагрівників.

4. Виробництво сталі

Сталь відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю, силіцію, мангану та домішок сірки і фосфору. Тому переробка чавуну на сталь полягає у зменшенні в ньому вмісту вуглецю та інших елементів і переведенні їх у шлак або газу. Це досягається шляхом вибіркового окислення певних елементів. Вихідними матеріалами для сталі є переробний чавун і сталевий брухт (скрап).

Основні етапи виплавки сталі:

- розплавлення шихти (видаляються Si, Mn, P, S);
- кипіння рідкого металу (видаляється C та S);
- розкислення сталі (видаляється O).

Добре відомими способами виплавки сталі є мартенівський, киснево-конвертерний та електропічний.

Мартенівський спосіб є найстарішим. Використовують мартенівську регенеративну горизонтальну піч. Піч має великий корисний об'єм, тому для підігріву повітря, що подається разом з паливом (газ, мазут), у робочому просторі печі використовують регенератори(накладки з вогнетривкої цегли). Корисний об'єм печі може становити 900 т рідкого металу. Проте, продуктивність мартенівських печей невисока. Цим способом отримують сталі звичайної якості та невисокої вартості.

Матеріалами для виплавки сталі в мартенівській печі можуть бути: сталевий брухт (скрап), рідкий і твердий чавуни, залізна руда. Залежно від їхнього співвідношення в шихті розпізнають:

- 1) скрап-рудний процес на шихті з рідкого чавуну з добавкою 25...30 % сталевих скрапу і залізної руди;
- 2) скрап-процес на шихті зі сталевих скрапу і 25...45 % чушкового переробного чавуну.

Флюсом в обох процесах є вапняк CaCO_3 (8... 12 % від маси металу).

Киснево-конвертерний спосіб є більш прогресивним та продуктивним. Він полягає в продуванні рідкого чавуну киснем.

Кисневий конвертер - це посудина грушоподібної форми із сталевго листа, футерована зсередини вогнетривкою цеглою. Робочий стан конвертера вертикальний. Кисень подається в нього за допомогою охолоджуваної водою фурми, яка вводиться в конвертер крізь горловину.

Конвертери виготовляють місткістю 100...400 т рідкого чавуну. Загальна витрата технічного кисню на виготовлення 1 т сталі становить 50...60 м³.

Матеріалами для одержання сталі в кисневому конвертері є рідкий переробний чавун і сталевий брухт.

Перед початком роботи конвертер повертають на цапфах навколо горизонтальної осі і за допомогою завалочної машини завантажують до 30 % металобрухту, потім заливають рідкий чавун при температурі 1250...1400 °С, повертають конвертер у вихідне вертикальне положення, заводять кисневу фурму, подають кисень і добавляють шлакоутворювальні матеріали.

Після 15...16 хв продування фурму піднімають, нахиляють конвертер, беруть пробу металу на аналіз і скочують більшу частину шлаку. Після визначення експрес-аналізом складу сталі (це займає 7...8 хв) конвертер знову ставлять у вертикальне положення, заводять фурму і продовжують продування протягом часу залежно від даних аналізу і заданої марки сталі.

Порівняно з іншими плавильними агрегатами **електропечі** мають такі переваги:

- можливість швидкого нагрівання і підтримання потрібної температури в межах до 2000 °С;
- можливість створення окислювальної, відновлювальної або нейтральної атмосфери, а також вакууму.

Це дає змогу виплавляти в електричних печах сталі та інші сплави з мінімальною кількістю шкідливих домішок, з оптимальним вмістом компонентів, які відзначаються високими якостями і спеціальними властивостями.

Металургійні електричні печі поділяють на дугові й індукційні. У дугових печах розплавлення шихти проходить завдяки горінню електричної дуги високої

теплотворної здатності. Процес ведеться в закритій печі, що обмежує доступ повітря, а отже, забезпечує більший контроль за складом рідкої сталі. Корисний об'єм печей 300...3500 кг.

В індукційних печах нагрів та розплавлення шихти відбувається струмами високої частоти. Основною складовою індукційних печей є індуктор, який розміщують навколо вогнетривкого муфеля. Індикатор виготовляють з трубчастої міді. В процесі плавки його охолоджують водою. Корисний об'єм індукційних печей 30...3500 кг.

5. Розливання сталі

Виплавлену у плавильній печі сталь виливають у розливний ківш і мостовим краном переносять до місця розливання в зливки. Місткість ковша визначається місткістю плавильної печі й становить 50...480 т. Сталь розливають у виливниці або в кристалізатори установок для безперервного розливання.

Виливниці - це чавунні форми для одержання великих злиwkів різного перерізу. Маса злиwkів для прокатки становить 10...12 т (рідше - до 25 т), а для поковок - 350...400 т.

Застосовують два способи розливання сталі у виливниці:

- зверху - сталь заливають із ковша в кожну виливницю окремо. При такому розливанні поверхня злиwkів внаслідок попадання бризок рідкого металу на стінки виливниці забруднюється плівками оксидів;

-сифоном - сталлю заливають одночасно 4...8 і більше встановлених на піддон виливниць крізь центральний ливник і канали в піддоні. Сталь при цьому надходить у виливницю знизу, що забезпечує плавне, без розбризування заповнення їх, поверхня зливка стає чистою, скорочується тривалість розливання. Сталь у надставці зберігається в рідкому стані, завдяки чому зменшується об'єм раковини і відходи зливка.

Розливання зверху застосовують для вуглецевих, а сифоном - для легированих сталей.

Безперервне розливання сталі виконують на спеціальних машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Суть способу безперервного лиття досить проста: рідка сталь із ковша надходить у наскрізний охолоджувальний водою кристалізатор. До початку розливання в кристалізатор заводять штучне дно (затравку). Рідкий метал при зіткненні з холодною затравкою і стінками кристалізатора починає тверднути, затравка разом із затверділим на ній металом повільно витягується із кристалізатора і тягне за собою утворювану таким чином заготовку (зливку). У цей час заготовка всередині може бути ще рідкою. Тому її інтенсивно охолоджують струменями води. Далі заготовку ріжуть газокисневим різакон на куски потрібної довжини (3...8 м).

Великим недоліком таких машин є те, що вони дуже високі (понад 40 м) і їх треба розміщувати в бетонованому колодязі такої самої глибини. Тому поряд з вертикальними широко застосовують машини радіальні, криволінійні, горизонтальні.

6. Особливості виробництва кольорових металів

Кольорові метали та їх сплави: мідь, латунь, бронза, алюміній, магній, цинк, свинець, олово, титан, нікель, кобальт, бабіт широко застосовують при виготовленні різних деталей. Способи виробництва кольорових металів складніші, ніж способи металургії чорних металів тому, що руди кольорових металів відрізняються великою різноманітністю сполук. Перед плавкою руди збагачують. Вони вимагають комплексної переробки для виділення компонентів.

Виробництво алюмінію

Алюміній - найпоширеніший метал у земній корі. Його масова частка 8,8 %. Алюмінієвими рудами є боксити, нефеліни, апатити, алуніти. Алюміній міститься в них у вигляді глинозему Al_2O_3 , його гідратів та інших сполук.

Основною промисловою сировиною для одержання алюмінію є боксити. До їхнього складу може входити до 60 % Al_2O_3 ; 13 % SiO_2 ; 23 % Fe_2O_3 ; 10 % TiO_2 .

Виробництво алюмінію складається з двох процесів: виділення глинозему з руди і його електроліз.

Глинозем одержують з бокситів в основному лужним способом. Для цього подрібнений боксит піддають вилуговуванню в автоклавах при температурі 100...250 °C у концентрованому розчині лугу NaOH.

Добре розчинений алюмінат натрію залишається у розчині, а домішки (оксиди заліза, титану та ін.) випадають у осад. Відфільтрований розчин алюмінату натрію гідролізують і гідроксид алюмінію $Al(OH)_3$ випадає в осад. Його прожарюють при температурі 1200 °C в трубчастих обертових печах і дістають глинозем.

Утворений глинозем розчиняють у кріоліті -фториді натрію та алюмінію і піддають електролізу в електролізерах.

Рафінування алюмінію полягає в продуванні рідкого металу хлором протягом 10...15 хв. Утворюваний при цьому пароподібний хлорид алюмінію $AlCl_3$ адсорбується на поверхні неметалевих домішок, які спливають у вигляді шлаку. Хлор також сприяє видаленню розчинених газів (O_2 , CO_2).

Після рафінування і відстоювання протягом 30...45 хв алюміній досягає чистоти 99,85 %. При більш високих вимогах до алюмінію щодо чистоти його піддають ще й електролітичному рафінуванню. Такий алюміній має чистоту до 99,99 %.

Первинний алюміній виготовляють особливої чистоти A999 (99,999 % Al); високої чистоти - A995 (99,995 % Al), A99 (99,99 % Al), A97 (99,97 % Al), A95 (99,95 % Al) і технічної чистоти - A85, A8, A7, A6, A5, A0 (99,0 % Al).

Виробництво магнію

Масова частка магнію в земній корі 2,4 %. Рудами магнію є карналіт, магнезит, доломіт, бішофіт.

Найпоширенішим способом виробництва магнію є електролітичний. Він складається з двох процесів - добування хлориду магнію $MgCl_2$ і його електролізу.

Основною сировиною для виробництва магнію є карналіт. З метою збагачення карналіт обробляють гарячою водою.

Для видалення вологи штучний карналіт обпалюють в обертових або з "киплячим" шаром печак і плавлять в хлораторах, щоб зменшити вміст оксиду MgO в безводному карналіті. Магnezит і доломіт спочатку обпалюють, а потім піддають хлоруванню в присутності вуглецю і одержують хлорид магнію MgCl₂.

Електроліз хлориду магнію здійснюють у футерованих шамотом електролізерах. Електролітом для добування магнію є розплав солей MgCl₂, CaCl₂, NaCl, KCl з добавкою NaF і KF. Електроліз ведуть при температурі 720 °C, електричній напрузі близько 3 В і силі електричного струму 30...50 кА. Витрата електроенергії для добування 1 т магнію становить 15...17кВт-год.

Чорновий магній містить до 2...5 % різних домішок, тому в більшості випадків його піддають рафінуванню - переплавці з флюсами, до складу яких входять хлориди магнію, барію, калію, натрію тощо.

Більш глибоке очищення магнію можна здійснити його сублимацією у вакуумі.

Магній можна одержати також термічним способом - відновленням його оксиду MgO вуглецем, силіцієм або феросиліцієм при високих температурах та відносно глибокому вакуумі.

Виплаваєється первинний магній таких марок: Mg96 (99,96 % Mg), Mg95 (99,95 % Mg) і Mg90 (99,90 % Mg).

Виробництво міді

Масова частка міді в земній корі 0,01 %. Мідні руди містять 1...5 % міді. Мідь у них міститься у вигляді сірчистих сполук CuS, Cu₂S або CuFeS₂, оксидів CuO і Cu₂O, карбонатів. Поряд з міддю ці руди часто містять нікель, цинк, свинець, золото, срібло та інші метали.

Добувають мідь з сульфідних руд пірометалургійним способом. У процес виплавлення міді входять: збагачення і випалення руди, виплавлення

напівпродукту - штейну, з якого потім одержують чорнову мідь. Для очищення від домішок чорнову мідь рафінують.

Збагачують мідні руди методом флотації, заснованим на різному змочуванні водою сполук міді й пустої породи. Після фільтрації і сушіння зібраної піни утворюється концентрат з масовою часткою міді 15...35 %.

Випалюють концентрат при температурі 750...850 °С в повітряній атмосфері з метою окислення сульфідів і зменшення вмісту сірки.

Останнім часом для плавлення концентратів застосовують електричні печі і плавлення в киплячому стані, що дає змогу підвищити продуктивність процесу майже втричі порівняно з полуменевою відбивною піччю і зменшити енергозатрати на 30 %.

Чорнова мідь утворюється при продуванні розплавленого штейну повітрям у конвертері.

Виплавлену мідь називають чорною тому, що вона містить до 1,5 % домішок. Для очищення домішок чорнову мідь піддають вогневому і електричному рафінуванню.

Вогневе рафінування полягає в окисненні домішок у відбивних печах при продуванні чорної міді повітрям.

Після вогневого рафінування чистота міді досягає 99,7 %. Із неї відливають чушки для одержання сплавів або плити для електролітичного рафінування.

Електролітичне рафінування застосовують для одержання міді чистотою 99,95 %. Електроліз проводять у спеціальних ваннах.

Первинну мідь поставляють таких марок: М00 (99,99 % Сu), М0 (99,95 % Сu), М1 (99,9 % Сu), М2 (99,7 % Сu), М3 (99,5 % Сu).

Тема № 2

Ливарне виробництво

1. Загальна характеристика ливарного виробництва

Завдяки універсальності ливарному виробництву належить значне місце у сучасному машинобудуванні.

Так, у загальному машинобудуванні маса виливків становить до 60 %, а у верстатобудуванні – до 80% усієї маси машин і верстатів. Це пояснюється можливістю виготовлення деталей від найпростішої до найскладнішої форми, з різних металевих сплавів (пластичних, крихких) масою від кількох грамів до сотень тонн, із стінками завтовшки 2..500 мм і завдовжки до 3000 мм.

Подальше вдосконалення технології ливарного виробництва, механізація й автоматизація всіх процесів, освоєння і впровадження прогресивних способів виготовлення виливків скоротять обсяг їх механічної обробки, знизять вартість і розширять сферу застосування ливарного виробництва в промисловості.

Суть ливарного виробництва полягає в тому, що фасонну деталь або заготовку виготовляють заливанням рідкого металу в ливарну форму, порожнина якої за розмірами і конфігурацією відповідає деталі. Такі деталі і заготовки називають **виливками**. Після затвердіння виливки виймають або вибивають з форми і ті з них, щодо точності яких ставлять більші вимоги, обробляють механічно.

До складу ливарного цеху входять такі відділення: модельне, землекорекційне, стрижневе, формувальне, плавильне, вибивальне, обрубне, очисне. У модельному відділенні за робочим кресленням виготовляють модельний комплект; у землекорекційному – формову та стрижневу суміші; у формувальному – ливарну форму; в стрижневому – стрижень; у плавильному дістають рідкий метал. Готову ливарну форму заливають рідким металом і після його затвердіння у вибивальному відділенні видаляють із форми виливок; обрубують ливникову систему й очищають виливок від пригару в очисному відділенні. Заключна операція – контроль якості виливка.

2. Рідкотекучість та усадки ливарних сплавів

Для виготовлення виливків найбільш широко застосовують чавуни з різною формою графіту; вуглецеві та леговані сталі; сплави кольорових металів на основі алюмінію, міді, магнію, титану, молібдену та ін. тугоплавких металів.

Для виготовлення якісного виливка поруч із механічними, фізичними та хімічними властивостями ливарні сплави повинні мати ще й ливарні

(технологічні) властивості, до яких належать рідкотекучість, усадка, здатність до ліквіації та газобірання.

Рідкотекучість – здатність рідкого металу заповнювати щілиноподібні порожнини ливарної форми. Якщо метал рідкотекучий, то він заповнює всю порожнину форми найбільш складної конфігурації, в іншому випадку утворюється недолив в щілинних перерізах виливка.

Усадка – зменшення об'єму металу та лінійних розмірів виливка в процесі кристалізації та подальшого охолодження в твердому стані. Отже, усадка може бути об'ємною та лінійною. Внаслідок об'ємної усадки під час кристалізації не вистачає металу для заповнення всієї порожнини форми.

Лінійна усадка металу виливка відбувається в твердому стані при охолодженні до нормальної температури, коли зменшуються лінійні розміри виливка. Лінійна усадка також може спричинити брак виливка за розмірами, якщо її не врахувати при виготовленні моделі виливка.

Ліквіація – неоднорідність хімічного складу металу виливка за перерізом. Вона негативно впливає на механічні властивості виливка. Розрізняють дендритну, зональну та ліквіацію за питомою вагою.

Газобірання – властивість металевих сплавів у рідкому стані (під час перегріву) розчиняти з повітря кисень, азот, водень, які під час охолодження в ливарній формі виділяються і можуть утворити у виливку газові раковини.

За технологічним виконанням розрізняють шість основних способів лиття:

- лиття в оболонкові форми;
- лиття за моделями, що витоплюються;
- лиття у кокіль (металічну форму);
- лиття під тиском;
- відцентрове лиття.

3. Виготовлення виливок в піщаних разових формах

Лиття в разові піщано-глинисті форми широко використовуються при отриманні виливків з різноманітних металів та сплавів. Процес отримання

форми та виливків за цим способом лиття характеризується простотою та доступністю в умовах багатьох машинобудівних підприємствах.

Процес виготовлення разових форм називають *формуванням*. До складу оснащення входить модель майбутнього виливка, яку частіше виготовляють з дерева. Модель повністю відповідає формі та розмірам виливка, які в свою чергу визначаються на основі креслення готової деталі з врахуванням необхідності механічної обробки (точіння, фрезерування, шліфування тощо).

Для утримання формувальної суміші використовують спеціальні металічні ящики, які називають *опоками*.

Заливання піщано-глинистих форм розплавленим металом здійснюють за допомогою розливних ковшів, які являють собою посудину з листової сталі, футеровану зсередини вогнетривким матеріалом.

При заливанні форма піддається тиску рідкого металу, який намагається підняти верхню напівформу. Тому опоки форми скріплюють скобами чи поміщають на верхню напівформу вантаж.

Виливки в піщано-глинистих формах потрібно охолоджувати до температури 200...400 °С.

Для видалення виливка піщано-глинисту форму повністю руйнують. При цьому використовують металеві штирі, вібратори та ін. Елементи ливарної системи від виливка з чавуну та інших крихких сплавів відбивають молотками, кувалдами. При використанні в'язких сплавів ливарну систему відпилюють дисковими фрезами, пилами чи газовими пальниками. Залишки формувальної суміші та заусенці на поверхні виливків видаляють щітками, шротометною обробкою, віброобробкою та ін.

4. Спеціальні способи лиття

Виготовлення виливків у кокілях

Суть способу полягає в тому, що замість разової піщаної форми використовують багаторазову металеву (кокіль). Для утворення у виливку внутрішніх порожнин або отворів стрижні часто роблять також металевими. У кокілях виготовляють виливки з кольорових сплавів, чавуну і рідко із сталі.

Порівняно з піщаними формами кокіль має ряд переваг:

- не потрібні формові суміші і модельно-опокова оснастка;
- підвищуються точність і чистота поверхні виливка;
- високі якість і щільність металу виливка;
- зменшується кількість пилу;
- значно підвищується продуктивність праці.

Недоліки:

- висока вартість кокілю, тому їх застосовують лише в серійному і масовому виробництві;
- невіддатливість кокілю, що збільшує небезпечність утворення тріщин у виливках;
- чавунні виливки, що виготовленні в кокілі, матимуть вибілену поверхню, що потребує відпалювання чавунних виливків.

За конструкцією кокілі можуть бути нерознімними витрушуваними або рознімними з горизонтальним чи вертикальним розняттям.

Особливості технології виготовлення виливків у кокілях полягає в тому, що перед заливанням внутрішню поверхню кокіля покривають вогнетривкою фарбою для ізолювання форми від стикання з рідким металом, щоб збільшити термін служби його або зменшити швидкість охолодження виливка.

Виготовлення виливків виливанням під тиском

Суть цього способу полягає в тому, що метал під тиском примусово заповнює металеву прес-форму. Це усуває можливість утворення усадочних раковин і, отже, дає змогу відмовитись від додатків. Завдяки тиску розчинені в металі гази залишаються в розчині, що знижує газову пористість, підвищує щільність і міцність виливків. При цьому способі виливки не потребують механічної обробки. Виливанням під тиском можна виготовити виливки з глибокими порожнинами, отворами малого діаметра (до 2 мм), готовою різьбою, тонкостінні (близько 0,5 мм). Перевагою цього способу є також висока продуктивність і взаємозамінність виготовлених деталей.

Металеві прес-форми дуже складні і дорого коштують, тому лиття під тиском застосовують лише в масовому виробництві тонкостінних невеликих виливків з кольорових сплавів, які мають невисоку температуру плавлення.

Виготовлення виливків виливанням за витоплюваними моделями

Суть цього способу полягає в тому, що за нерознімною легкоплавкою моделлю виготовляють нерознімну разову ливарну форму, моделі з якої потім витоплюють, а в утворену порожнину заливають метал.

У виготовлених виливків немає формувальних уклонів, оскільки форма нерознімна. Для формування використовують кварцову пудру (маршаліт), тому виливки мають точні розміри і високу чистоту поверхонь. Обсяг механічної обробки зменшується на 80...100 % і в 1,5...2 рази скорочуються витрати металу на ливникову систему, бо в одній формі виготовляють навіть десятки штук виливків. Цим способом можна виготовляти виливки із сплавів з будь-якою температурою плавлення, а також важкооброблюваних – різанням і тиском (жароміцні, жаростійкі, різальний інструмент із швидкорізальної сталі тощо).

Легкоплавкі моделі виготовляють з модельної маси, до складу якої входять різні легкоплавкі матеріали, наприклад, парафін, стеарин, віск, церезин, каніфоль.

Ливарну форму виготовляють нанесенням вогнетривкого покриття, занурюючи блок легкоплавких моделей у суміш з 60...70 % маршаліту і 30...40 % гідролізованого етилсилікату. На моделях утворюється тонкий шар вогнетривкої суміші. Для укріплення цього шару блок посипають кварцовим піском і дають покриттю висохнути; занурення у вогнетривку суміш повторюють ще 3...5 разів із сушінням після кожного разу. Наступна операція - витоплювання легкоплавких моделей з вогнетривкої оболонки (форми). Для цього блок моделей з оболонкою занурюють у гарячу воду (90 °С) або ставлять його в сушильну шафу.

Лиття в оболонкові форми

Суть способу полягає у використанні у формовій суміші термореактивної смоли з технічним уротропіном, яка при незначному нагріванні плавиться, а

при подальшому нагріванні полімеризується і необоротно твердіє. За точністю розмірів і чистотою поверхні виливки, виготовлені в оболонкових формах, перевершують виготовлені в піщано-глинистих формах. Цей спосіб застосовують у серійному і масовому виробництві дрібних і середніх виливків з будь-яких сплавів.

Виготовлення оболонкових форм починається з нагрівання модельних металевих плит в електричній печі до температури 220.. 280 °С. Нагріту модельну плиту закріплюють моделлю вниз над бункером з формовою сумішшю, яка складається з піску і домішки 4...6 % смоли у вигляді порошку. Бункер разом з модельною плитою повертають на 180°, і формова суміш падає на модельну плиту. Смола суміші плавиться і зв'язує зерна піску в напівтверду кірку. Потім бункер повертається у вихідне положення, формова суміш, що не прореагувала, падає на дно бункера, а на модельній плиті залишається напівтверда оболонка завтовшки 6...8 мм. Далі модельну плиту подають у піч для остаточного затверднення оболонки при температурі близько 350...500 °С. Готову тверду оболонку знімають з модельної плити за допомогою виштовхувачів. Таким способом виготовляють обидві половинки оболонкової форми. Стрижні також виготовляють з цієї суміші в металевих стрижневих ящиках за такою самою технологією. Заключною операцією є складання оболонкової форми з півформ.

Виготовлення виливків відцентровим виливанням

Суть способу полягає в тому, що метал заливають у кокіль, який обертається з певною швидкістю. Заповнення кокілю і кристалізація металу відбуваються під дією відцентрових сил, що забезпечує значну щільність металу, оскільки гази і неметалеві домішки важкий метал витискує до внутрішньої порожнини виливка, а потім їх видаляють при механічній обробці. Перевагою відцентрового виливання є високий вихід придатних виливків (до 90 %) завдяки майже повній відсутності витрати металу на ливникову систему і додатки.

Тема № 3

Зварювальне виробництво. Спаювання металів

1. Суть процесу зварювання та класифікація

Зварюванням називають процес виготовлення нерознімних з'єднань твердих матеріалів, що здійснюється за рахунок використання міжмолекулярних і міжатомних сил зчеплення. Процесу зближення сприяє нагрівання зварюваних поверхонь до розплавленого або пластичного стану і прикладання механічного зусилля стискання. Зварювання широко використовують при виготовленні нерознімних з'єднань, металевих виробів і конструкцій, для з'єднання деяких неметалевих матеріалів (пластмас, скла, деяких гірських порід, смол), а також металів з неметалевими матеріалами - керамікою, графітом, склом та ін.

Відповідно до ГОСТ 19521-74 способи зварювання класифікують за формою введеної енергії, яка визначає клас зварювання. Всі процеси зварювання здійснюються з використанням двох форм енергії - термічної і механічної. Виходячи з цього, зварювання поділяють на три класи: термічне, термомеханічне і механічне.

Термічне зварювання ґрунтується на частковому плавленні елементів з'єднання. До термічного класу належать такі види зварювання: дугове, електрошлакове, плазмово-променеве, індукційне, електронно-променеве, газове, термітне та деякі інші.

При **термомеханічному зварюванні** зварне з'єднання утворюється нагріванням зварюваних деталей до пластичного стану або до початку плавлення і додатковим прикладанням механічних зусиль стисканням. До цього класу належать дугопресове, газопресове, контактне, дифузійне, індукційно-пресове зварювання.

Механічне зварювання ґрунтується на використанні різних видів механічної енергії. До цього класу належать холодне зварювання, зварювання тиском, тертям, вибухом, ультразвукове.

За ступенем механізації зварювання поділяють на ручне, напівавтоматичне і автоматичне.

2. Види термічного зварювання

Електричне дугове зварювання вперше було застосовано в Росії. Залежно від способу вмикання до зварювального кола основного і присадного металу та характеру дії на них зварювальної дуги розрізняють такі способи дугового зварювання:

- неплавким вугільним електродом, або спосіб Бенардоса - дуга постійного струму при прямій полярності (мінус на електроді, плюс - на виробі) горить між вугільним або графітовим електродом 3 і зварюваним виробом 1. Присадний метал 2 у зварювальне коло не ввімкнений, тому дуга діє прямо тільки на основний метал, а на присадний – побічно (рис.1, а);
- плавким металевим електродом, або спосіб Слав'янова - дуга постійного (при прямій чи зворотній полярності) або змінного струму горить між плавким металевим електродом 2 і зварюваним виробом 1, які ввімкнені в зварювальне коло і на які вона прямо діє (рис.1, б);
- плавкими металевими електродами з використанням трифазної дуги - до різних фаз трифазного струму в зварювальне коло ввімкнені два ізольованих один від одного електроди 2 і зварюваний виріб 1.

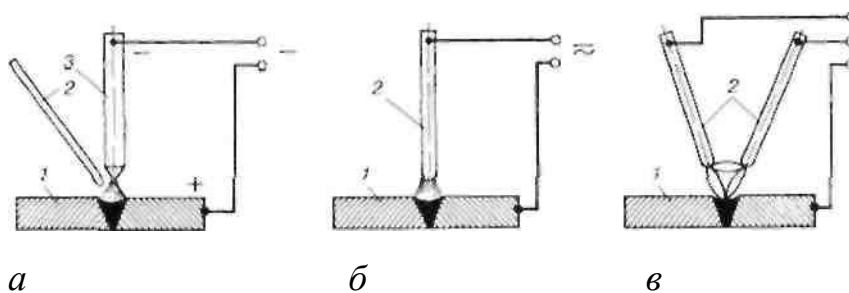


Рис. 3.1. Схеми основних способів дугового зварювання

Зварювання під флюсом

Суть способу зварювання під флюсом. При автоматичному дуговому зварюванні захист розплавленого металу від атмосферного повітря в зоні зварювання здійснюється за допомогою порошкоподібної речовини (флюсу) або захисних газів.

При зварюванні під флюсом до зварюваного виробу подається голий дріт і окремо флюс. Зварювальна дуга горить під шаром флюсу між кінцем зварювального дроту і виробом у газовому пазирі, що утворюється навколо стовпа дуги з парів присадного та основного металів і продуктів дисоціації складових флюсу. Розтоплена частина флюсу оточує газовий пазир і вкриває зварювальну ванну тонким шаром шлаку, цим самим перешкоджаючи стиканню розплавленого присадного і основного металів з киснем і азотом повітря. Після остигання металу і шлаку шлак у вигляді шлакової кірки легко відділяється від наплавленого металу. Невикористана частина флюсу відсмоктується з виробу назад у бункер за допомогою флюсовідсмоктувальних пристроїв.

Флюси для автоматичного зварювання мають забезпечувати стійке горіння дуги, потрібний хімічний склад і механічні властивості наплавленого металу, добре формування зварювального шва і легке відокремлення шлакової кірки з наплавленого металу. За способом виготовлення флюси поділяють наплавлені і неплавлені, або керамічні.

Зварювання в захисних газах

Суть способу зварювання в захисних газах полягає в тому, що для захисту розплавленого металу від шкідливої дії кисню і азоту повітря у зону дуги, яка горить між зварюваним виробом і плавким або неплавким електродом, крізь сопло пальника безперервно подається струмінь захисного газу, що відтискає повітря від місця зварювання. В деяких випадках зварювання відбувається в герметичних камерах, заповнених захисним (інертним) газом.

Як захисні гази використовують одноатомні, або інертні, гази (аргон і гелій), які не взаємодіють з розплавленим металом, і активні гази (вуглекислий газ, водень, азот, пари води, а також їхні суміші - аргон з киснем, аргон з азотом або вуглекислим газом, вуглекислий газ із киснем тощо), які частково взаємодіють з розплавленим металом.

Інертні гази використовують для зварювання хімічно активних металів, а також тоді, коли потрібно дістати зварні шви, однорідні зі складом основного і присадного металів.

Електрошлакове зварювання

Суть електрошлакового зварювання полягає в тому, що основний і присадний метали розплавляються теплотою, що виділяється під час проходження електричного струму через розплавлений шлак.

Електрошлакове зварювання широко застосовують у важкому машинобудуванні при виготовленні зварно-литих і зварно-кованих конструкцій, у виробництві товстостінних котлів високого тиску, станин потужних пресів і верстатів, валів гідротурбін та ін.

Плазмове зварювання

Електронною плазмою називають дуже іонізований газ стовпа дуги, який складається з нейтральних атомів і молекул, іонів і електронів. Щоб одержати плазмову дугу, яка горить між катодом і анодом, через вузький канал водоохолоджувального мідного сопла спеціального плазмового пальника пропускають потік газу. При збільшенні струму стовп дуги в обмеженому стінками каналу сопла пальника розширитися не може, тому за рахунок його стиснення, а також за рахунок стиснення газовим потоком температура стовпа дуги і ступінь іонізації газу різко підвищується. Практично майже весь газ, який проходить крізь стовп стисненої дуги, іонізується і перетворюється в плазму.

Розрізняють плазмову дугу прямої і побічної дії. Дуга прямої дії горить між вольфрамовим електродом (катодом) і виробом (анодом). Температура такої дуги становить 20 000... 30 000 °С. Плазмовою дугою зварюють вуглецеві і корозієстійкі сталі, тугоплавкі й кольорові метали, а також деякі неметалеві матеріали.

Електронно-промене зварювання

При зварюванні електронним променем метал нагрівають сфокусованим пучком електронів, які прискорюються електричним полем високої напруги.

При падінні цього пучка на виріб близько 99 % кінетичної енергії електронів перетворюється на теплову.

Температура металу в місці нагрівання фокусною плямою перевищує 6000 °С. Зварювання виконують у герметичних камерах, в яких підтримують високий вакуум або здійснюють у середовищі проточного інертного газу.

Газове зварювання

Щоб виготовити зварне з'єднання газовим зварюванням, кромки основного металу і присадний метал нагрівають до розплавленого стану полум'ям горючих газів, які спалюють за допомогою спеціальних зварювальних пальників у суміші з киснем.

Як горючий газ найчастіше застосовують ацетилен, який при згорянні в кисні дає температуру полум'я, достатню для зварювання сталей і більшості інших металів та їхніх сплавів. Для зварювання металів (свинцю, алюмінію тощо), температура плавлення яких нижча за температуру плавлення сталі, можуть бути використані й інші горючі гази, наприклад водень, природний газ тощо, які дають більш низьку температуру полум'я.

Найчастіше газове зварювання застосовують при виготовленні листових і трубчастих конструкцій з маловуглецевих і низьколегованих сталей завтовшки до 3...5 мм, при виправленні дефектів на виливках із чавуну і бронзи, а також для зварювання кольорових металів та їхніх сплавів.

3. Види термомеханічного та механічного зварювання

Контактне зварювання (зварювання опором) ґрунтується на розігріванні зварюваних виробів джоулівською теплотою і механічному стисканні розігрітих виробів.

Сила зварювального струму при контактному зварюванні може досягати десятків і навіть сотень тисяч ампер. Такі струми дістають у знижувальних однофазних зварювальних трансформаторах, що мають у вторинній обмотці здебільшого всього один виток.

Найбільший опір має місце контакту зварюваних виробів, де виділяється найбільша кількість теплоти. Час зварювання залежно від товщини і роду

зварюваного матеріалу змінюється від сотих і навіть тисячних часток секунди до кількох хвилин. Коли деталі нагріваються до пластичного стану або до оплавлення, до них прикладається зусилля осадки і деталі зварюються.

Холодне зварювання

Холодне зварювання тиском здійснюють без нагріву, тільки за рахунок зусиль стискання. Цим методом зварюють такі високопластичні метали, як свинець, алюміній, мідь, кадмій, срібло, нікель. Для виготовлення міцного з'єднання перед зварюванням слід старанно очистити вироби під оксидів і забруднень, а також застосувати великі зусилля стискання, внаслідок чого проявляться міжатомні сили зчеплення. Для холодного зварювання потрібна дуже інтенсивна пластична деформація, яка б змушувала метал текти вздовж поверхні поділу і сприяла б видаленню поверхневого шару адсорбованих газів. Оголені (ювенільні) поверхні між дією високого тиску з'єднуються в одне ціле.

Тепер холодне зварювання тиском застосовують переважно при з'єднанні у стик або внапусток деяких алюмінієвих і мідних проводів, шин, а також деталей з нікелю і свинцю завтовшки 0,2... 15 мм. Питомий тиск при зварюванні цих металів становить 150... 1000 МПа.

Зварювання тертям

Для зварювання тертям використовують перетворення механічної енергії в теплову, а здійснюють це відносним обертанням і взаємним тертям з'єднуваних торцевих поверхонь. Зварювані вироби нагріваються до пластичного стану, після чого їх стискають осьовим зусиллям. Цим способом з'єднують у стик здебільшого вироби круглого перерізу, наприклад труби, стрижні, деякі різальні інструменти, які виготовляють з однорідних і різнорідних чорних і кольорових металів або їхніх сплавів і різних пластмас.

Для зварювання тертям використовують переобладнані токарні, свердлильні та інші металорізальні верстати, а також спеціалізовані зварювальні машини.

За продуктивністю зварювання тертям не поступається перед контактним зварюванням оплавленням, а в економічному відношенні воно навіть вигідніше,

ніж контактне, оскільки в цьому разі споживана потужність приблизно в 10 разів менша. Спосіб зварювання тертям простий, легко піддається автоматизації і програмному керуванню.

Зварювання вибухом

Для зварювання вибухом лист, який треба приварити по всій площі до листа, встановлюють на відстані 2...3 мм і під кутом α до нього. На поверхню листа укладають вибухову речовину (порох, гексоген тощо), яка займається від запальника. Під час спалахування вибухівки потужна вибухова хвиля поширюється по всій поверхні листа і створює на нього величезний тиск. При зіткненні зварювальних поверхонь у поверхневих шарах виникають пластична деформація і розплавлення мікроділянок, внаслідок чого і відбувається зварювання. Зварювання вибухом дає можливість з'єднати як однорідні (срібло, алюміній, титан, мідь, сталь тощо), так і різнорідні (титан і сталь, титан і мідь, алюміній і титан та ін.) метали.

Зварювання ультразвуком

Для зварювання ультразвуком використовують ультразвукові механічні коливання і невеликі стискальні зусилля. Ці коливання створюють за допомогою магніострикційного ефекту, який полягає в здатності деяких металів і їхніх сплавів перетворювати електромагнітні коливання ультразвукової частоти (15... 100 кГц) у механічні коливання тієї самої частоти. Процес супроводжується підвищенням температури в місці з'єднання. Залежно від того, який метал зварюється і який використовується режим, температура нагрівання становить 200... 1200 °С.

На ультразвукових зварювальних установках виконують внапусток точкові і шовні з'єднання з різних однорідних і різнорідних металів та їхніх сплавів завтовшки 0,01... 1 мм. Ультразвуком успішно зварюють не тільки метали, а й різні неметалеві матеріали, наприклад, хлорвініл, поліетилен, капрон, нейлон, органічне скло тощо.

Дифузійне зварювання

Дифузійне зварювання ґрунтується на взаємній дифузії контактуючої пари металів, що перебувають у вакуумі $133 \cdot 10^{-3} \dots 133 \cdot 10^{-5}$ Па або в атмосфері інертних захисних газів, нагрітих до 400... 1300 °С і стиснених до 10...20МПа. Нагріваються вироби індукційними струмами високої частоти, електронним променем, контактним та іншими способами.

Дифузійним зварюванням можна з'єднувати як однорідні, так і різнорідні метали та їхні сплави, а також металокерамічні вироби з металами.

Основною перевагою цього способу зварювання є виготовлення міцного з'єднання без помітних змін фізико-механічних властивостей зварних з'єднань у зоні зварювання. До недоліків дифузійного зварювання належать трудомісткість і тривалість процесу.

Спаювання металів - це процес з'єднання металевих виробів, який ґрунтується на властивості розплавленого присадного металу (припою), що має меншу, ніж основний метал, температуру плавлення, проникати в поверхневі шари основного металу, нагрітого до температури плавлення припою. Після остигання оплавленого припою створюється міцне нерознімне з'єднання. Залежно від температури плавлення припою розрізняють паяння м'якими і твердими припоями.

Основні види контролю якості зварних з'єднань такі:

1. **Випробовують шви на щільність** тоді, коли зварювані вироби є посудинами, призначеними для зберігання або транспортування рідин чи газів.
2. **Механічні випробування** призначені для визначення механічних властивостей зварних з'єднань.
3. **Металографічні дослідження** полягають у проведенні макро- і мікроаналізу зварних швів.
4. **Рентгенівським просвічуванням** виявляють у зварних швах без їхнього руйнування пори, тріщини, непровари і шлакові включення. Рентгенівський контроль зварних швів ґрунтується на здатності рентгенівського проміння, випромінюваного рентгенівською трубкою, інтенсивніше проникати

крізь дефектні місця і більше засвічувати рентгенівську плівку, прикладену зі зворотного боку шва.

5. Просвічування гамма-випромінюванням - для виявлення внутрішніх дефектів у зварних швах магістральних газо- і нафтопродуктів.

6. Ультразвуковий метод контролю застосовують для виявлення дефектів у металі завтовшки 5...3600 мм. Суть методу полягає в здатності ультразвукових коливань, що збуджуються в кварцових пластинах змінною напругою високої частоти (понад 20 кГц), проникати в метал на велику глибину і відбиватися від тріщин, непроварів, шлакових включень та інших дефектів, що лежать на їхньому шляху.

Магнітні методи контролю ґрунтуються на принципі магнітного розсіяння (замикання магнітних потоків через повітря), що виникає в місцях дефектів під час намагнічування випробуваного зразка.

Тема № 4

Обробка металів тиском

1. Загальна характеристика процесів обробки металів тиском

Обробка металів тиском ґрунтується на використанні однієї з основних властивостей металів - пластичності. Вона проявляється в незворотній зміні форми та розмірів тіла під дією зовнішніх сил без порушення його цілісності, яка супроводжується зміною структури та механічних властивостей металу.

Пластична деформація полягає в переміщенні одних атомів щодо інших на відстані, більші від міжатомних в одній кристалографічній площині. При пластичній деформації, на відміну від пружної, немає лінійної залежності між напруженнями та деформаціями.

Методи формоутворення при обробці тиском здебільшого є об'ємними. Вони можуть бути також одноразовими, послідовними і періодичними, статичними і динамічними.

Оскільки при обробці тиском виготовлення виробів досягається пластичним переміщенням частинок металу, вона відзначається раціональним використанням матеріалу і незначними відходами. В цьому основна відмінність

і перевага обробки тиском порівняно з обробкою різанням, при якій форма виробів досягається вилученням частини заготовки.

До основних видів обробки металів тиском належать:

- *прокатування* – це обтискання металу обертовими валками (рис. 4.1, а). За його допомогою отримують вироби з однаковою по довжині формою поперечного перерізу (прутки, дрід, рейки, листи, труби) або з формою, що періодично змінюється по довжині;

- *пресування* полягає у витисканні нагрітого металу із замкненої порожнини крізь отвір у матриці (рис. 4.1, б). Форма та розміри поперечного перерізу пресованих виробів відповідають конфігурації та розмірам цього отвору;

- *волочіння* - це протягування заготовки крізь отвір у волочильній матриці-волоці (рис. 4.1, в). Волочінням отримують тонкі сорти дроту, калібровані

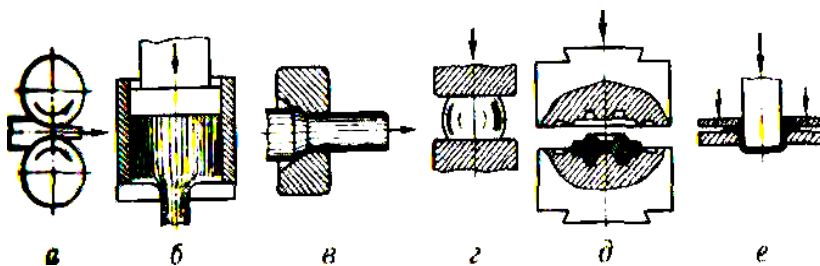


Рис.4.1. Схеми основних видів обробки металів тиском прутки, тонкостінні труби;

- *кування* - процес деформування нагрітої заготовки між бойками молота або преса (рис. 4.1, г). Зміна форми та розмірів заготовки досягається послідовно дією бойків чи інструмента на різні ділянки заготовки;

- *об'ємне штампування* полягає в одночасному деформуванні всієї заготовки в спеціальному інструменті - штампі на молотах, пресах або горизонтально-кувальних машинах (рис. 4.1, д). Форма та розміри внутрішньої порожнини штампа визначають конфігурацію і розміри поковок;

- *листо́ве штампування* призначене для виготовлення плоских та об'ємних порожнистих деталей з листа або стрічки за допомогою штампів на холодноштампувальних пресах (рис. 4.1, е).

2. Прокатне виробництво, інструмент та обладнання

Прокатування - це вид обробки, при якому заготовка обтискується двома обертовими валками прокатного стану. Метал при прокатуванні деформується на невеликій ділянці, що називається *зоною деформації*.

При прокатуванні збільшується довжина і ширина заготовки і зменшується її товщина. Відносне зменшення товщини заготовки в процесі прокатування називається *відносний обтиском*, або ступенем деформації. Максимальне значення відносного обтиску залежно від типу виробів дорівнює 0,2...0,5. Розширення заготовки в процесі прокатування становить 5... 10 % від значення обтиску.

При прокатуванні метал втягується в зазор між валками силами тертя між заготовкою і валками.

Розрізняють такі основні види прокатування:

- *поздовжнє прокатування* (рис. 4.2, *а*) – заготовка переміщується перпендикулярно до осей валків, які обертаються в протилежних напрямках. До 90 % всього прокату виготовляють поздовжнім прокатуванням (листи, стрічки, прутки);

- *поперечне прокатування* (рис. 4.2, *б*) – валки, що обертаються навколо паралельних осей в одному напрямі, обертають заготовку, яка деформується при примусовому переміщенні вздовж валків.

- *поперечне гвинтове прокатування* (рис. 4.2, *в*) здійснюється при обертанні в одному напрямі валків, розміщених під кутом один до одного. Таке розташування валків забезпечує появу осьового зусилля, завдяки якому заготовка переміщується вздовж осей валків.

Сортамент прокату визначається сукупністю профілів та розмірів прокатаного металу. *Профілем* прокатаного виробу називають форму його поперечного перерізу.

За сортаментом продукцію прокатного виробництва поділяють на такі групи: сортовий прокат, листовий прокат, труби, спеціальний та періодичний прокат.

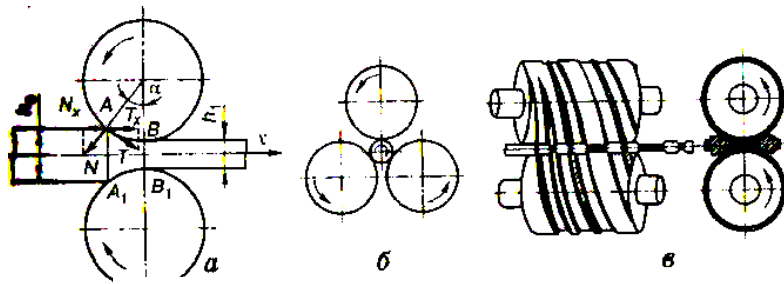


Рис.4.2. Основні схеми прокатування

Профілі сортової сталі можуть бути загального призначення - кругла, квадратна, кутова, стрічкова сталь, швелери, двотаврові балки та ін. та спеціального призначення - рейки, профілі для автотракторобудування, суднобудування, транспортного машинобудування та інших галузей промисловості.

Листову сталь поділяють на тонколистову (завтовшки менше ніж 4 мм) і товстолистову. Деякі види листової сталі призначені для окремих галузей промисловості, серед них розрізняють сталь котлову, автотракторну, електротехнічну тощо.

Труби поділяють на дві групи: безшовні та зварні. Крім того, випускають труби фасонні та змінного перерізу.

До *спеціальних* видів прокату належать залізничні колеса, шестерні, кулі, підшипникові кільця, періодичний прокат, а також гнутий профіль.

3. Волочіння та пресування металів

Волочіння полягає в протягуванні (частіше в холодному стані) прокатаних або пресованих заготовок крізь отвір у матриці (волоці), переріз якого менший за переріз заготовки (рис. 4.3, б). При протягуванні прутка крізь отвір з зусиллям виникають сили реакції, які обтискують заготовку.

Щоб запобігти обривам, напруження при волочінні не повинно перевищувати 0,6 границі міцності матеріалу заготовки. Для отримання профілів потрібних розмірів волочіння виконують за кілька проходів крізь ряд отворів, що поступово зменшуються. В результаті холодного пластичного деформування метал зміцнюється. Для усунення наклепу і підвищення пластичності метал піддають проміжному рекристалізаційному відпалу.

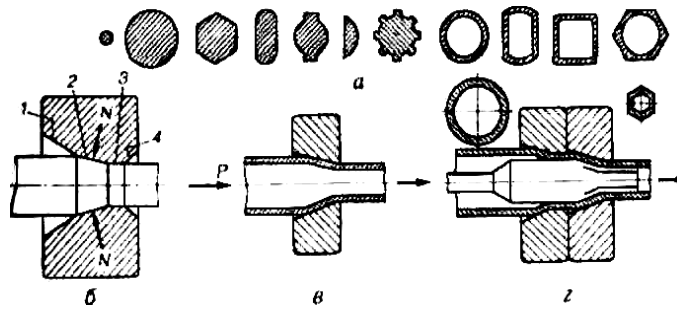


Рис. 4.3. Схеми волочіння і приклади виробів

Із різних сортів сталі та кольорових металів волочінням виготовляють дрiт діаметром 0,002... 10 мм, різноманітні профілі (рис. 4.3, а), калібровані прутки діаметром 3... 150 мм, холоднотягнені труби діаметром до 500 мм із стінками завтовшки 0,1... 10 мм з високою точністю і високоякісною зовнішньою поверхнею. Завдяки наклепу волочінням можна підвищити міцність і твердість металу.

Інструментом для волочіння є волочильна матриця (волока). Волоки можуть бути суцільними, складними і роликowymi.

Пресування полягає у витісненні металу із закритого об'єму крізь отвір у матриці. Профіль пресованого виробу відповідає перерізу цього отвору. Пресування – високопродуктивний та економічний спосіб обробки металів і сплавів, яким можна отримати суцільні та порожнисті профілі (рис. 4.4, а). Пресовані вироби мають більшу точність, ніж катані.

Пресування відбувається в умовах всебічного стискання. При цій схемі деформування метал має найбільшу пластичність. Тому пресуванням можна обробляти як пластичні, так і малопластичні сплави: мідні, алюмінієві, магнієві, титанові, вуглецеві і легovanі сталі тощо. До недоліків процесу належать значні (іноді до 40 %) відходи металу та інтенсивне зношування інструменту.

Пресуванням виготовляють прутки діаметром 5...250 мм, дрiт діаметром 5... 10 мм, труби зовнішнім діаметром 20...400 мм із стінками завтовшки 1,5... 12 мм та інші вироби. Завдяки гнучкості, простому переналагодженню на виготовлення іншого профілю пресуванням доцільніше, ніж прокатуванням, виготовляти малі серії профілів.

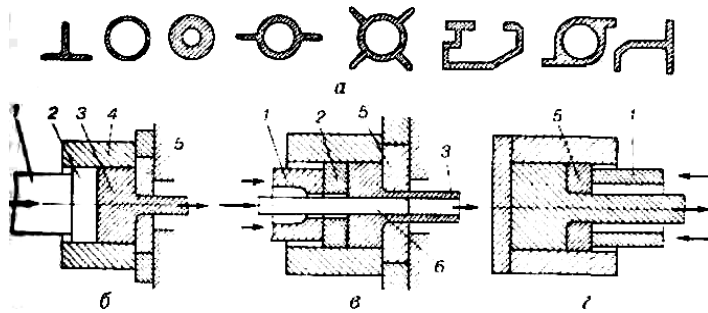


Рис. 4.4. Пресовані профілі та схеми пресування

Вихідною заготовкою для пресування є зливков або круглий прокат. Розрізняють пряме і зворотне пресування.

4. Кування. Об'ємне та листове штампування.

Кування – це деформування нагрітої заготовки між верхнім і нижнім бойками молота або преса за допомогою універсального інструменту. Кування буває також ручне на кувалді. Воно застосовується в основному в ремонтній справі для дрібних робіт. Ковані заготовки для наступної обробки називають *поковками*, маса яких становить від 0,1 кг до 300 т. Великі поковки (масою понад 1,5 т) виготовляють із злиwkів тільки куванням. Менші поковки можна виготовляти також штампуванням. Однак через складність інструменту штампування застосовують тільки в масовому і великосерійному виробництві. Для кування невеликих поковок (до 150 кг) підвищеної точності на кувальних молотах і пресах у серійному виробництві (при партіях 50...250 шт.) часто використовують підкладні штампи. Дрібні й середні поковки кують з сортового прокату або блювів.

Найбільш складну поковку можна виготовити, виконуючи в певній послідовності основні операції кування:

- *протягування (витягування)* застосовують для подовження заготовки і зменшення її перерізу;
- *осадка* – збільшення поперечного перерізу вихідної заготовки за рахунок зменшення її висоти;
- *прошивання* - отримання в заготовці наскрізного отвору або заглиблення;

- *згинання* застосовують для виготовлення гаків, колінчастих валів, скоб тощо. Для згинання можуть використовуватись підкладки і спеціальні пристрої;
- *закручування* - поворот однієї частини заготовки щодо іншої на певний кут;
- *рубанням* поділяють заготовки на частини, відокремлюють надлишок металу, утворюють в поковці уступи (надрубання).

Об'ємне штампування - це виготовлення поковок у штампах, при якому переміщення металу в сторони під час деформування обмежене поверхніми порожнини штампа. Робоча порожнина штампа при стулюванні його складових частин у кінці штампування (рівчак) відповідає конфігурації поковки.

Порівняно з вільним куванням об'ємне штампування має такі переваги:

- в 50... 100 разів вища продуктивність;
- більші однорідність і точність поковок (припуски і допуски в 3...4 рази менші, ніж при куванні);
- можливість виготовлення поковок складної форми без напусків, висока якість поверхні;
- сприятливе розташування волокон.

На одному штампі залежно від матеріалу і типу поковки можна виготовити 10...25 тис. поковок.

Недоліки об'ємного штампування:

- складність і дорожнеча штампів;
- обмеженість маси поковок (0,3... 100 кг), бо зусилля деформування при штампуванні значно вищі, ніж при куванні. Отже, об'ємне штампування найбільш ефективно в масовому і великосерійному виробництві.

Гаряче об'ємне штампування виконують на штампувальних молотах, пресах, горизонтально-кувальних машинах і спеціальних машинах вузького призначення, до яких належать ротаційно-кувальні машини, кувальні вальці, горизонтально-згинальні машини та ін.

Холодним називають штампування без нагрівання заготовок. Його поділяють на об'ємне і листове.

Холодне об'ємне штампування дає можливість майже повністю виключити обробку різанням і забезпечує порівняно з нею зменшення трудомісткості виготовлення деталей на 30...80 % і підвищення коефіцієнта використання матеріалу на 50 %.

Основні види холодного об'ємного штампування:

- видавлювання;
- висадка;
- об'ємне формування;
- калібрування (карбування).

Холодним листовим штампуванням називають процес виробництва деталей з листа, стрічки, штаби. Товщина деталей майже не відрізняється від товщини листового матеріалу і не перевищує 10 мм.

До переваг цього виду штампування належать:

- висока продуктивність (до 40 тис. деталей за зміну);
- висока точність штамповок, що не потребує наступної механічної обробки;
- можливість автоматизації процесу;
- економічна доцільність і при масовому, і при серійному виробництві.

Листове штампування виконують на кривошипних, рідше (великих розмірів деталей) – на гідравлічних пресах.

Технологічні операції листового штампування можна поділити на дві групи:

- роздільні (відрізування, вирізування, пробивання, надрізування, обрізування);
- формозмінні (згинання, витягування, обтискання, формування та ін.).

Тема № 5

Обробка металів різанням

1. Основні схеми обробки різанням

Обробка конструкційних матеріалів різальними інструментами (обробка різанням) полягає у відокремленні ними з заготовки шару матеріалу з

метою виготовлення деталі потрібної форми, відповідних розмірів і шорсткості поверхонь. Методи формування поверхонь при обробці різальними інструментами є поверхневими, послідовними, тому за продуктивністю і раціональністю використання матеріалів така обробка поступається більш сучасним методам виготовлення деталей - без зняття стружки (точне лиття, точне штампування, висадка тощо). Проте більшості деталей остаточної форми і розмірів надають обробкою різанням на металорізальних верстатах. Тільки такою обробкою вдається задовольнити зростаючі вимоги щодо точності розмірів і чистоти поверхонь.

Обробка різанням значною мірою визначає якість виготовлення маниш, їхню точність, довговічність і надійність, а також вартість.

До основних методів обробки різанням належать:

- точіння;
- свердління;
- фрезерування;
- стругання;
- протягання;
- шліфування.

Головним рухом при *точінні* (рис. 5.1, *а*) є обертання виробу 2 навколо своєї осі, а рухом подачі - поступальний рух інструмента 1 відносно виробу.

При *свердлінні* отворів на свердлильних верстатах (рис. 5.1, *б*) головним рухом є обертання інструмента 1, а рухом подачі - переміщення інструмента вздовж своєї осі. При *свердлінні* отворів на верстатах токарної групи головним рухом є обертання заготовки 2, а рух подачі здійснює свердло.

При *фрезеруванні* (рис. 5.1, *в*) головним рухом є обертання інструмента 1, а рухом подачі – поступальне переміщення заготовки 2 або фрези. Застосовуючи різноманітні фрези і фрезерні верстати, можна обробляти різні поверхні та їхні комбінації: площини, криві поверхні, уступи, пази тощо.

Головним рухом при *струганні* (рис. 5.1, *а*) є зворотно-поступальне переміщення різця *1* в поперечно-стругальних верстатах або заготовки *2* в поздовжньо-стругальних. Рухом подачі є періодичне переміщення заготовки або різця.

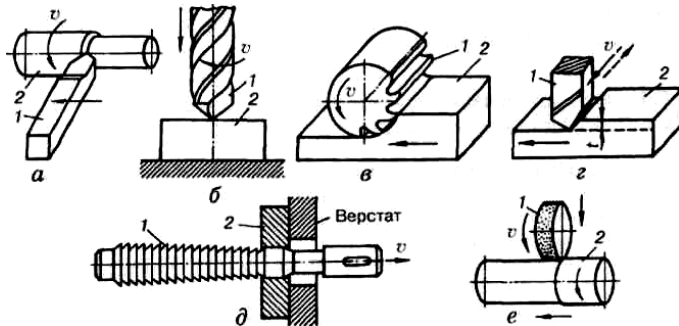


Рис. 5.1. Схеми основних методів обробки різанням

Протягання (рис. 5.1, *д*) здійснюють за допомогою спеціального різального інструмента-протяжки *1*, що має на робочій частині різця зубці, які рівномірно підвищуються вздовж протяжки. Головним рухом є поздовжнє переміщення інструмента *2*, а руху подачі немає.

Головним рухом у *шліфуванні* (рис. 5.1, *е*) є обертання шліфувального круга *1*. Рух подачі здебільшого комбінований, тобто складається з кількох рухів. Наприклад, при круглому зовнішньому шліфуванні - це обертання заготовки *2*, поздовжнє переміщення заготовки відносно шліфувального круга і періодичне поперечне переміщення шліфувального круга відносно заготовки.

2. Режими різання та геометрія шару, який зрізається

Основними елементами режиму різання є глибина різання, подача і швидкість різання. **Глибиною різання *t*** називають товщину шару металу, що знімається за один прохід. Її визначають як відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями, виміряну по перпендикуляру до обробленої. При поздовжньому точінні

$$t = (D - d)/2,$$

де *D* - діаметр заготовки, мм; *d* - діаметр обробленої деталі, мм.

Подачею *s* називають переміщення різця у напрямі руху подачі за час, поки деталь зробить один оберт. Залежно від напрямку руху подачі вона може бути поздовжньою, поперечною або розташованою під кутом до заготовки.

Швидкість головного руху називають **швидкістю різання**. Це шлях, який проходить точка, що лежить на оброблюваній поверхні заготовки, відносно різальної кромки інструмента за одиницю часу. Швидкість різання при обертальному русі, м/хв,

$$v = \pi Dn/1000,$$

де D - діаметр заготовки, мм; n - частота обертання заготовки, хв.⁻¹.

Основними елементами зрізуваного шару є ширина і товщина його, глибина різання і подача.

Шириною зрізуваного шару називають відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями, виміряну на поверхні різання.

Товщиною зрізуваного шару – це відстань між двома послідовними положеннями різальної кромки за один оберт заготовки, виміряна у напрямі, перпендикулярному до ширини зрізуваного шару.

Номінальну площину поперечного перерізу зрізуваного шару визначають як добуток подачі на глибину різання або товщини зрізуваного шару на його ширину, мм²:

3. Металорізальні верстати, їх класифікація

Металорізальні верстати класифікують за такими ознаками:

1. За рівнем спеціалізації верстати поділяють на:

- *універсальні*, призначені для виконання різноманітних операцій в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва;

- *спеціалізовані*, на яких обробляють однотипні деталі різних розмірів у серійному виробництві;

- *спеціальні*, призначені для обробки певних деталей у масовому виробництві.

Залежно від характеру виконуваних робіт і типу різальних інструментів, що застосовуються, всі металорізальні верстати поділяються на такі 9 груп:

- *токарні*;
- *свердлильні і розточувальні*;
- *шліфувальні*;

- для електрофізичної і електрохімічної обробки;
- зубо- і різьбообробні;
- фрезерні;
- стругальні, довбальні і протяжні;
- розрізні;
- різні верстати (до цієї групи належать верстати, які не ввійшли в жодну з перелічених вище груп).

Кожна група верстатів, у свою чергу, поділяється на 9 типів за технологічним призначенням, конструкційними особливостями, кількістю головних робочих органів верстата або інструмента, ступенем автоматизації.

За ступенем точності розрізняють верстати нормальної точності і високоточні (прецизійні).

4. Обробка заготовок на токарних, свердлильних, фрезерувальних верстатах

Усі **токарні верстати** належать до першої групи і поділяються на такі типи: напівавтомати і автомати одношпиндельні; напівавтомати і автомати багатшпиндельні, револьверні, свердлильно-відрізні, карусельні, токарні і лобові, багаторізцеві, спеціалізовані, різні.

На верстатах токарної групи обробляють різні поверхні тіл обертання: циліндричні, конічні й фасонні, а також площини, перпендикулярні до осі обертання заготовки. Крім цього, на токарно-гвинторізних верстатах можна нарізати різцем різьби на циліндричних і конічних поверхнях, а також спіральні канавки на торцевих площинах заготовок.

З усіх типів верстатів токарної групи на машинобудівних заводах і в ремонтних майстернях найширше застосовують токарні, карусельні і револьверні верстати. Залежно від висоти центрів H над станиною токарні верстати поділяють на дрібні ($H \leq 150$ мм), середні ($H = 150 \dots 300$ мм) і великі ($H > 300$ мм). Найпоширеніші середні токарно-гвинторізні верстати, типовим представником яких є верстат 16К20.

На **свердлильних верстатах** виконують такі основні операції:

- *свердління, розсвердлювання, зенкерування* (рис. 5.2, а) – процес обробки циліндричних литих, штампованих або попередньо просвердлених отворів зенкером для надання їм правильної геометричної форми, потрібних розмірів і необхідної шорсткості поверхні;

- *розточування отворів* (рис. 5.2, б) – здійснюється різцями у тих випадках, коли осі отворів мають бути розташовані за точними координатами;

- *розвертання* (рис. 5.2, в) – точна обробка отворів з метою надання їм точних розмірів і малої шорсткості поверхні;

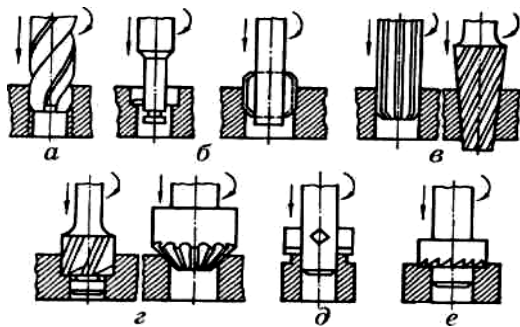


Рис. 5.2. Обробка отворів на свердлильних верстатах

- *зенкування* (рис. 5.2, г) – процес утворення циліндричних або конічних заглиблень у попередньо просвердлених отворах під головки болтів, гвинтів та інших деталей за допомогою циліндричних і конічних зенкерів (зенківок);

- *цекування* – обробка торцевих поверхонь під гайки, шайби і кільця пластинками або торцевими зенкерами (рис. 5.2, д, е);

- *нарізання різьби* в отворах можна здійснити на свердлильних верстатах мітчиками.

Фрезерування - це процес обробки різанням, при якому різальний інструмент (фреза) виконує обертальний (головний) рух, а заготовка, що обробляється, - поступальний чи обертальний рух подачі. Фреза – це тіло обертання, на поверхні якого розміщено різальні губці.

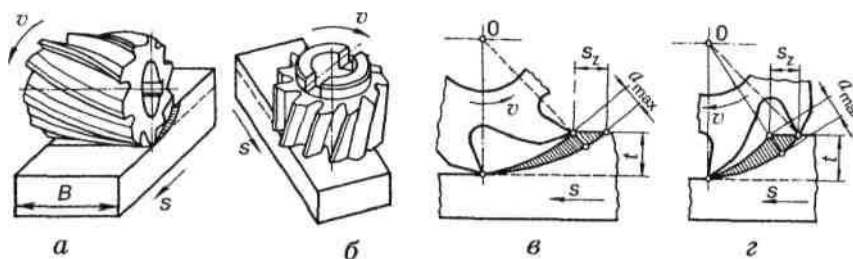


Рис. 5.3. Схеми фрезерування

На рис. 5.3, *а* показано схему обробки площин циліндричною фрезою, а на рис. 5.3, *б* - торцевою. Залежно від напрямку обертання фрези і напрямку подачі розрізняють **зустрічне фрезерування**, коли оброблювана заготовка подається назустріч обертанню фрези (рис. 5.3, *в*), і **попутне** – коли напрям обертання фрези і напрям подачі збігаються (рис. 5.3, *г*).

При зустрічному фрезеруванні товщина шару металу, що зрізується зубцем фрези, змінюється від 0 до найбільшого значення. Поступове збільшення товщини зрізуваного шару сприяє плавній роботі фрези. Однак перед тим як врізатися в оброблюваний метал, зубець фрези деякий час ковзає по поверхні різання.

При попутному фрезеруванні в момент врізання зубця відбувається удар, бо зразу знімається шар найбільшої товщини, що поступово зменшується, виключається проковзування зубців, сили різання намагаються притиснути заготовку до стола верстата. Все це сприяє зменшенню шорсткості поверхні. Попутне фрезерування раціонально використовувати при чистовій, а зустрічне - при чорновій обробці.

5. Обробка заготовок на протягувальних, стругальних, шліфувальних верстатах та нарізання зубчастого вінця

Протягання – високопродуктивний метод обробки отворів, зовнішніх поверхонь різного профілю спеціальним інструментом - протяжками, що забезпечує високу точність форми та розмірів і малу шорсткість.

Протяжка – багатолезовий різальний інструмент, форма якого відповідає формі оброблюваної поверхні. Внаслідок того, що в процесі протягування кожен наступний зубець вище попереднього, припуск на обробку знімається поступово.

Розрізняють внутрішнє і зовнішнє протягання. При **внутрішньому протяганні** протяжку протягають крізь попередньо просвердлений або розточений отвір заготовки. Залежно від форми поперечного перерізу протяжками можна виготовити отвори різного профілю. Протяжки для **зовнішнього протягання**

призначені для обробки зовнішніх плоских і лінійних поверхонь заготовок невеликої ширини.

Стругання – процес обробки поверхонь різцями при прямолінійному зворотно-поступальному головному русі, що здійснюється різцем або заготовкою в горизонтальній площині.

Довбання відрізняється від стругання тим, що головний рух - зворотно-поступальне переміщення різця - відбувається у вертикальній площині. Струганням і довбанням обробляють площини, фасонні поверхні з прямолінійною твірною, пази і канавки.

Стругальні верстати поділяють на два основних типи:

- поздовжньо-стругальні, на яких обробляють переважно середні за розміром і великі деталі;
- поперечно-стругальні призначені для обробки деталей з довжиною стругання до 1 м.

Стругальні і довбальні верстати мають робочий хід різця або стола, під час якого зрізується стружка, і зворотний хід, тобто процес різання при струганні переривчастий, і наявність холостого ходу збільшує тривалість обробки.

Шліфуванням називається процес обробки поверхонь абразивним (шліфувальним) інструментом, найчастіше шліфувальними кругами, іноді брусками, шкурками, пастами. Абразивний інструмент складається із зерен абразивного (шліфувального) матеріалу, зв'язаних між собою спеціальною зв'язкою.

Застосування шліфування для остаточної чистової обробки і є основним методом одержання високої точності і незначної шорсткості оброблюваних поверхонь. Шліфуванням можна обробляти як дуже м'які, так і тверді матеріали, у тому числі загартовані сталі і тверді сплави. Можна шліфувати поверхні різної форми: плоскі, циліндричні, конічні, фасонні. Відповідно до цього застосовують різні методи шліфування, найпоширенішими серед яких є кругле і плоске.

Зубонарізання полягає у прорізуванні западин між зубцями і наданні їм потрібного профілю. Є два основних методи нарізання зубців зубчастих коліс:

- метод копіювання;
- метод обкатки, або огинання.

Метод копіювання полягає в утворенні зубців зубчастого колеса спеціальним фасонним інструментом, профіль якого відповідає профілю западини між ними.

При нарізанні зубців зубчастого колеса методом обкатки потрібний профіль їх утворюється внаслідок узгоджених переміщень різальних кромки інструмента і заготовки колеса. Різальні кромки інструмента описують у просторі поверхню, яка відповідає поверхні зубчастої рейки або зубчастого колеса, що називають **виробною рейкою**, або **виробним колесом**. Внаслідок узгоджених рухів інструмента і заготовки заготовка огинається навколо виробної рейки або колеса, ніби перебуваючи з нею у постійному зчепленні. В цей час різальні кромки інструмента прорізають на заготовці западини між зубцями.

Нарізають зубці зубчастих коліс за методом обкатки спеціальними інструментами на зуборізних верстатах. Найпоширенішими є зубофрезерні, зубодовбальні та зубостругальні верстати.

Тема № 6

Електрофізичні та електрохімічні методи обробки металів

1. Загальні відомості

Методи **електрофізичної** та **електрохімічної обробки** ґрунтуються на різних фізико-механічних процесах енергетичної дії на тверде тіло, при яких від нього відокремлюються частинки і утворюється деталь з потрібними розмірами і формою.

Залежно від використовуваних фізико-хімічних процесів ці методи обробки можна поділити на чотири групи:

1. **Електроерозійні методи обробки** струмопровідних матеріалів ґрунтуються на використанні енергії електричних розрядів, які збуджуються між

інструментом і деталлю. Розрізняють чотири основних різновиди електроерозійної обробки: електроіскрову, електроімпульсну, електроконтактну та анодно-механічну.

2. Електрохімічна обробка металів і сплавів, що ґрунтується на явищі анодного розчинення в електролітах.

3. Ультразвукова обробка.

4. Променеві способи обробки із застосуванням світлових, електронних або іонних променів.

Ці методи порівняно з іншими мають такі переваги:

- ними можна обробляти матеріали, які іншими методами обробляються важко або навіть зовсім не можуть оброблятися;

- завдяки простоті кінематики формоутворення цими методами можна обробляти деталі, які неможливо обробити іншими способами (наприклад, глухі фасонні отвори, порожнини складної форми, отвори з криволінійною віссю, отвори діаметром порядку сотих часток міліметра);

- можливість відтворення (копіювання) форми інструмента відразу по всій оброблюваній поверхні заготовки при звичайному поступальному русі інструмента; відсутність силової дії на заготовку;

- обробку цими методами легко автоматизувати.

2. Електроерозійні та електрохімічні методи обробки

До основних різновидів електроерозійної обробки належать:

- **електроіскрова обробка** ґрунтується на явищі руйнування металу в колі постійного струму під дією іскрового розряду. При наближенні металевих електродів у рідкому діелектричному середовищі (гасі, маслі) до відстані пробійного зазора виникає потужний короткочасний іскровий розряд, температура якого становить 6000... 11 000 °С. Це призводить до миттєвого розплавлення, випаровування, вибухів і викидання частинок, які, направляючись до катода, охолоджуються і осідають. Обробка йде без стикання заготовки з інструментом, що дає змогу обробляти струмопровідний матеріал будь-якої твердості інструментом з м'якого металу (латуні, графіту).

Електроіскрова обробка використовується для виготовлення штампів, прес-форм, кокілів, фільтрів з інструментальних сталей і твердих сплавів.

- **електроімпульсний метод обробки** значно продуктивніший за електроіскровий. На відміну від електроіскрового методу при цій обробці заготовка є катодом, а інструмент - анодом, між якими досягається послідовне збудження розрядів під дією імпульсів напруги, які виробляються спеціальним генератором. Температура в робочій зоні значно нижча (4000...5000 °С), ніж при електроіскровій обробці, отже, і спрацювання інструмента менше.

- **електроконтактна обробка** ґрунтується на електромеханічному руйнуванні металу під впливом електродугових розрядів інструментом, що переміщується. Зняття металу з заготовки здійснюють у повітряному середовищі обертливим диском-електродом. Диск і заготовку сполучено із джерелом живлення - знижувальним трансформатором. При обертанні зі швидкістю до 30 м/с диска, до якого заготовка притискується тиском 20...50 кПа, відбувається періодичний розрив контактів, виникають дугові розряди, під дією яких і руйнується метал заготовки. Інтенсивність процесу досить висока і в ряді випадків може перевищувати продуктивність обробки різанням. Проте він не дає високої точності, тому цю обробку використовують в основному для грубих операцій, наприклад зачищення виливків і штамповок з важкооброблюваних сплавів.

Електрохімічна обробка ґрунтується на явищі анодного розчинення металів, яке полягає в тому, що при проходженні електричного струму крізь електроліт метал анода (заготовки) розчиняється і виноситься електролітом із робочої зони.

Великого поширення набуло **електролітичне полірування** для ретельної обробки деталей складної форми з високолегованих сталей (лопатки турбін, клапани двигунів, інструменти та ін.). На поверхні деталі-анода при проходженні струму в електроліті утворюється плівка, що захищає западини мікрощорсткостей від впливу струму. Однак вона не перешкоджає розчиненню

мікрівиступів, на які діє струм більшої густини, і поверхня деталі згладжується.

У практиці використовують також інші методи електрохімічної обробки металів. На рис. 6.1 показано **електрохімічне прошивання отворів**. До заготовки 1, що є анодом, подається електроліт крізь трубку-катод 2. Сталий зазор між торцем трубки й оброблюваної поверхні утворюється протидією пружини 3 і тиску електроліту. Продукти розчинення виносяться електролітом крізь отвір у ванночці 4.

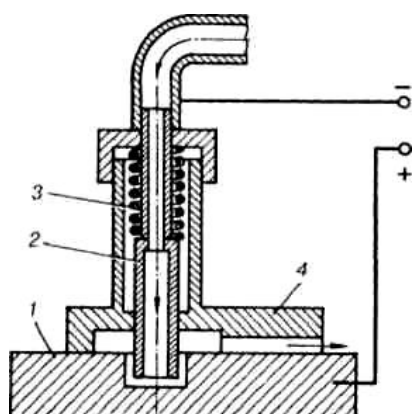


Рис. 6.1. Схема електрохімічного прошивання отворів

Різновидом електрохімічної обробки є **електроабразивне шліфування**, яке виконують електроабразивним кругом. Крім абразивних зерен, до його складу входить електропровідний наповнювач. Круг сполучають з негативним полюсом джерела струму, заготовку - з позитивним, а в робочу зону струменем подається електроліт. Плівка, що утворюється внаслідок анодного розчинення, знімається абразивними зернами круга. Порівняно зі звичайним шліфуванням цей процес більш продуктивний при меншому спрацюванні круга, не призводить до появи мікротріщин.

3. Анодно-механічна обробка металів. Хімічні методи обробки

Анодно-механічна обробка ґрунтується на одночасній дії електромеханічного і електроіскрового процесів. Оброблювальну заготовку підключають до аноду, а інструмент – до катоду. В залежності від характеру обробки і виду оброблювальної поверхні в якості інструменту використовують металеві диски, циліндри, стрічки, дрід. Обробку ведуть в середовищі електроліту, яким є

водний розчин рідкого скла. Заготовці та інструменту задають такий же рух, як при звичайних методах механічної обробки різанням. Електроліт подають в зону обробки через сопло.

Суть обробки полягає в тому, що занурена в електроліт і приєднана до позитивного полюса заготовка при певній щільності струму покривається крихкою поляризованою плівкою, яка легко видаляється мідним скребком або сталюю щіткою. На зачищених місцях знову утворюється плівка, яку видаляють і т.д. Так, на поверхні металу згладжуються нерівності та поступово знімається рівномірний шар.

Цим способом обробляються заготовки з струмопровідних матеріалів, високоміцних та важкооброблюваних металів.

Суть **хімічної обробки** полягає в направленому руйнуванні металів і сплавів травленням їх в розчинах кислот і лугів.

Перед травленням оброблювальні поверхні заготовки ретельно очищають. Поверхні, які не підлягають обробці, захищають хімічно стійкими покриттями (покривають лаком і фарбою, застосовують хімічні і гальванічні покриття, світлочутливі емульсії).

Хімічним травленням отримують ребра жорсткості, канавки зі звивинами, “вафельні” поверхні, обробляють поверхні, важкодоступні для ріжучого інструмента.

Хімічно-механічним методом обробляють заготовки з твердих сплавів. Заготовки приклеюють спеціальними клеями до пластин і опускають у ванну, заповнену суспензією, яка складається з розчину сірчаної кислоти міді і абразивного порошку. В результаті обмінної хімічної реакції на поверхні заготовок виділяється рихла металева мідь, а кобальтова зв'язка твердого сплаву переходить в розчин у вигляді солі, звільнюючи тим самим зерна карбідів титану, вольфраму та танталу.

Хімічно-механічну обробку застосовують для розрізання і шліфування пластинок з твердого сплаву.

4. Ультразвукова обробка. Променеві методи обробки. Обробка плазмою

Ультразвукова обробка матеріалів – різновид механічної обробки – заснована на руйнуванні оброблювального матеріалу абразивними зернами під ударами інструменту, який коливається з ультразвуковою частотою. Джерелом енергії служать ультразвукові генератори струму з частотою 16...30 кГц. Інструмент отримує коливання від ультразвукового перетворювача з сердечником з магніострикційного матеріалу. Ефектом магніострикції володіють нікель, залізонікелеві сплави, залізо алюмінієві сплави та ферити.

Цей метод дає змогу з високою точністю прорізати щілини, круглі та фасонні отвори чи заглиблення у крихких твердих матеріалах (скло, кераміка, ферити, кремній, кварц, дорогоцінні мінерали, тверді сплави, титанові сплави, вольфрам), а також розрізати невеликі заготовки.

До **променевих методів** формотворення поверхнею деталей машин відносять:

- електроннопроменеву обробку;
- світлопроменеву (лазерну) обробку.

Променеві методи обробки ґрунтуються на безпосередній дії пучка електронів або потужного світлового променя на поверхню оброблюваної деталі. При **електроннопроменевій обробці** електрони, які випромінюються катодною гарматою, прискорюються в потужному електричному полі і фокусуються у вузький пучок, спрямований на оброблювану заготовку. При цьому кінетична енергія електронів перетворюється на теплову. Ефективність дії електронного пучка підвищується фокусуванням його на дуже малих площах (до 10^{-7} см²). Такий промінь миттєво нагріває поверхню деталі до 6000 °С, внаслідок чого навіть найбільш важкоплавкий метал випаровується. Система керування переміщенням електронного променя забезпечує обробку заготовки потрібного профілю за наперед заданою програмою. Електроннопроменевим методом роблять отвори, пази тощо малих розмірів (до 0,005 мм) у важкооброблюваних сплавах.

При **світлопроменевій (лазерній) обробці** потужний світловий промінь, який випромінюється лазером, фокусується на оброблюваній поверхні заготовки на площі діаметром до 0,01 мм. При цьому концентрація енергії досягає 10^5 кВт/см², температура - кількох тисяч градусів, тому відбувається миттєве розплавлення і випаровування матеріалу. За допомогою лазерів можна вести обробку малих отворів, пазів тощо в різноманітних матеріалах незалежно від їхніх фізико-механічних властивостей (кераміка, алмази, тверді сплави та ін.).

Лазерною обробкою отримують глухі та наскрізні отвори, виконують різання листового матеріалу, отримують пази та ін.

Суть **обробки плазмою** полягає в тому, що плазму (іонізований газ), з температурою 10000...30000 °С спрямовують на поверхню заготовки в локальну точку, що викликає швидке згоряння чи розплавлення матеріалу.

Плазму отримують в плазмотронах. Плазмою оброблюють заготовки з будь-яких матеріалів. Іноді виконують плазмове напилення, яке полягає у нанесенні шару металу на спрацьовані деталі, з метою їх відновлення. При цьому у плазму вводять відповідний метал у вигляді порошку чи дроту.

Тема № 7

Нові металічні матеріали. Способи їх отримання та методи обробки

1. Порошкові сталі та сплави. Основи порошкової металургії

Порошкова металургія – це галузь, що охоплює виробництво порошків металів, їхніх сплавів і сполук, а також неметалевих матеріалів (графіту, сажі) і одержання з них напівфабрикатів, заготовок або готових виробів. При цьому основний компонент таких матеріалів не доводять до плавлення.

Сьогодні світове виробництво порошків металів (Fe, Cu, Ni, Co, Cr, W, Mo, V та ін.) і їхніх сплавів, а також сполук (карбідів, боридів, силіцидів тощо) з частинками розміром від 0,1...1,0 мкм до 1 мм перевищує 1 млн т за рік, а виробів з них – 550...600 тис. т. Щорічний приріст порошкової металургії становить в середньому 6...8 %, а іноді 15...20 %.

Метод порошкової металургії цінний насамперед тим, що дає змогу діставати матеріали, які іншими методами дістати неможливо, наприклад, з металів із значною різницею температури плавлення ($W + Cu$; $W + Ag$ та ін.), з металів і неметалів (бронза + графіт), з хімічних сполук (оксидів, карбідів, нітридів), з матеріалів з певною пористістю (підшипники ковзання, фільтри), з особливими електричними, магнітними та іншими властивостями.

Особливе місце серед порошкових матеріалів належить твердим сплавам, їх дістають із порошків карбідів WC , TiC , TaC з додаванням порошку кобальту. Вони мають велику твердість (85...92 HRA) і теплостійкість (900...1000 °C). Застосовують їх переважно для оснащення різального інструмента, який працює при значних навантаженнях і швидкостях різання.

Порошкова металурія відзначається також мінімальними втратами (іноді до 10 разів) матеріалів для виготовлення виробів, дає змогу значно зменшити верстатний парк та кількість робітників. Тому цей метод є високоефективним також при виготовленні деталей загального машинобудування або побутового призначення, які дістають литтям та обробкою різанням. Такі вироби виготовляють з порошків сталі, бронз, латуней та інших матеріалів. Їх, як і литво, можна додатково обробляти різанням, піддавати термічній обробці.

Технологічний процес порошкової металургії включає:

- виробництво порошків,
- формування (пресування) заготовок,
- спікання заготовок (брикетів),
- додаткову обробку спечених виробів (гаряче допресування, калібрування, просочування мастилами, обробка тиском та різанням тощо).

Є різні способи отримання виробів з порошкових матеріалів, але їх суть полягає в тому, що порошки заданого складу (отримані або розпиленням рідких сплавів, або механічним змішуванням порошкової шихти потрібного складу) компактують і спікають в атмосфера, які регулюються. Це може бути холодне пресування, після якого проводять наступне спікання у вакуумі, або гаряче

ізостатичне пресування, гаряче динамічне пресування, гаряча штамповка чи екструзія. Останні способи забезпечують меншу пористість.

Головною метою порошкової металургії є добування пористих матеріалів, які застосовують для виробництва самозмащувальних підшипників, різних фільтрів, деталей пристроїв гальмування.

2. Сплави на основі інтерметалідів. Аморфні та мікрокристалічні сплави

В останні роки в багатьох областях техніки використовують, а в науці інтенсивно розробляють технології виготовлення сплавів на основі інтерметалідів. Відмінною рисою інтерметалідних матеріалів є наявність впорядкованості кристалічної будови, що обумовлює комплекс властивостей недосяжних для неупорядкованих матеріалів.

Впорядковані інтерметалідні сплави мають більш високий опір деформації, особливо при високих температурах. Частково сплави на основі Ni_3Al і $NiAl$ використовують в авіаційному машинобудуванні, ракетній та інших галузях техніки в якості жароміцних матеріалів. В інтерметаліді $NiAl$ ступінь порядку розташування атомів близький до 1 у всій області температур існування цього з'єднання, тому при високих температурах експлуатації виробів з цього інтерметаліду зберігають високі міцнісні властивості. В інтерметаліді Ni_3Al механічні властивості з підвищенням температури експлуатації до $700...800\text{ }^{\circ}C$ не лише не знижуються, але навіть зростають, що обумовлено дією спеціальних механізмів блокування дислокацій при їх русі у впорядкованій структурі.

Сплави на основі інтерметалідів $NiTi$ і Fe_3Pt володіють ефектом “пам'ять форми” і широко використовують в техніці та ін. областях в якості різних з'єднувальних деталей і інших виробів.

Презиційні сплави на основі інтерметалідів $FeCo$ володіють унікальними магнітними властивостями і застосовують в приладобудуванні. Вони крихкі, і для підвищення пластичності їх легують добавками ванадію, хрому, марганцю і нікелю.

Аморфні сплави є принципово новим класом металевих матеріалів, які володіють унікальним комплексом експлуатаційних властивостей (міцнісних, електричних, магнітних, антикорозійних), значно перевищуючи ці показники у сплавах такого ж складу, але які знаходяться в кристалічному стані.

Найбільш технологічним методом отримання аморфних матеріалів є метод неперервного лиття на барабан, що обертається. Цим методом отримують в основному стрічку товщиною 20...30 мкм і шириною 10...20 мм.

Аморфні сплави характеризуються:

- корозійною стійкістю;
- високим електроопором;
- високою магнітною проникністю.

Їх застосовують для виготовлення високочастотних перетворювачів, термодатчиків, в якості корозійностійких деталей, для зміцнення ріжучих інструментів.

Аморфні сплави недостатньо термостабільні, і при нагріванні до температури 450...500 °С вони починають кристалізуватися і властивості їх починають знижуватись.

Друга група металевих сплавів, близька за способом отримання (загартування з рідкого стану), отримала назву **мікрокристалічних**, а іноді їх називають рентгенаморфними. Типовим представником є магніто-м'який сплав сендаст (85 %Fe + 9,6 %Si + 5,4 %Al), який володіє дуже високими магнітними властивостями, але надзвичайно крихкий. Перехід сплаву в мікрокристалічний стан дозволяє отримати при 750 °С повне крихке руйнування. Отримання сплавів в мікрокристалічному стані має великі перспективи для покращення властивостей інструментальних сталей і жароміцних сплавів, які використовують для лопаток газових турбін.

Тема № 8

Кристалічна будова металів

1. Атомно-кристалічна будова металів

У техніці під металами розуміють як технічно чисті метали, так і їхні сплави.

Застосування металів потребує знання їхніх механічних, фізичних і технологічних властивостей. Вони залежать не тільки від складу металевих матеріалів, а й від їхньої будови (структури). Тому, змінюючи будову металів термічною або механічною обробкою, можна значно змінити і їхні властивості.

Метали – один з класів конструкційних матеріалів, що характеризується певним комплексом властивостей:

- металевий блиск (добра відбивна здатність);
- пластичність;
- висока теплопровідність;
- висока електропровідність.

Всі метали, що тверднуть в нормальних умовах, являють собою кристалічні речовини, тобто розташування атомів в них характеризується певним порядком – періодичністю, як за різними напрямками, так і за різними площинами. Цей порядок визначається поняттям **кристалічні решітки**.

Іншими словами, кристалічні ґрати – це уявні просторові ґрати, у вузлах яких розташовуються частинки, які утворюють тверде тіло.

Усі метали в твердому стані мають кристалічну будову. Розташування атомів (іонів) у кристалічній речовині звичайно зображають у вигляді елементарної комірки, яка є найменшим комплексом атомів. Багаторазове повторювання її відображає розташування атомів в об'ємі всієї речовини, тобто її кристалічну решітку.

Найхарактернішими для металів є три типи кристалічних комірок:

- об'ємоцентрована кубічна (ОЦК) з розміщенням атомів у вершинах і одного атома у центрі об'єму куба;

- гранецентрована кубічна (ГЦК) з розміщенням атомів у вершинах і в центрі кожної грані куба;
- гексагональна щільноупакована (ГЦУ) з розміщенням атомів у вершинах і в центрі шестикутних основ призми і трьох атомів усередині призми.

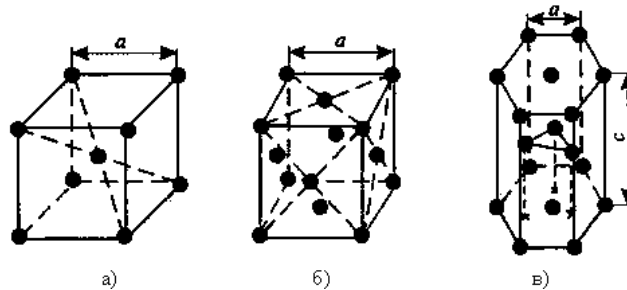


Рис. 8.1. Основні типи кристалічних ґраток:

а – ОЦК; б – ГЦК; в - ГЦУ

У системі ОЦК, наприклад, кристалізуються Fe, Nb, Cr, Mo, W; у системі ГЦК - Cu, Ni, Pb, Ag; у системі ГЦУ - Mg, Zn, Ti, Cd та ін.

Відомо 4 основних типи міжатомних зв'язків:

- металічний – характеризується тим, що при зближенні атомів валентні електрони втрачають приналежність до окремих атомів і стають загальними, утворюючи так званий “електронний газ”. Зв'язок в цьому випадку визначається електростатичним притяганням між позитивно зарядженим іонним скелетом і негативно зарядженим електронним газом;

- іонний зв'язок проявляється у випадку так званих іонних кристалів (хімічні з'єднання типу NaCl, KBr). В цьому випадку утворення зв'язку відбувається шляхом передачі атома одного елемента свого валентного електрона атому іншого елемента. Перехід електрона від одного елемента до іншого призводить до утворення позитивного і негативного іонів, які притягаються один до одного електростатично;

- ковалентний зв'язок частіше проявляється при утворенні молекул з атомів одного елемента (н-д, H₂, Cl₂, O₂). Цей тип зв'язку проявляється шляхом об'єднання валентних електронів двох атомів, які переходять на загальну орбіту;

- міжмолекулярний (ван-дер-ваальський) зв'язок відбувається між нейтральними молекулами. Сили притягання і відштовхування в цьому випадку також мають електромагнітну і квантову природу. Дія сил Ван-дер-Ваальса доволі слабка, тому молекулярні з'єднання мають низьку температуру плавлення.

2. Анізотропія. Дефекти кристалічної будови

У різних кристалографічних площинах, проведених через центри атомів у кристалічних решітках, число атомів і відстані між ними неоднакові. У зв'язку з цим властивості монокристалів у різних напрямках неоднакові. Таке явище називається **анізотропією**.

Анізотропія виявляється в неоднаковості опорів монокристала електричного струму і швидкості розчинення в хімічних реактивах, у відмінності механічних властивостей. Наприклад, міцність зразків, вирізаних у різних напрямках з монокристала міді, відрізняється приблизно в 3 рази, а пластичність - більше ніж у 5 разів.

Реальні метали є тілами полікристалічними, тобто складаються з великої кількості по-різному орієнтованих у просторі кристалів (зерен). Тому властивості таких металів у будь-якому напрямі усереднені, однакові. Проте в тих випадках, коли обробка металів сприяє переважному орієнтуванню окремих кристалів (наприклад, при прокатуванні, куванні), полікристалічні метали стають також анізотропними. Так, міцність зразків, вирізаних з листа вздовж і впоперек напрямку прокатування, різна; температурний коефіцієнт лінійного розширення листа з цинку залежно від напрямку прокатування може відрізнятися в 1,5...2 рази.

Кристалічна будова, яку було описано вище, є ідеальною. Насправді ж вона має багато дефектів - точкових, лінійних і поверхневих.

Точкові дефекти (рис. 8.2, *a*) характеризуються малим розміром у всіх трьох вимірах. До цих дефектів належать вакансії - вільні вузли 1 у кристалічній решітці, атоми 2, зміщені в простір між вузлами, і атоми 3 домішок.

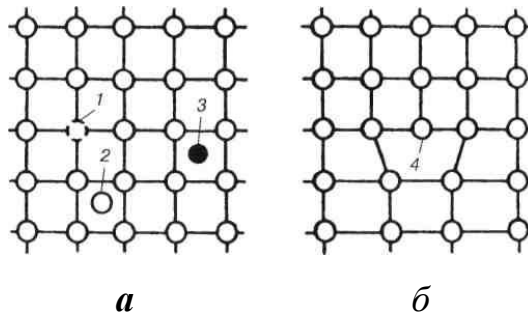


Рис. 8.2. Дефекти кристалічної будови металів

Лінійні дефекти мають малий розмір тільки в двох вимірах. Основний вид цих дефектів - це дислокації. На рис. 8.2, б подано так звану крайову дислокацію 4, яка становить край “зайвої” кристалографічної півплощини. При іншому характері зміщення атомів може утворитися складніша дислокація – гвинтова. Дислокації утворюються в процесі твердіння і особливо при деформації металу.

Поверхневі дефекти характеризуються малим розміром тільки в одному напрямі. Звичайно вони утворюються на границях зерен, на вільних поверхнях тощо.

Дефекти кристалічної будови, зокрема дислокації, відіграють велику роль у пластичній деформації, зумовлюючи значні зміни у властивостях металів. Точкові дефекти виявляються більше в процесах, пов'язаних із переміщенням (дифузією) атомів.

3. Модель кристалізації полікристалічного металу за Миркіним

Ще у 1878 р. Дмитро Константинович Чернов визначив, що процес кристалізації складається з двох стадій:

- зародження центрів кристалізації;
- ріст центрів кристалізації.

Перша стадія при кристалізації металів відбувається досить швидко. Тверді мікрооб'єми рідкого металу при переохолодженні набувають стабільності та здатності до росту. Тобто центрами кристалізації називають такі кристалічні об'єми рідкого металу, які здатні рости. Подальший ріст таких центрів відносять до другої стадії процесу кристалізації, яка є більш тривалішою.

При розгляді механізму кристалізації промислових металів слід мати на увазі, що виникнення центрів кристалізації відбувається довільно: під різними кутами орієнтації атомних шарів і т.д. Тому для уявлення процесу розглянемо модель кристалізації за Миркінім:

різна просторова орієнтація зародків кристалів призводить до того, що при своєму розростанні вони стикаються один з одним, втрачають правильну форму і стають окремими частинами твердого металу. При цьому утворюються границі між твердими кристалами (частинами) довільної форми. Такі кристали називають **кристалітами**, або зернами, а границі між ними – границями зерен.

Сукупність окремих частин твердого металу, їх форма, розміри та характер розташування називається **структурою металів**. Структура промислових металів є полікристалічною чи полізернистою, оскільки такі метали складаються з великої кількості зерен. Вивчають структуру металів за допомогою металографічних мікроскопів. За визначеною структурою матеріалів чітко можна встановити більшість властивостей та придатність матеріалу до виготовлення тих чи інших виробів

4. Самовільна та не самовільна кристалізація. Модифікування. Поліморфні перетворення в металах

Самовільною кристалізацією називають затвердіння високочистого металу при значному ступені переохолодження.

Існуючі в металах технічної чистоти домішки відіграють роль готових центрів кристалізації або сприяють підвищенню числа зародків. Такі метали і особливо сплави кристалізуються несамовільно. Надлишок центрів кристалізації сприяє утворенню дрібнозернистої структури.

Таким чином, для підвищення дрібнозернистості промислових металів та сплавів в них свідомо додають спеціальні домішки – **модифікатори**. Процес вводу модифікаторів у рідкий метал називають **модифікуванням**. Розрізняють модифікатори першого та другого роду.

Модифікатори I-го роду – це дрібні тугоплавкі частинки (карбіди, нітриди, оксиди). **Модифікатори II-го роду** - це поверхнево активні елементи (бор, магній).

Багато металів можуть змінювати свою кристалічну решітку залежно від умов і в першу чергу від температури. Це явище називають **поліморфізмом** (алотропізмом).

Температура, при якій метал змінює (перебудовує) свою кристалічну решітку називається **температурою поліморфного перетворення**.

Деякі метали при нагріванні втрачають магнітні властивості. Повна втрата феромагнітних властивостей називається **магнітним перетворенням**.

5. Будова металічного зливка

Кристаліти або зерна, які утворюються в процесі затвердіння злиwkів або деталей, мають деревоподібну форму (рис. 8.3). Таку форму зерен називають **дендритною**, а сам кристал **дендритом**.



Рис. 8.3. Схема дендриту

Напрямок росту дендритів залежить від характеру відводу тепла. Дендрит зароджується біля найбільш переохолоджених місць рідкого металу і росте в напрямку, протилежному напрямку відводу тепла. Це зумовлює певну будову зливка (рис.8.4).

При кристалізації металічного зливка рідкий метал контактує з холодними стінками виливниці. Це викликає утворення трьох зон зливку, поява яких зумовлена різним ступенем переохолодження в різних зонах рідкого металу.

Зона 1 – коркова зона дрібних рівноосних кристалів. Утворюється при дуже значному переохолодженні.

Зона 2 – зона подовгастих (стовпчастих) кристалів. Процес росту кристалів (дендритів) залежить від напрямку відводу тепла: стовпчасті дендрити ростуть нормально до поверхні виливниці в глибину рідкого металу.

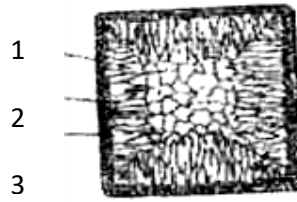


Рис. 8.4. Будова металічного злитка

Зона 3 – зона великих рівноосних кристалів. Утворюється в наслідок незначного відводу тепла.

Тема № 9

Металічні сплави та діаграми стану

1. Основні фази в сплавах

Металевими сплавами називають речовини, отримані внаслідок сплавлення двох або більше вихідних речовин, переважно металевих. Крім сплавлення, сплави отримують спіканням, електролізом та ін.. способами. Сплави мають більш цінні фізичні та хімічні властивості, ніж окремі компоненти, що входять до їх складу. Тому перевагу у практичному використанні віддають сплавам.

Речовини, з яких утворений сплав, називають **компонентами** сплаву. В якості компонентів сплавів можуть бути як чисті елементи, так і стійкі хімічні з'єднання. При кристалізації сплавів можуть утворитися наступні основні тверді фази:

- тверді розчини;
- хімічні з'єднання;
- механічні суміші.

Тверді розчини є найбільш розповсюдженою фазою в металевих сплавах. У твердих розчинах атоми розчиненого компонента або заміщають атоми компонента розчинника, або розташовуються між ними, не порушуючи при цьому структури кристалічної решітки.

За характером розподілу атомів речовини в кристалічній решітці розчинника розрізняють три типи твердих розчинів:

- тверді розчини заміщення;
- тверді розчини проникнення;
- тверді розчини вилучення.

Тверді розчини заміщення утворюються тоді, коли атоми розчиненого компонента заміщають атоми компонента розчинника. Вони бувають з обмеженою та необмеженою розчинністю.

Тверді розчини проникнення утворюються проникненням атомів розчиненого компонента у міжвузлях кристалічної ґратки розчинника. Вони завжди з обмеженою розчинністю. Найчастіше тверді розчини проникнення утворюють перехідні метали (кобальт, титан, молібден, вольфрам, марганець, ванадій) з так званими металоїдами (вуглець, кисень, азот, водень). Вони утворюються в ґратках ОЦК, ГЦК з великими порожнинами.

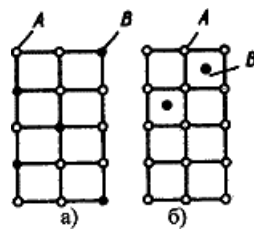


Рис.9.1. Кристалічні решітки твердих розчинів: а - заміщення,
б - проникнення (А – компонент розчинника,
В – атоми компонента, що розчиняється)

Тверді розчини вилучення утворюються на основі хімічних сполук. Характерною особливістю є відсутність атомів у деяких вузлах кристалічної решітки, що створює залишкові напруження у кристалічній ґратці. Вони утворюють сполуки FeO , CuAl_2 , TiC , NbC , ZrC та ін.

Утворення хімічної сполуки при кристалізації зумовлено здатністю різнорідних атомів (які значною мірою відрізняються за будовою і властивостями) об'єднуватись у певній атомній пропорції, утворюючи тип кристалічної ґратки, що відрізняється від ґраток компонентів. Характерними особливостями хімічних з'єднань є:

- постійність складу, яка може бути виражена формулою хімічного з'єднання;
- наявність нового типу кристалічної решітки, відмінного від типу решіток компонентів, які сплавляються;
- чітко виражені індивідуальні властивості;
- сталі температури кристалізації, як у чистих компонентах.

Виникнення структурних складових у сплавах пов'язане зі специфічними процесами кристалізації, які викликані частковою або повною нерозчинністю компонентів. За таких умов у сплавах формуються **механічні суміші**. У разі повної нерозчинності компонентів формується механічна суміш компонентів сплаву, атоми кожного з яких утворюють власні кристалічні ґратки, тобто кожний елемент кристалізується самостійно. За формою об'єднання фаз механічні суміші бувають глобулярні, пластинчасті та ін.

2. Принцип побудови діаграм стану

Побудова діаграм стану сплавів базується на експериментальному одержанні серії графіків охолодження розплавів з різним (заданим) співвідношенням (вмістом) компонентів системи та визначення за ними критичних температур (точок) фазових перетворень. Температури початку кристалізації сплаву називають *точками ліквідус*, а закінчення кристалізації – *солідус*. Обладнання для термічного аналізу складається з нагрівальної та контролюючої температур апаратури. Для побудови діаграми стану на осі абсцис відкладають концентрацію (вміст) компонентів досліджуваних сплавів (рис. 9.2). Крайня точка ліворуч по осі концентрації відповідає 100 % компонента А і 0 % В (початок осі абсцис), а крайня точка праворуч відповідає 100 % компонента В і 0 % компонента А. Значення температури відкладають по осі ординат. У цих координатах будують графіки охолодження чистих компонентів та сплавів на їхній основі. З'єднуючи всі точки початку кристалізації на кривих охолодження в одну лінію, а всі точки кінця кристалізації в іншу, одержують основні лінії (відповідно ліквідус і солідус) діаграми стану сплавів системи А - В. Вище лінії ліквідус сплави перебувають в

рідкому стані, нижче лінії солідус - у твердому, а у межах між ними водночас існують рідка і тверда фази.

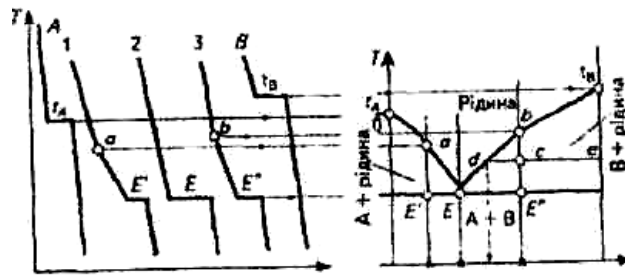


Рис. 9.2. Принцип побудови діаграм стану сплавів:

а - експериментальні криві охолодження;

б - діаграма стану сплавів А-В

Сплави з різним вмістом компонентів А і В мають різний фазовий склад, структуру, а отже, і властивості. Діаграми стану дають уявлення про формування структури і фазового складу будь-якого сплаву даної системи залежно від концентрації компонентів, температури, заданої швидкості охолодження; дозволяють простежити зміни (за визначених умов) певних фізичних і механічних властивостей.

3. Визначення складу та кількості фаз за діаграмою стану

Сплав – це речовина, яку одержують поєднанням (сплавленням, спіканням, електролізом) двох або більше хімічних елементів.

Система – це сукупність металів або металів та неметалевих елементів, обраних для спостереження впливу на них певних факторів (температури, тиску, концентрації). Систему називають рівноважною, якщо перетворення в ній при нагріванні та охолодженні відбуваються зворотно, а рівноважні умови досягаються за незначних ступенів перегріву чи переохолодження.

Компонент – незалежна складова частина системи (сплаву). Компонентами можуть бути чисті метали (елементи) або стійкі хімічні сполуки.

Фаза – це хімічно однорідна частина системи, відокремлена від інших частин (фаз) поверхнею розділу. У сплавах фазами можуть бути чисті метали, рідкі або тверді розчини, хімічні сполуки. Фази відрізняються одна від одної за агрегатним станом, хімічним складом, типом кристалічної ґратки.

Число ступенів вільності визначає кількість незалежних перемінних (температура, концентрація, тиск), які, не порушуючи рівноваги системи, можна змінювати у певних межах. Рівноважним називають такий стан сплаву, що не змінюється у часі. При рівновазі зберігається й кількість співіснуючих фаз. Якщо за таких умов можна змінювати лише температуру (одна змінна), то число ступенів вільності дорівнює одиниці (система **моноваріантна**); якщо температура і склад фаз будуть постійними, число ступенів вільності дорівнюватиме нулю (система **нонваріантна**).

Закономірності всіх змін системи, залежно від внутрішніх і зовнішніх умов, підпорядковані **правилу фаз** (правилу фаз Гіббса). Цей математичний вираз умов рівноваги системи визначає залежність між кількістю фаз, компонентів і числом ступенів свободи системи:

$$C = K - \Phi + 1,$$

де C – число ступенів свободи; K – кількість компонентів;

Φ – число фаз.

Визначення кількісного співвідношення рідкої і твердої фази при заданій температурі (в точці m):

Кількісна маса фаз обернено пропорційна відріzkам проведеної коноди. Розглянемо проведеною через точку m коноду і її відрізки.

Кількість всього сплаву ($Q_{сп}$) визначається відрізком pq .

Відрізок, прилеглий до лінії ліквідус pm , визначає кількість твердої фази.

$$Q_{тв} = \frac{pm}{pq} \cdot 100\% .$$

Відрізок, прилеглий до лінії солідус (або до осі компонента) mq , визначає кількість рідкої фази.

$$Q_{р} = \frac{mq}{pq} \cdot 100\% .$$

4. Зв'язок між властивостями сплавів і типом діаграми стану

Оскільки вид діаграми, також як і властивості сплаву, залежить від того, які з'єднання або які фази утворили компоненти сплаву, то між ними повинен існувати певний зв'язок. Ця залежність встановлена Курнаковим.

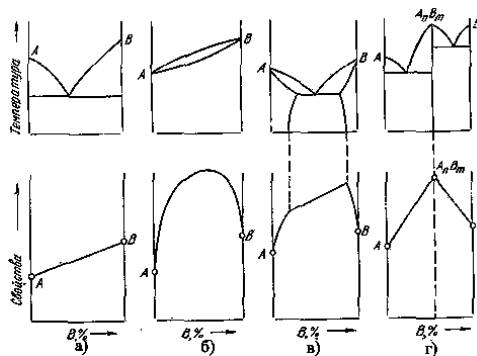


Рис. 9.3. Зв'язок між властивостями сплавів і типом діаграми стану

1. При утворенні механічних сумішей властивості змінюються по лінійному закону. Значення характеристик властивостей сплаву знаходяться в інтервалі між характеристиками чистих компонентів.
2. При утворенні твердих розчинів з необмеженою розчинністю властивості сплавів змінюються за криволінійною залежністю, причому деякі властивості, наприклад, електроопір, можуть значно відрізнятись від властивостей компонентів.
3. При утворенні твердих розчинів з обмеженою розчинністю властивості в інтервалі концентрацій, що відповідають однофазним твердим розчинам, змінюються за криволінійним законом, а в двофазній області – за лінійним законом. Причому крайні точки на прямій є властивостями чистих фаз, гранично насичених твердих розчинів, які утворюють дану суміш.
4. При утворенні хімічних з'єднань концентрація хімічного з'єднання відповідає максимуму на кривій. Ця точка перелому, відповідна хімічному з'єднанню, називається сингулярною точкою.

Тема № 10

Пластична деформація, рекристалізація та механічні властивості металів і сплавів

1. Поняття про пружну та пластичну деформацію

Деформацією називають зміну форми та розмірів тіла під дією зовнішніх сил, а також внаслідок різних фізико-механічних процесів у самому тілі, що спричинюють зміну об'єму. Вона пояснюється появою в тілі напружень, які

визначаються відношенням сили до одиниці площі. Напруження, що виникають під дією зовнішніх навантажень і зникають після припинення їх дії, називають тимчасовими, а напруження, що виникають і зрівноважуються в межах тіла від внутрішніх процесів – внутрішніми.

Деформації поділяються на пружні та пластичні. Цей поділ пояснюється тривалістю їх існування: пружні зникають з припиненням дії сил, а пластичні залишаються. Це зумовлено величиною зміщення атомів від положення рівноваги: якщо воно не перевищує міжатомної відстані, то деформація пружна, якщо ж більша – деформація пластична.

Пружною деформацією називають деформацію, вплив якої на форму, структуру і властивості тіла зникає після припинення дії зовнішніх сил. Вона не викликає помітних залишкових змін в структурі і властивостях металу.

При зростанні дотичних напружень вищевизначеної величини деформація стає незворотною. При знятті навантаження зникає тільки пружна складова деформації. Частина деформації, яка залишається, називають **пластичною**. При пластичній деформації незворотно змінюється структура металу та його властивості.

2. Механізми пластичної деформації

Пластична деформація може протікати під дією дотичних напруг і здійснюватися двома способами:

1. Ковзання по площинах – полягає в тому, що одні шари атомів кристала ковзають по інших шарах, причому вони переміщуються на дискретну величину, рівну цілому числу міжатомних відстаней.

В проміжках між смугами ковзання деформація не відбувається. Тверде тіло не змінює своєї кристалічної будови під час пластичної деформації, і розташування атомів в елементарних комірках зберігається.

Площинами ковзання є кристалографічні площини з найбільш щільною упаковкою атомів. Це найбільш характерний вид деформації при обробці тиском.

2. Двійникування – поворот однієї частини кристала в положення, симетричне іншій його частині. Площиною симетрії є площина двійникування.

Двійникування частіше виникає при пластичній деформації кристалів з об'ємноцентрованою і гексагональною решітками, причому з підвищенням швидкості деформації і пониженням температури схильність до двійникування зростає.

Двійникування може виникати не тільки в результаті дії зовнішніх сил, але і в результаті відпалу пластично деформованого тіла. Це характерний для металів з гранецентрованою кубічною решіткою (мідь, латунь). Двійникуванням можна досягти незначного ступеня деформації.

3. Пластична деформація полікристалів, текстура деформації. Деформаційне зміцнення при пластичній деформації

Пластична деформація полікристалічного металу протікає аналогічно деформації монокристалу шляхом зсуву (ковання) або двійникування. Формозміна металу при обробці тиском проходить в результаті пластичної деформації кожного зерна. Площини і напрями ковання в кожному зерні різні. При збільшенні зовнішньої сили ковання спочатку починається внайбільш сприятливо орієнтованих зернах, де досягнуто критичне дотичне напруження. Рух дислокацій, який почався в одному зерні, не може переходити в сусіднє зерно, так як в ньому системи ковання орієнтовані по-іншому. Досягнувши зерна, дислокація зупиняється.

При більшому ступені деформації виникає переважаюча орієнтація кристалографічних площин і напрямків в зернах. Закономірна орієнтація кристалітів відносно зовнішніх деформаційних сил отримала назву **текстури деформації**.

Чим більший ступінь деформації, тим більша частина кристалічних зерен отримує переважаючу орієнтацію (текстуру). Характер текстури залежить від природи металу і виду деформації (прокатування, волочіння).

Зі збільшенням ступеня холодної деформації властивості, які характеризують опір деформації, збільшуються, а здатність до пластичної деформації знижується. Це явище отримало назву **наклепу**.

Зміцнення металу в процесі деформації (наклеп) пояснюється збільшенням числа дефектів кристалічної будови (дислокацій, вакансій, міжвузлових атомів). Підвищення щільності дефектів кристалічної будови затрудняє рухові окремих нових дислокацій, а відповідно, підвищує опір деформації і зменшує пластичність.

4. Процеси, що відбуваються при нагріванні деформованих металів.

Повернення, полігонізація

Більша частина роботи (до 95 %), яка затрачається на деформацію металу, перетворюється в теплову (метал нагрівається), інша частина енергії акумулюється в металі у вигляді підвищеної щільності дефектів будови. Про накопичення енергії свідчить також ріст залишкових напружень в результаті деформації. При нагріванні такого металу в ньому протікають процеси повернення, полігонізації, рекристалізації, які обумовлюють повернення всіх властивостей до властивостей металу до деформації.

При нагріві до порівняно низьких температур (звичайно нижче $(0,2 \dots 0,3) T_{пл}$) починається процес повернення, під яким розуміють підвищення структурної досконалості наклепаного металу в результаті зменшення щільності дефектів будови, однак без помітних змін структури, видимої в світловому мікроскопі, в порівнянні з деформованим станом.

В процесі повернення розрізняють дві стадії:

- власне перша стадія повернення протікає при більш низьких температурах (нижче $(0,2 T_{пл})$), коли відбувається зменшення точкових дефектів (вакансій) і невелике перегруповання дислокацій без утворення нових субграниць;
- полігонізація – це фрагментація кристалітів на субзерна (полігони) з малокутовими границями і відбувається при нагріві до більш високих температур.

5. Первинна та вторинна рекристалізація. Холодна та гаряча деформації

При нагріві до достатньо високих температур рухливість атомів зростає і відбувається **рекристалізація**.

Нагрів металу до температур рекристалізації супроводиться різкою зміною мікроструктури і властивостей. Нагрів призводить до різкого зниження міцності при одночасному зростанні пластичності. Також знижується електроопір і підвищується теплопровідність.

При нагріві, наклепаного металу старе зерно не відновлюється, а з'являється зовсім нове зерно, розміри якого можуть суттєво відрізнятися від вихідного. Утворення нових, рівновісних зерен замість орієнтованої волокнистої структури деформованого металу називається **рекристалізацією обробки**, або **первинною рекристалізацією**. При цьому різко знижується щільність дислокацій, наклеп знімається повністю, зростає пластичність і знижується міцність.

Збиральна рекристалізація полягає в зростанні одних рекристалізованих зерен за рахунок інших.

Рушійною силою є поверхнева енергія зерен. При дрібних зернах поверхня розділу велика, тому є великий запас поверхневої енергії. При укрупненні зерен загальна протяжність границь зменшується і система переходить в більш рівноважний стан.

Вторинна рекристалізація – переважаючий ріст окремих нових зерен і формування рівно зернистості.

В залежності від співвідношення температури деформації і температури рекристалізації розрізняють такі види деформації:

- холодна деформація – це деформація, яку проводять при температурі нижче температури рекристалізації. Вона супроводжується зміцненням (наклепом) металу;

- гаряча деформація – це деформація, яку проводять при температурі вище температури рекристалізації для отримання повністю рекристалізованої структури.

6. Механічні властивості, які визначають при статичних випробуваннях

Під механічними властивостями розуміють характеристики, які визначають поведінку металу (або іншого матеріалу) під дією прикладених зовнішніх механічних сил.

До механічних властивостей належать твердість, міцність, пластичність, ударна в'язкість.

Найпростішим способом визначення міцнісних властивостей металів без виготовлення спеціальних зразків і практично без руйнування зразка або деталі є визначення їх твердості.

Твердістю називається здатність чинити опір проникненню в нього іншого, більш твердого тіла.

Існує кілька методів визначення твердості металів. З них найширше застосовують методи Брінелля і Роквелла.

За методом **Брінелля** твердість визначають на спеціальному приладі вдавлюванням у випробуваний зразок (виріб) сталеві загартованої кульки діаметром 2,5, 5 або 10 мм під навантаженням 62,5...3000 кгс (612,5... 29 400 Н) залежно від твердості і товщини випробуваного зразка (виробу).

Число твердості за Брінеллем HV є відношенням навантаження P до площі поверхні F , mm^2 , відбитка кульки

$$HV = P/F,$$

якщо навантаження виражене в кілограм-силі, і

$$HV = 0,102 P/F,$$

якщо навантаження виражене в ньютоні.

Твердість за Брінеллем звичайно показують без позначення одиниць, наприклад, 350 HV.

Значення твердості за Брінеллем можна використати для приблизної оцінки границі міцності матеріалу за формулою $\sigma_b = 0,35 \text{ HB}$.

Твердість за Роквеллом визначають вдавленням сталеві кульки діаметром 1,58 мм або алмазного конуса з кутом при вершині 120 °С. Число твердості за Роквеллом позначають HR, додаючи назву шкали, яка визначає умови випробування: HRA - конус, навантаження 60 кгс (588 Н); HRB - кулька, навантаження 100 кгс (980 Н); HRC_e - конус, навантаження 150 кгс (1470 Н) і подають в умовних одиницях, наприклад, 42 HRA, 95 HRB, 52 HRC_e.

Міцністю називається здатність матеріалів чинити опір дії зовнішніх руйнівних сил. Залежно від характеру цих сил розрізняють міцність при розтяганні, згинанні, стисканні, крученні.

Найбільш поширені випробування металів на розтяг.

Границею міцності при розтяганні σ_b називається умовне напруження, яке дорівнює відношенню найбільшого навантаження P_b , що передувало зруйнуванню стандартного зразка, до початкової площі його перерізу F , МПа:

$$\sigma_b = \frac{P}{F}.$$

Найменше напруження, під дією якого метал деформується без помітного збільшення навантаження, визначає границю текучості σ_t . У розрахунках деталей та інших конструкцій звичайно враховують умовну границю текучості $\sigma_{0,2}$ - напруження, при якому залишкова деформація зразка становить 0,2 % від початкової розрахункової його довжини.

Випробовуючи метал на розтяг, визначають також інші характеристики опору деформації (границі пропорційності й пружності), а також його **пластичність**. Пластичні властивості металу оцінюють відносним видовженням зразка при розтяганні δ - відношенням приросту розрахункової довжини зразка до початкової її довжини l_0 , %:

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

де l_k - довжина розрахункової довжини зразка після розриву.

Ударна в'язкість КС - це здатність металу чинити опір динамічному (ударному) навантаженню. Характеристикою цієї властивості є робота A , Дж, затрачена при динамічному зруйнуванні надрізаного зразка і віднесена до площі його поперечного перерізу F , см², у місці надрізу:

$$КС = A/F.$$

У позначення ударної в'язкості вводять також третю літеру, яка зазначає вид надрізу (U-, V-, T-подібний): КСІU, КСV, КСТ. Ударна в'язкість виражається в джоулях на квадратний метр (Дж/м²).

7. Властивості, які визначають при динамічних випробуваннях

Конструкційна міцність – комплекс міцнісних властивостей, які знаходяться в найбільшій кореляції (взаємодії) із експлуатаційними властивостями даного виробу, забезпечують тривалу і надійну роботу матеріалу в умовах експлуатації.

На конструкційну міцність впливають наступні чинники:

- конструкційні особливості деталі (форма і розміри);
- механізми різних видів руйнування деталі;
- стан матеріалу в поверхневому шарі деталі;
- процеси, що відбуваються в поверхневому шарі деталі, що призводять до відмов при роботі.

Необхідною умовою створення якісних конструкцій при економічному використанні матеріалу є перелік додаткових критеріїв, що впливають на конструкційну міцність. Цими критеріями є надійність і довговічність.

Надійність – властивість виробів, виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного часу або опір матеріалу крихкому руйнуванню.

Визначальними критеріями надійності є температурні пороги холодоламкості, опір розповсюдженню тріщин, ударна в'язкість, характеристики пластичності.

Довговічність – здатність деталі зберігати працездатність до певного стану.

Критеріями довговічності є втомна міцність, зносостійкість, опір корозії, контактна міцність.

Процес деформації, досягнувши високих напруг, завершується руйнуванням. Тіла руйнуються по перетину не одночасно, а внаслідок розвитку тріщин. Руйнування включає три стадії:

- зародження тріщини,
- її розповсюдження через перетин,
- остаточне руйнування.

Розрізняють **крихке руйнування** – відрив одних шарів атомів від інших під дією нормальних розтягуючих напруг. Відрив не супроводжується попередньою деформацією. Механізм зародження тріщини однаковий - завдяки скупченню дислокацій, що рухаються, перед перешкодою (межі субзерен, фазові межі), що призводить до концентрації напруг, достатньої для утворення тріщини. Коли напруги досягають певного значення, розмір тріщини стає критичним і подальше зростання здійснюється довільно.

Розрізняють **транскристалічне руйнування** – тріщина розповсюджується по тілу зерна, **інтеркристалічне** – по межах зерен (завжди крихке).

В'язке руйнування – шляхом зрізу під дією дотичних напруг. Йому завжди передуює значна пластична деформація.

Тема № 11

Залізо та його сплави. Вуглецеві сталі та чавуни

1. Компоненти та фази в системі Fe – C

Діаграмою стану називають графічне зображення фаз та структурних складових в координатах “температура – концентрація”.

Компонентами системи Fe-Fe₃C є залізо Fe і вуглець C (рис.11.1).

Вуглець - це неметалевий елемент з температурою плавлення 3500 °С. Із залізом він утворює тверді розчини або хімічні сполуки, а в певних умовах може виділятися у вигляді графіту.

Залізо з вуглецем утворює ряд хімічних сполук. З них практичне значення має карбід Fe_3C , який містить 6,67 % С. Цей карбід називають *цементитом* (Ц).

Фазою називають відокремлену частину системи, яка має свою структуру, хімічний склад, властивості і відокремлена від решти системи поверхнею розділу. Розрізняють такі фази в системі Fe- Fe_3C :

Структурою називають форму, розміри та розташування фаз у системі.

L (ліква) – розчин вуглецю в розплавленому залізі.

Ф (ферит) – твердий розчин проникнення вуглецю в α -залізі з структурою ОЦК і розчинністю від 0% до 0,02%. Ферит має невисоку твердість і високу пластичність.

Ф^δ (ферит δ) – твердий розчин проникнення вуглецю в δ -залізі з структурою ОЦК і розчинністю від 0% до 0,1%.

А (аустеніт) – твердий розчин проникнення вуглецю в γ -залізі з структурою ГЦК і розчинністю від 0% до 2,14%. Аустеніт парамагнітний, пластичний, має низьку міцність і твердість.

Ц (цементит) - хімічне з'єднання заліза з вуглецем – карбід заліза (Fe_3C), містить 6,67% С. Температура плавлення цементиту – 1260°C. Цементит має дуже високу твердість та крихкість.

Існують різновиди цементиту:

Ц_I - виділяється при кристалізації з рідкої фази у всіх залізовуглецевих сплавах, які містять вуглецю більше 4,3%;

Ц_{II} - виділяється при вторинній кристалізації з аустеніту внаслідок зменшення розчинності вуглецю в γ -залізі при зниженні температурі від 1147°C до 727°C;

Ц_{III}- виділяється з фериту внаслідок зменшення розчинності вуглецю в α -залізі при зниженні температури від 727°C до кімнатної.

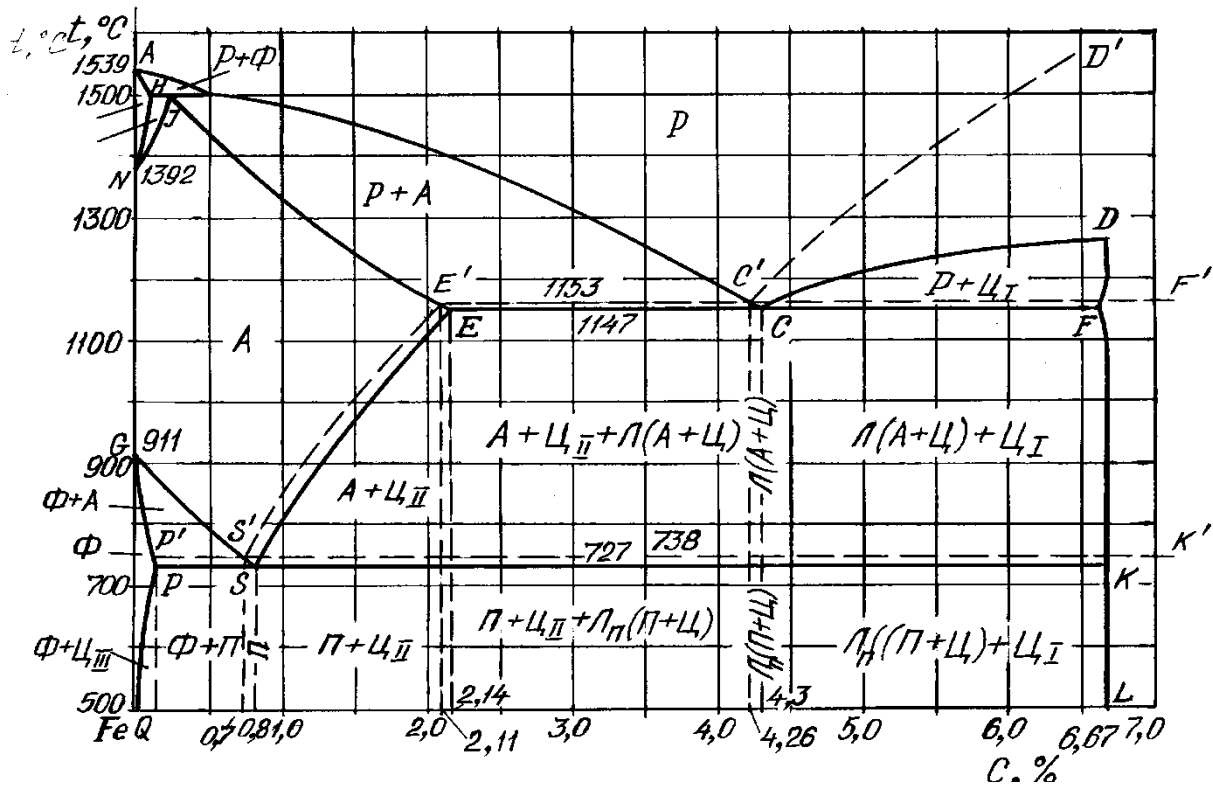


Рис. 11.1 діаграма стану залізо-цементит (Fe-Fe₃C)

2. Діаграма метастабільного стану системи Fe – C

Координати точок діаграми Fe-Fe₃C

Точка	t, °C	%C	Визначення точки
A	1539	0	Температура плавлення заліза
C	1147	4,3	Склад евтектики
D	1260	6,67	Температура плавлення цементиту
E	1147	2,14	Гранична розчинність вуглецю в γ -залізі
G	911	0	Поліморфне перетворення α -заліза в γ -залізо
P	727	0,02	Гранична розчинність вуглецю в α -залізі
S	727	0,8	Евтектоїд не перетворення
Q	20	0,006	Мінімальна розчинність вуглецю в α -залізі

Основні лінії діаграми:

Лінія ABCD – лінія ліквідус. Вище цієї лінії всі сплави знаходяться в рідкому стані.

Лінія AHJECF – лінія солідус. Нижче цієї лінії всі сплави знаходяться в твердому стані.

Лінії поліморфного перетворення:

Вуглець, розчиняючись в поліморфній модифікації α -заліза знижує температуру поліморфного перетворення від 911°C до 727°C .

GS і GP – лінії нижнього поліморфного перетворення.

HN, JN – лінії верхнього поліморфного перетворення.

Лінії змінного розчинення вуглецю в поліморфних модифікаціях:

ES – max 2,14% C min 0,8% C;

GP – max 0,02% C min 0,006% C.

Критичними точками називаються температури, за яких відбуваються фазові та структурні перетворення в сплавах системи “Fe-Fe₃C”. Позначаються буквою A (arret – зупинка (фран.).

A₀ – цементит переходить з феромагнітного стану в парамагнітний;

A₁ – знаходяться на лінії PSK, при температурі 727°C аустеніт розпадається з утворенням перліту;

A₂ – знаходяться на лінії MO, при температурі 768°C залізо із феромагнітного стану переходить в парамагнітний;

A₃ – знаходяться на лінії GS, відбувається перетворення аустеніту в ферит;

A_{cm} – знаходяться на лінії SE, початок виділення цементиту вторинного.

При нагріві через тепловий гістерезис добавляють букву c (A_{c1}, A_{c3}), при охолодженні r (A_{r1}, A_{r3}).

3. Структурні складові діаграми Fe – C

Структурними складовими називають частину системи, що містить дві і більше фаз. В системі Fe-Fe₃C розрізняють такі структурні складові.

П (перліт) – евтектоїдна механічна суміш, яка складається з дрібних різних за розміром пластинок цементиту в феритній основі. Вміст вуглецю

становить 0,8%. Утворюється при розпаді аустеніту визначеного складу при температурі 727°C. Структура має перламутровий блиск.

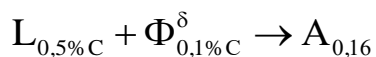
Л (ледебурит) – евтектична механічна суміш цементиту і аустеніту, містить 4,3% вуглецю. При температурі вище 727°C і нижче 1147°C ледебурит називають високотемпературним, він складається з аустеніту і цементиту Ц_I і позначається як Л^B . При температурі нижчій 727°C ледебурит називають низькотемпературним, він складається з перліту і цементиту і позначається як Л^H .

4. Нонваріантні перетворення залізовуглецевих сплавів

Три горизонтальні лінії на діаграмі (HJB, ECF, PSK) вказують на наявність трьох нон варіантних перетворень.

Лінії ізотермічного перетворення:

По лінії HJB при 1499°C відбувається перитектичне перетворення 9рідина взаємодіє з кристалами Φ_δ з утворенням аустеніту):



Ця реакція властива тільки сплавам з вмістом вуглецю 0,1...0,5%.

По лінії ECF при температурі 1147°C відбувається евтектичне перетворення



Евтектична механічна суміш аустеніту і цементиту названа ледебуритом. Таке перетворення властиве всім сплавам з вмістом вуглецю понад 2,14%

По лінії PSK відбувається при температурі 727°C евтектоїдне перетворення



Евтектоїдну механічну суміш фериту та цементиту назвали перлітом. Це перетворення властиве усім сплавам з вмістом вуглецю понад 0,02%.

5. Характеристика вуглецевих сталей

Вуглецеві сталі промислового виробництва – це багатокомпонентні сплави, які, крім заліза й вуглецю, мають домішки марганцю, кремнію,

фосфору сірки та деякі інші. Кожен з перелічених компонентів впливає на структуру та властивості сталей.

В сталях завжди присутні домішки, які поділяються на три групи:

1. Постійні домішки: кремній, марганець, сірка, фосфор.

Марганець і кремній вводяться в процесі виплавки сталі для розкислювання, вони є технологічними домішками.

Вміст марганцю не перевищує 0,5...0,8 %. Марганець підвищує міцність, не знижуючи пластичності, і різко знижує червоноламкість сталі, викликану впливом сірки.

Вміст кремнію не перевищує 0,35...0,4 %. Кремній, дегазуючи метал, підвищує густину зливка. Кремній розчиняється у фериті і підвищує міцність сталі і спостерігається деяке зниження пластичності.

Вміст **фосфору** в сталі 0,025...0,045 %. Фосфор, розчиняючись у фериті, спотворює кристалічні грати і збільшує межу міцності σ_b і межа текучості σ_T , але знижує пластичність і в'язкість.

Сірка – зменшується пластичність, зварюваність і корозійна стійкість. Фосфор – спотворює кристалічні грати.

Вміст сірки в сталях складає 0,025...0,06 %. Сірка – шкідлива домішка, потрапляє в сталь з чавуну. При взаємодії із залізом утворює хімічне з'єднання – сульфід сірки FeS.

Сірка знижує механічні властивості, особливо ударну в'язкість і пластичність, а також межа витривалості. Вона погіршує зварюваність і корозійну стійкість.

2. Приховані домішки - гази (азот, кисень, водень) – потрапляють в сталь при виплавці.

Азот і кисень знаходяться в сталі у вигляді крихких неметалічних включень: оксидів (FeO, SiO₂, Al₂O₃) нітридів (Fe₂N), у вигляді твердого розчину або у вільному стані, розташовуючись в дефектах (раковинах, тріщинах).

Дуже шкідливим є розчинений в сталі водень, який значно окрихчує сталь. Він призводить до виникнення внутрішніх тріщин – флокенів.

Флокени – тонкі тріщини овальної або округлої форми, що мають в зламі вид плям – пластівців сріблястого кольору.

Метал з флокенами не можна використовувати в промисловості, при зварюванні утворюються холодні тріщини в наплавленому і основному металі. Для видалення прихованих домішок використовують вакуумування.

3. Спеціальні домішки – спеціально вводяться в сталь для отримання заданих властивостей. Домішки називаються легуючими елементами, а сталі – легованими сталями.

Вуглецеві сталі класифікують за такими ознаками:

1. За хімічним складом сталі поділяються: вуглецеві і леговані.

2. За вмістом вуглецю:

- низьковуглецеві із вмістом вуглецю до 0,25 %;
- середньовуглецеві із вмістом вуглецю 0,3...0,6 %;
- високовуглецеві із вмістом вуглецю вище 0,7 %

3. За рівноважною структурою: доевтектоїдні, евтектоїдні, заевтектоїдні.

4. За якістю. Критерієм якості є масові частки шкідливих домішок: сірки і фосфору:

- $0,04 \leq S \leq 0,06\%$, $0,04 \leq P \leq 0,08\%$ – вуглецеві сталі звичайної якості;
- $P, S = 0,03...0,04\%$ – якісні сталі;
- $P, S \leq 0,03\%$ – високоякісні сталі.

5. За способом виробництва розрізняють сталі, виплавлені:

- в мартенівських печах;
- в кисневих конверторах;
- в електричних печах: електродугових, індукційних і ін.

6. За ступенем окислення сталі поділяються на:

- спокійні;
- напівспокійні;
- киплячі.

7 За призначенням сталі поділяють:

- конструкційні – застосовуються для виготовлення деталей машин і механізмів;
- інструментальні – застосовуються для виготовлення різних інструментів;
- спеціальні – сталі з особливими властивостями: електротехнічні, з особливими магнітними властивостями і ін.

Прийнято буквено-цифрове позначення сталей.

Вуглецеві сталі звичайної якості (ГОСТ 380).

Сталі містять підвищену кількість сірки і фосфору. Маркуються Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Ст – індекс даної групи сталі. Цифри від 0 до 6 - це умовний номер марки сталі. Із збільшенням номера марки зростає міцність і знижується пластичність сталі. Існує три групи сталей: А, Б і В. Для сталей групи А при поставці гарантуються механічні властивості, в позначенні індекс групи А не вказується. Для сталей групи Б гарантується хімічний склад. Для сталей групи В при поставці гарантуються і механічні властивості, і хімічний склад.

Індекси кп, пс, сп вказують ступінь розкислення сталі: кп - кипляча, пс – пс - напівспокійна, сп - спокійна.

Якісні вуглецеві сталі

Якісні сталі поставляють з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом (група В). Ступінь розкислення, в основному, спокійна.

Конструкційні якісні вуглецеві сталі Маркуються двозначним числом, яке вказує середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Вказується ступінь розкислення, якщо він відрізняється від спокійної. Наприклад, сталь 08 кп, сталь 10 пс, сталь 45. Вміст вуглецю, відповідно, 0,08 %, 0,10 %, 0,45 %.

Інструментальні якісні вуглецеві сталі маркуються буквою У (вуглецева інструментальна сталь) і числом, яке вказує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Наприклад, сталь У8, сталь У13. Вміст вуглецю, відповідно, 0,8 % і 1,3 %

Інструментальні високоякісні вуглецеві сталі. Маркуються аналогічно якісним інструментальним вуглецевим сталям, тільки вкінці марки ставлять букву А для позначення високої якості сталі. Наприклад, сталь У10А.

6. Характеристика чавунів

За хімічним складом чавуни відрізняються від сталі високим вмістом вуглецю (більше 2,14 %) і постійних домішок (S, P, Si, Mn). Порівняно зі сталями чавуни мають нижчі механічні властивості, але значно кращі технологічні (ливарні, оброблюваність різанням, антифрикційні властивості, зносостійкість). Це зумовлює широке використання чавуну для виготовлення багатьох деталей у різних галузях машинобудування. Чавун, як правило, дешевший за сталь.

Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

- білий чавун – вуглець перебуває в зв'язаному стані у вигляді цементиту, в зламі має білий колір і металевий блиск;
- сірий чавун – весь вуглець або велика частина знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, а в зв'язаному стані знаходиться не більше 0,8 % вуглецю. Через велику кількість графіту його злам має сірий колір;
- половинчастий – частина вуглецю знаходиться у вільному стані у формі графіту, але не менш 2 % вуглецю знаходиться у формі цементиту. Мало використовується в техніці.

За структурою білі чавуни поділяють на доевтектичні (2,14...4,3 % C), евтектичні (4,3 % C) і заевтектичні (4,3...6,7 % C).

Структуру доевтектичних білих чавунів складають перліт, ледебурит і вторинний цементит. Евтектичний чавун має структуру ледебуриту - рівномірної механічної суміші перліту і цементиту. Заевтектичний чавун характеризує структура, що складається з первинного цементиту і ледебуриту.

Структура сірих, ковких і високоміцних чавунів складається з металевої основи, що пронизана графітовими вкрапленнями. Розрізняють три основні форми графітових вкраплень (фаз): пластинчасту, пластівчасту та кулясту.

Сірим чавунам притаманна пластинчаста форма графіту, який можна розглядати як тріщину чи надріз, що створює концентрацію напружень у

металевій матриці та різко знижує характеристики міцності чавуну. Сірий чавун – найдешевший конструкційний матеріал. У виробництво надходить у вигляді виливків, має високі ливарні властивості, добре оброблюється різанням, чинить опір зношуванню, здатен розсіювати коливання при вібраційних і змінних навантаженнях (у 2... 4 рази вище за сталь). Промисловість випускає такі марки сірих чавунів: СЧК), СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45. При маркуванні сірих чавунів літери СЧ означають - чавун сірий, а цифри - мінімальне значення границі міцності при розтязі.

Ковкі чавуни більш пластичного, порівняно з сірим, чавуну. Його ніколи не кують. Одержують його шляхом тривалого високотемпературного відпалювання виливків білого чавуну з перлітно-цементитною структурою. Під час такого графітизуючого відпалювання цементит білого чавуну розпадається, утворюючи графіт пластівчастої форми. Залежно від структури металевої основи розрізняють ковкі феритний і перлітний чавуни. Феритні ковкі чавуни одержують з білих, які мають у своєму складі 2,4...2,8 % С; 0,8... 1,4 % Si; 0,3...0,4 % Mn; 0,08... 0,1 % S; <0,2 % P. Перлітні ковкі чавуни виготовляють з білих, які містять 2,8... 3,4 % С; 0,5...0,8 % Si; 0,4...0,5 % Mn; 0,12 % S ; 0,2 % P.

Залежно від показників міцності при розтязі і відносного видовження ковкі чавуни розрізняють за марками: КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12 - це феритні чавуни; КЧ45-6, КЧ50-4. КЧ56-4, КЧ60-3, КЧ63-2 -перлітні. З ковких чавунів виготовляють високоміцні деталі для змінних і ударних навантажень, підвищеного спрацювання, наприклад, шестерні, шатуни, картер заднього мосту, гальмівні колодки, ступиці, гачкові ланцюги, пальці різальних апаратів тощо.

Високоміцні чавуни - це різновид сірого чавуну з феритною або перлітною структурою, модифікованого магнієм або комплексними модифікаторами (магній з добавками силіцію та інші). В результаті модифікування одержують графіт кулястої форми і невеликих розмірів. Такі чавуни мають підвищену міцність і порівняно з сірими чавунами здатні чинити

опір крихкому руйнуванню. Вони мають феритну або перлітну структуру металевої основи.

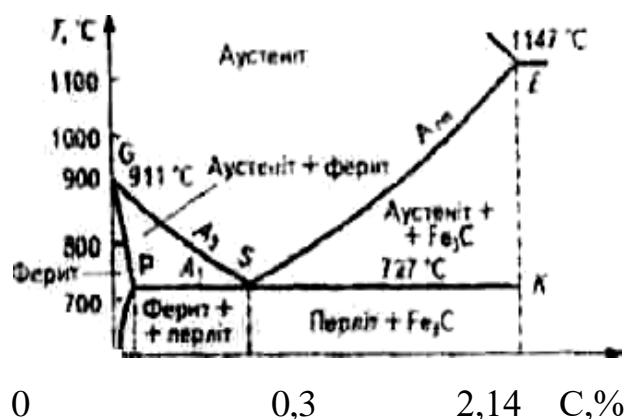
Залежно від границі міцності і відносного видовження високоміцні чавуни поділяють на такі марки: ВЧ38-17, ВЧ42-12, ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2, ВЧ70-3, ВЧ80-3, ВЧ100-4, ВЧ120-4. Високі механічні властивості цих чавунів дозволяють використовувати їх для виготовлення деталей машин, що працюють за умов значних навантажень, замість поковок і виливків із сталей. З високоміцного чавуну виготовляють деталі ковальсько-пресового обладнання, прокатних станів, парових турбін, тракторів, автомобілів (колінчасті вали, поршні тощо).

Тема № 12

Основні термічні обробки металів

1. Критичні точки на діаграмі Fe – C

Перетворення перліту в аустеніт ($P \rightarrow A$) відбувається за нагрівання сталі, згідно лівої частини діаграми Fe-Fe₃C, вище за температуру критичної точки A_1 (727°C, лінія PSK). Нагадуємо, що перліт - неоднорідна (гетерогенна) структура, а аустеніт - однорідна (гомогенна). Тому за нагрівання вище 727 °C мають відбуватися процеси дифузії атомів вуглецю для досягнення концентрації 0,8 %. Для цього потрібні час і перегрів вище за температуру A_1 . Швидкість перетворення зростає при підвищенні температури.



При нагріванні евтектоїдної сталі (0,8 % C) вище за точку A_1 (740...800 °C) на межі фериту і цементиту починається перетворення $\alpha \rightarrow \gamma$ з утворенням низьковуглецевого аустеніту, в якому розчинюється цементит. Перетворення $\alpha \rightarrow \gamma$ відбувається швидше, ніж розчинення цементиту. Тому, коли вся α -фаза

(ферит) перетвориться на γ -фазу (аустеніт), частина цементиту залишиться нерозчиненою, і лише після розчинення всього цементиту перетворення закінчується. Проте аустеніт, що утворився, має досить нерівномірну концентрацію вуглецю, яка зменшується від центру до периферії зерна. Лише після тривалого нагрівання або підвищення температури внаслідок дифузії аустеніт стає однорідним щодо вмісту вуглецю.

Доевтектоїдні сталі за температур вище температури A_1 мають структуру аустеніт + ферит і лише вище за температури A_3 (лінія GS діаграми) набувають однорідної структури аустеніту.

У разі нагрівання заевтектоїдних сталей вище A_1 (подібно до евтектоїдних) перліт спочатку перетворюватиметься на аустеніт, а з підвищенням температури вторинний цементит розчинюватиметься в аустеніті. Вище температури A_{cm} (крива SE діаграми) розчинення цементиту закінчується і утворюється однорідний аустеніт. Оскільки аустеніт утворюється на межі фериту і цементиту, то утворення перліту з дрібною структурою і з більшою протяжністю границь відбувається швидше.

2. Перетворення перліту в аустеніт при нагріванні сталі. Ріст зерна аустеніту при нагріванні

Основою всіх перетворень є прагнення системи до мінімуму вільної енергії. Фазові перетворення в сталі відбуваються внаслідок зміни умов (наприклад, температури), коли один стан системи стає менш стабільним за інший.

Розрізняють такі основні структурні стани під час термічної обробки сталі:

- аустеніт (А) - твердий розчин вуглецю (С) в γ -залізі Fe_γ ;
- мартенсит (М) - перенасичений твердий розчин вуглецю в α -залізі $Fe_\alpha(C)$;
- перліт (П) - евтектоїдна суміш фериту (Φ) і цементиту $Fe_\alpha + Fe_3C$.

При нагріванні евтектоїдної сталі (0,8 % С) вище за точку A_1 (740...800 °С) на межі фериту і цементиту починається перетворення $\alpha \rightarrow \gamma$ з утворенням низьковуглецевого аустеніту, в якому розчинюється цементит (рис. 12.1, б, в). Перетворення $\alpha \rightarrow \gamma$ відбувається швидше, ніж розчинення цементиту. Тому,

коли вся α -фаза (ферит) перетвориться на γ -фазу (аустеніт), частина цементиту залишиться нерозчиненою (рис. 12.1, *д*), і лише після розчинення всього цементиту перетворення закінчується (рис. 12.1, *е*). Проте аустеніт, що утворився, має досить нерівномірну концентрацію вуглецю, яка зменшується від центру до периферії зерна. Лише після тривалого нагрівання або підвищення температури внаслідок дифузії аустеніт стає однорідним щодо вмісту вуглецю.

Доевтектоїдні сталі за температур вище температури A_1 мають структуру аустеніт + ферит і лише вище за температури A_3 (лінія GS діаграми) набувають

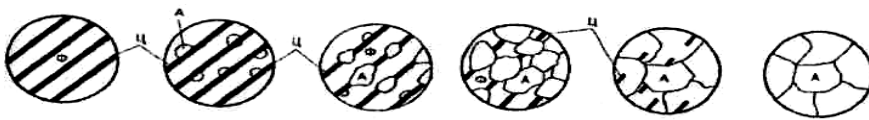


Рис. 12.1. Механізм перетворення перліту в аустеніт при нагріванні сталі однорідної структури аустеніту.

3. Перетворення в сталі при охолодженні. Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту

Перетворення аустеніту на перліт ($A \rightarrow П$) відбувається в процесі охолодження сталі від температур аустенітного стану до кімнатної температури. Перетворення (розпад) може відбуватися лише за температур, нижчих від критичної точки A_1 ($727\text{ }^\circ\text{C}$), за умови, що енергія аустеніту вища за вільну енергію продуктів його перетворення. Тобто аустеніт має бути переохолодженим. Від ступеня переохолодження (температури), за якого відбувається перетворення, залежать швидкість перетворення та структурний стан продуктів розпадів аустеніту.

Оскільки розпад аустеніту може здійснюватися від кількох секунд до кількох годин, для зручності побудови діаграми використовують логарифмічну шкалу часу (1 п т).

Горизонтальні лінії M_n і M_k показують температуру початку та закінчення бездифузійного мартенситного перетворення. Діаграма, наведена на рис. 12.2, характерна для ізотермічного перетворення евтектоїдної ($0,8\text{ \% C}$) сталі. Якщо замінити умовно позначені температури конкретними, то діаграма набуде вигляду, зображеного на рисунку.

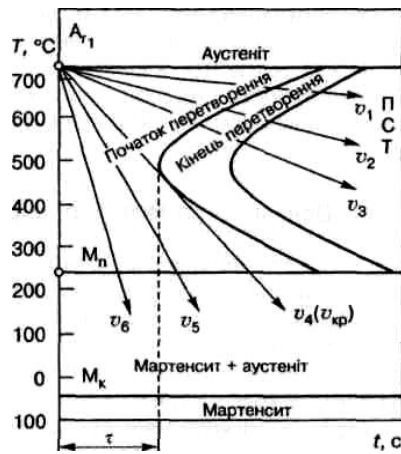


Рис. 12.2. Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту в евтектоїдній сталі

На ній, залежно від ступеня переохолодження аустеніту, розрізняють три температурні області перетворення: перліту (від точки A_1 приблизно до $550\text{ }^\circ\text{C}$), проміжного перетворення (від $550\text{ }^\circ\text{C}$ до точки M_n), бейнітного і мартенситного (нижче точки M_n). Перлітне перетворення аустеніту відбувається у три етапи за дифузійним механізмом; мартенситне перетворення є бездифузійним процесом, а бейнітне (проміжне) поєднує в собі елементи перлітного та мартенситного перетворень.

4. Класифікація основних видів термообробки

Термічна обробка - це технологічний процес теплової обробки металів і сплавів з метою зміни їхньої структури та властивостей шляхом нагрівання і охолодження. Результатом термічної обробки є зміцнення або знеміцнення сплаву (сталі).

Термообробку в машинобудуванні поділяють на три великих класи:

- термічну (звичайну) обробку (ТО);
- хіміко-термічну обробку (ХТО);
- термомеханічну (ТМО).

Звичайна термічна обробка включає 4 основних види: відпал, гартування, відпускання, старіння.

Відпалом називають вид ТО, при якому формується структура сплаву (сталі), що наближена до рівноважної (стабільної).

Гартування - це процес, при якому сплав нагрівають до температур, вищих за фазові перетворення, витримують та швидко охолоджують для отримання

нестійкого (метастабільного) стану. Залежно від виду діаграми стану сплавів гартування може приводити до збільшення їх твердості, чи навпаки її зменшення.

Гартування сталей та чавунів завжди приводить до значного збільшення їх твердості та зменшення пластичності. Це викликане формуванням в структурі загартованої сталі чи чавуну пересиченого твердого розчину - мартенситу. Гартування деяких сплавів кольорових металів викликає навпаки зменшення їх твердості та підвищення пластичності.

Відпуск - це процес, який проводять з метою отримання більш стійких структур загартованої сталі чи чавуну. Відпуск, таким чином, виконують лише після гартування. Цей процес полягає у повторному нагріванні загартованої сталі до невисоких температур (140...650 °С) та певної витримки. При цьому сталь набуває більшої пружності, в'язкості менш схильна до крихкого руйнування, тобто стає більш міцною. Твердість загартованої сталі після відпускання зменшується.

Старінням називають процес розпаду перенасичених загартованих твердих розчинів, в яких при гартуванні поліморфних перетворень не відбувалось. Такі розчини властиві більшості сплавам кольорових металів, відповідно, старіння частіше проводять для сплавів кольорових металів. Старіння полягає у тривалій витримці загартованих сплавів при звичайних чи підвищених температурах, тобто нагрів) чи з повторним нагріванням до невисоких температур. Відповідно до цього старіння буває природнім (без нагрівання) та штучним (з нагріванням). Після старіння м'які загартовані сплави стають твердішими та більш міцними.

Хіміко-термічна обробка поєднує теплову дію з хімічною, в результаті чого в поверхневих шарах змінюється і хімічний склад, і структура сплаву. Найчастіше ХТО застосовують до сталей та чавунів. Хімічна дія полягає у насиченні поверхні сталі, при високих температурах, елементами: С, N, В, Cr, Al, Si та ін.

Термомеханічна обробка поєднує в собі процеси нагріву та пластичної деформації. Розрізняють високотемпературну термомеханічну обробку (ВТМО)

та низькотемпературну (НТМО). При ВТМО сплав нагрівають вище фазових перетворень, проводять деформування і відразу піддають гартуванню. При НТМО сплав нагрівають вище фазових перетворень, різко охолоджують до $T \approx T_{\text{рекф}}$ та піддають деформуванню і наступному гартуванню/

5. Гартування сталі

Гартування - це операція нагрівання сплавів до температур вище фазових перетворень, витримки та наступного швидкого охолодження для отримання метастабільних структур.

При гартуванні сталей та чавунів утворюється метастабільна структура високої твердості – мартенсит. Мартенсит - це перенасичений твердий розчин карбону у α -залізі Fe_{α} . Мартенсит має тетрагональну кристалічну решітку.

Розрізняють два основних види гартування: повне та неповне. При повному гартуванні нагрів виконують до температур $A_{c3}+20...30$ °С, його застосовують для доєвтекоїдних сталей. При неповному гартуванні нагрів виконують до температур $A_{c1}+20...30$ °С, його застосовують для евтектоїдних та заевтектоїдних сталей.

Для прискореного охолодження, при виконанні гартування, використовують рідинні середовища: вода технічна олива, соляні розчини та розплави.

Основною метою гартування сталей та чавунів є досягнення високої твердості деталей. При цьому важливим параметром є загартованість сталі. **Загартованістю** називають здатність сталі отримувати найвищу твердість після гартування. Більшу загартованість мають сталі з більшим вмістом карбону. Висока твердість загартованих сталей забезпечує високу зносостійкість поверхні деталей, але міцність, в деяких випадках, може бути невисокою внаслідок низької їх в'язкості.

Результати гартування залежать від розмірів деталей та виробів. При великих розмірах, висока твердість характерна лише поверхневим шарам деталі, а серцевина може залишитись незагартованою. Для оцінки цього явища користуються параметром, який називають прогартованістю. **Прогартваність** -

це здатність сталі отримувати структуру мартенситу на певну глибину. Прогартованість характеризують критичною швидкістю охолодження, яка визначена для кожної марки сталі. Якщо реальна швидкість охолодження перевищує критичну, то деталь прогартується на всю товщину.

Для підвищення в'язкості та міцності загартованих сталей їх піддають відпусканню.

6. Види хіміко-термічної обробки металів

Хіміко-термічна обробка об'єднує операції хімічного і термічного впливу з метою цілеспрямованої зміни складу, структури та властивостей поверхневого шару сталі. Здійснюють ХТО дифузійним шляхом, насичуючи поверхню деталі відповідним елементом (C, N, Al, B, Cr, Si тощо) в атомарному стані з оточуючого середовища при високій температурі.

Види хіміко-термічної обробки класифікують відповідно до певного насичуючого елемента і агрегатного стану насичуючого середовища (карбюризатора). Основними видами ХТО є дифузійне насичення вуглецем - цементация, азотом - азотування, азотом і вуглецем одночасно - ціанування та нітроцементация, дифузійна металізація алюмінієм - алітування, хромом - хромування. Залежно від агрегатного стану насичуючого середовища (твердий; рідкий, газоподібний) розрізняють процеси газової цементации, газового азотування і нітроцементации, цементации у твердому карбюризаторі, рідкого ціанування, борування.

Цементация - це поверхневе насичення низьковуглецевої сталі (0,1 ...0,25 %) або легуваних сталей (типу 18ХГТ, 15ХФ, 20ХГР, 12ХНЗА, 20ХН та інших) вуглецем з метою одержання високої твердості поверхні та в'язкої серцевини виробів. Насичуючі суміші (карбюризатори), багаті на вуглець, можуть бути у твердому, рідкому і газоподібному стані. Швидкість цементации при 950 °С складає 0,1 мм/год.

Найпоширеніший спосіб газової цементации - з використанням метану CH_4 , пропану C_3H_8 , оксиду вуглецю CO тощо - зводиться переважно до двох реакцій.

За глибину цементації умовно приймають відстань від поверхні деталі до половини зони, у структурі якої спостерігається приблизно однакова кількість перліту та фериту (1...2 мм). Рекомендований середній вміст вуглецю в шарі повинен відповідати складу евтектоїдної сталі (0,85 % C), а у зовнішньому шарі - не перевищувати 1,1...1,2%.

Після цементації вироби піддають термічній обробці - гартуванню та низькому відпуску. Цим забезпечується утворення структури дисперсного високовуглецевого мартенситу поверхні, подрібнення зерна серцевини і зняття внутрішніх напружень. Цементация, гартування і низький відпуск надає виробам високої поверхневої твердості та зносостійкості, а також підвищення ударної в'язкості серцевини. Залежно від хімічного складу вихідної сталі твердість поверхні після такої обробки має становити 58...62 НКС, а серцевини - 20...35 НКС.

Азотування - це процес дифузійного поверхневого насичення і сталевих виробів азотом у газоподібному або рідкому середовищі. Температурний діапазон азотування становить 470...600 °С. Отримані при азотуванні шари складаються з поверхневої нітридної зони та дифузійного підшару (зони внутрішнього азотування), що забезпечують широкий діапазон фізико-механічних властивостей азотованих виробів.

Залежно від умов експлуатації виробів розрізняють азотування для підвищення поверхневої твердості, зносостійкості, втомної міцності та азотування для підвищення корозійної стійкості.

Для підвищення твердості й зносостійкості використовують спеціальні сталі (нітралої), до складу яких входять елементи, що утворюють нітриди (CrN, MoN, AlN), наприклад, сталь 38ХМЮА. Для підвищення втомної міцності звичайні леговані сталі азотують з нітридоутворюючими елементами.

Азотування здійснюють на готових виробах після остаточної термічної обробки. Оптимальною структурою для азотування є сорбіт, який зберігається у серцевині виробів і після ХТО, забезпечуючи її підвищену в'язкість і міцність.

Тому деталі перед азотуванням піддають зміцнюючій термічній обробці - гартуванню з високим відпуском.

Ціанування і нітроцементация. Насичення поверхні виробів одночасно вуглецем і азотом в розплавлених ціанистих солях (NaCN , KCN) називають **ціануванням**, а в газовому середовищі – **нітроцементациєю**.

Розрізняють низькотемпературне ($540\text{...}560\text{ }^\circ\text{C}$), середньотемпературне ($820\text{...}860\text{ }^\circ\text{C}$) та високотемпературне ($920\text{...}960\text{ }^\circ\text{C}$) ціанування. За підвищених температур поверхня насичується вуглецем більше ніж азотом, тобто процес наближається до цементации. Після такого насичення вироби піддають гартуванню з низьким відпуском. Негативним явищем ціанування є отруйність ціанових солей та висока вартість процесу.

Нітроцементацию (газове ціанування) сталей здійснюють в ендотермічній атмосфері (що містить навуглецьовувальний газ), до якої додають аміак. Розрізняють високотемпературну ($800\text{...}870\text{ }^\circ\text{C}$) та низькотемпературну ($560\text{...}580\text{ }^\circ\text{C}$) нітроцементацию. Глибина насичення залежить від температури та тривалості (2... 15 год) процесу. Порівняно з газовою цементацией нітроцементация має такі переваги:

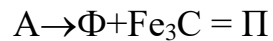
- низька температура процесу;
- менше зерно;
- менша деформація і короблення;
- підвищена корозійна стійкість;
- стійкість проти спрацювання.

Дифузійна металізація - це процес, під час якого відбувається насичення поверхні сталевих виробів різними металами. Процес насичення алюмінієм називають алітуванням, хромом - хромуванням тощо. Розрізняють дифузійну металізацію у твердих, рідких і газоподібних середовищах.

7. Перлітне і мартенситне перетворення

Перлітне перетворення переохолодженого аустеніту при температурах $A_{r1} = 500\text{ }^\circ\text{C}$. В процесі перетворення відбуваються поліморфне $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення і

дифузійний перерозподіл вуглецю в аустеніт, що призводить до утворення ферито-цементитної структури:



Аустеніт, практично однорідний за концентрацією вуглецю, розпадається з утворенням фериту і цементиту, який містить 6,67% С, тобто складається з фаз, які мають різну концентрацію вуглецю.

Продукти перлітного перетворення мають пластинчасту будову. Пластинчасті структури автектоїдного типу часто визначають як перліт, сорбіт і тростит, або відповідно грубо-, середньо- і тонко диференційований перліт. Чим більше переохолодження, тим тонша отримується ферито-цементитна структура.

Перетворення аустеніту в мартенсит ($A \rightarrow M$) має зовсім відмінну природу, не таку як при формуванні ферито-цементитних сумішей. Характерною особливістю аустенітно-мартенситного перетворення є його бездифузійність. Мартенсит — це пересичений твердий розчин вуглецю в α -залізі. У разі значного переохолодження (коли швидкість охолодження вища від критичної - $V_{кр}$) вуглець не встигає виділитися з аустеніту у вигляді цементиту, як це відбувається за утворення перліту, сорбіту і трооститу. Він залишається у кристалічній решітці α -заліза, утворює пересичений твердий розчин і викликає внаслідок цього зміну ОЦК-гратки на тетрагональну з елементарною коміркою у вигляді прямокутного паралелепіпеда. Атоми вуглецю в такій комірці розташовуються у міжвузлях або в центрі основи.

Характерною особливістю мартенситного перетворення є призупинення перетворення у мартенситному інтервалі в разі зупинки безперервного охолодження, що супроводжується також стабілізацією аустеніту. Для мартенситного перетворення характерно також подрібнення блочної структури, утворення мікродвійників, підвищення густоти дислокацій.

Тема № 13

Леговані сталі

1. Принципи та мета легування сталей

Легованими називають сталі, які, крім заліза, вуглецю і технологічних домішок, містять спеціальні домішки (легуючі елементи). Легуючі елементи вводять до складу сталі для надання їй або покращання певних фізичних, хімічних, механічних або технологічних властивостей. Сталі можуть містити один або кілька легуючих елементів. Легуючі елементи в тій чи іншій мірі розчиняються в основних фазах сталі (фериті, аустеніті, цементиті) або утворюють спеціальні карбіди.

В конструкційних сталях легування здійснюється з метою поліпшення механічних властивостей (міцності, пластичності). Крім того, змінюються фізичні, хімічні, експлуатаційні властивості.

Легуючі елементи підвищують вартість сталі, тому їх використання повинне бути строго обґрунтоване.

Переваги легованих сталей:

- особливості виявляються в термічно обробленому стані, тому виготовляються деталі, що піддаються термічній обробці;
- поліпшені леговані сталі мають більш високі показники опору пластичним деформаціям (σ_T);
- легуючі елементи стабілізують аустеніт, тому прожарювання легованих сталей вище;
- можливе використання більш “м’яких” охолоджувачів (знижується брак по гартівних тріщинах і викривленнях), оскільки гальмується розпад аустеніту;
- підвищуються запас в’язкості і опір холодоламкості, що призводить до підвищення надійності деталей машин.

Недоліки:

- схильні до оборотної відпускної крихкості II роду;
- у високолегованих сталях після гартування залишається аустеніт залишковий, який знижує твердість і опір втомі, тому вимагається додаткова обробка;

- схильні до дендритної ліквідації, оскільки швидкість дифузії легуючих елементів в залізі мала. Дендрити збідняються, а границі – міждендритний матеріал – збагачується легуючим елементом. Утворюється структура стрічки після кування, неоднорідність властивостей вздовж і поперек деформації, тому необхідний дифузійний відпал;
- схильні до утворення флокенів.

Флокени – світлі плями в зламі в поперечному перерізі – дрібні тріщини з різною орієнтацією. Причина їх утворення – виділення водню, розчиненого в сталі.

При швидкому охолодженні від 200 °С водень залишається в сталі, виділяючись з твердого розчину, викликає великий внутрішній тиск, що призводить до утворення флокенів.

Засоби захисту: зменшення вмісту водню при виплавці і зниження швидкості охолодження в інтервалі флокеноутворення.

2. Класифікація і маркування легованих сталей

Сталі класифікуються за декількома ознаками.

1. За структурою після охолодження на повітрі виділяються три основні класи сталей:

- перлітний;
- мартенситний;
- аустенітний.

Сталі перлітного класу характеризуються малим вмістом легуючих елементів; мартенситного – вищим вмістом; аустенітного – високим вмістом легуючих елементів.

2. За ступенем легування (за вмістом легуючих елементів):

- низьколеговані – 2,5...5 %;
- середньолеговані – до 10 %;
- високолеговані – більше 10%.

3. За кількістю легуючих елементів:

- трьохкомпонентні (залізо, вуглець, що легує елемент);

- чотирьохкомпонентні (залізо, вуглець, два легуючі елементи) і так далі.

4. За складом:

нікелеві, хромисті, хромонікельмолібденові і так далі (ознака – наявність тих або інших легуючих елементів).

5. За призначенням:

- конструкційні;
- інструментальні (ріжучі, для вимірювальних приладів, штампів);
- сталі і сплави з особливими властивостями (різко виражені властивості – нержавіючі, жароміцні і термостійкі, зносостійкі, з особливими магнітними і електричними властивостями).

Державна система маркування якісної легованої сталі складається зі сполучення літер і цифр, що орієнтовно вказують на її хімічний склад. Легуючі елементи мають такі позначення: азот (А), ніобій (Б), вольфрам (В), марганець (Г), мідь (Д), кобальт (К), берилій (Л), молібден (М), нікель (Н), свинець (П), хром (Х), бор (Р), кремній (С), титан (Т), ванадій (Ф), цирконій (Ц), алюміній (Ю), рідкісноземельні метали (Ч).

Цифри після літери вказують приблизно на вміст даного легуючого елемента. При вмісті елемента менше 1 % цифри не пишуть; при вмісті близько 1 % - пишуть цифру 1; близько 2 % - цифру 2 тощо. При маркуванні конструкційних якісних сталей цифри перед першою літерою марки використовують для позначення середнього вмісту вуглецю у сотих частках процента, а у високовуглецевих інструментальних сталях - в десятих частках процента. Наприклад, сталь марки 20Х містить у своєму складі 0,17... 0,23 % С, 0,7... 1,0 Cr; сталь 30ХГСН2 - 0,3 % С, до 1 % Cr, до 1 % Mn, до 1 % Si, до 2 % Ni.

Деякі групи сталей мають додаткові позначення: марки шарикопідшипникових сталей починаються з літери Ш, швидкорізальних - з літери Р, магнітотвердих - з літери Е, автоматних - з літери А.

3. Конструкційні та інструментальні леговані сталі

Інструментальні сталі використовують для виготовлення різального, штампувального і вимірюваного інструменту. Умовно їх поділяють на вуглецеві, леговані, штамповані, швидкорізальні.

Інструментальні вуглецеві сталі (0,65...1,3 % С). Виготовляють такі марки цих сталей: У7, У8, У8Г, У10, У11, У12 і У13. Цифри вказують на вміст вуглецю у десятих частках процента. Літера А після цифри означає високоякісну сталь. Наприклад, сталь марки У12А розшифровують так: інструментальна вуглецева сталь з вмістом вуглецю 1,2 %, високоякісна.

Інструментальні леговані сталі, порівняно з вуглецевими, характеризує підвищена прогартованість, значна міцність, більш високі різальні властивості, пластичність у відпаленому стані. Легуючі елементи (W, Мо, Со, Сr) підвищують теплостійкість, Mn - загартованість, N - в'язкість, V - зносостійкість.

Сталі з сумарним вмістом легуючих елементів до 2,5 % відносять до низьколегованих, до 10% - до середньолегованих і більше 10 % - до високолегованих.

У низьколегованих сталях основним легуючим елементом є хром (сталі Х, 11Х, 13Х). При вмісті хрому до 0,4 % прогартованість сталей низька, а з підвищенням вмісту хрому до 1,3...1,6 % при легуванні кількома елементами (Cr, Mn, Si, W) вона значно зростає (сталі 9ХС, 9ХВГ, ХВГ, Х12М та інші). Так, сталь Х прогартовується у маслі на глибину до 25 мм, сталь 9ХС - до 35 мм, сталь ХВГ - до 45 мм, сталь ХВГС - до 80 мм.

Сталь Х з теплостійкістю до 200 °С застосовують для токарних і стругальних різців: сталь 9ХС з теплостійкістю до 260 °С - для виготовлення свердел, розверток, фрез, метчиків, плашок; сталі типу ХВСГ, 9Х5ВФ з теплостійкістю до 450 °С використовують для виготовлення крупних свердел, плашок, протяжок, фрез та іншого різального інструменту.

Високолеговані інструментальні сталі містять у своєму складі W Cr, V, Мо (до 18 % основного легуючого елемента) і мають високу теплостійкість - до 600...650 °С. Такі сталі називають швидкорізальними і позначають

літерою Р і цифрою, яка вказує на вміст вольфраму у процентах (сталі Р9, Р18, Р6М5, Р9К5, Р18К5Ф2 та інші).

Для вимірювального інструмента використовують сталі Х, ХВГ після гартування і спеціального низького відпуску при 120... 130 °С протягом 15...20 год з наступною обробкою при температурах нижче нуля (до -60 °С). З цих сталей виготовляють також штампи холодного деформування складної форми перерізом 75... 100 мм. Для виготовлення інструменту з високою твердістю і зносостійкістю, а також і незначною деформацією під час гартування використовують сталі типу Х12Ф1. Сталі з меншим вмістом вуглецю і підвищеною в'язкістю використовують для інструмента, що працює за значних ударних навантажень (пневматичні зубила, ножі для холодної різки тощо), наприклад, сталі 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С та інші.

Сталі з вмістом вуглецю (0,5...0,6 %), леговані хромом (який підвищує міцність і прогартованість), а також вольфрамом і молібденом (підвищує твердість, теплостійкість, подрібнюють зерно), нікелем (підвищують в'язкість, прогартованість) і марганцем (заміняє нікель), використовують для виготовлення штампів гарячого деформування - сталі 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ.

Конструкційні сталі призначені для виготовлення деталей машин та інших конструкцій. Від них вимагають високої міцності, в'язкості, пружності. До цієї групи належать також сталі, призначені для роботи в корозієактивних і високотемпературних умовах.

Конструкційні сталі поділяють на такі групи.

Будівельні низьколеговані сталі мають масову частку до 0,2 % С і порівняно невелику кількість легуючих елементів. До них належать, зокрема, сталі 09Г2, 10Г2СІ, 15Г2СФ, 10НДП. їх використовують у будівництві та машинобудуванні в основному без термічної обробки.

Поліпшувані сталі призначені для виготовлення деталей машин (вали, шестерні, шатуни тощо), які піддають гартуванню і високому відпусканню (поліпшенню). До них належать низьколеговані сталі з масовою часткою 0,3...0,5 % С, наприклад: 30Х, 40ХН, 30ХГСНА, 38ХНЗМФ.

Сталі з підвищеною оброблюваністю різанням - це так звані автоматні сталі, які можна обробляти з великою швидкістю різанням, забезпечують високу якість оброблюваної поверхні і велику стійкість інструменту. Ці сталі легують елементами, які самі або разом з іншими елементами сприяють утворенню короткої і ламкої стружки. Такими елементами є S, Pb, Ca, Se. Вводять їх у сталь 0,1...0,3 %. До цієї групи належать сталі сірчані А20, А40Г; свинцеві АС30ХМ, АС38ХГМ; кальцієві АЦ20, АЦ45Х; селенові А45Е, А40ХЕ та ін.

Ресорно-пружинні сталі легують Si, Mn, Cr, W, Ni у кількості 1,5...2,8 % та 0,10...0,25 %V.

Більш поширені кременисті сталі: 50С2, 60С2А, 70С3А. Високонантажені пружини і ресори виготовляють із сталей 60С2ХФА, 65С2ВА, 60С2Н2А; клапанні пружини - із сталей 50ХФА, 50ХГФА.

Підшипникові сталі застосовують для виготовлення кульок, роликів і кілець підшипників кочення. До них належать сталі ШХ6, ШХ9, ШХ15СГ, які містять близько 1 % С і відповідно 0,6; 0,9 і 1,5 % Cr.

Зносостійкі сталі. Для роботи в умовах ударно-абразивного зношування призначені литі сталі аустенітного класу 110Г13Л і 60Х5Г10Л, а в умовах кавітаційно-ерозійного зношування (деталі відцентрових насосів, лопаті гідротурбін) - сталі 30Х10Г10, 0Х14АГ12, 0Х14Г12М та ін.

Корозієстійкі сталі поділяють на дві групи: хромисті і хромонікелеві. Хромисті сталі містять 13 % і більше хрому. За структурою вони поділяються на сталі феритного (08Х13, 15Х25Т), феритно-мартенситного (12Х13) і мартенситного (20Х13, 30Х13, 95Х18) класів.

Більшість хромонікелевих сталей належать до аустенітного класу: 12Х18Н9, 12Х18Н12Т, 10Х14Г14Н4Т та ін. Поряд з ними існують сталі аустенітно-феритного (наприклад, 08Х21Н6М2Т) і аустенітно-мартенситного(09Х15Н8Ю) класів.

Жаростійкі сталі призначені для роботи при високих температурах у газових середовищах. Жаростійкість (окалиностійкість) визначається не структурою, а складом сталі і в основному залежить від вмісту хрому. Введення

в сталь 5...8 % хрому підвищує її жаростійкість до 700...750 °С, а при 25%Cr - до 1100 °С. Поряд з хромом ці сталі легують Si, Al, Ni (15X5, 40X9C2, 15X18CЮ, 20X23H13 та ін.).

Жароміцні сталі здатні тривало працювати під навантаженням при високих температурах. Їх поділяють на три класи: перлітний, мартенситний і аустенітний.

До сталей перлітного класу, призначених для роботи при температурі 450...580 °С, належать котельні (15К, 18К, 22К) та теплостійкі (12МХ, 25ХІМФ, 20ХЗМВФ та ін.) сталі.

Сталі мартенситного класу (15Х5М, 12Х8ВФ, 40Х10С2М та ін.) здатні працювати при температурі 450...600 °С.

Для роботи при температурі 650...700 °С використовують сталі аустенітного класу (10Х18Н12Т, 08Х15Н24В4ТР, 45Х14Н14В2М).

Тема № 14

Кольорові метали і сплави

1. Титан та його сплави

Титан - сріблясто-сірий метал з температурою плавлення 1672 °С, з малою питомою вагою ($\rho=4,5 \text{ г/см}^3$) і високою корозійною стійкістю належить до перехідних металів четвертої групи періодичної системи елементів. Механічні властивості технічно чистого титану (марки ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1) знаходяться на рівні властивостей звичайних конструкційних сталей. З нього виготовляють катані і пресовані труби, лист, дріт, поковки. Він добре зварюється, має високі механічні характеристики, корозійну стійкість і жароміцність, але важко обробляється різанням, має низькі антифрикційні властивості.

Залежно від структури у рівноважному стані титанові сплави поділяють на α -сплави (однофазні) і β -сплави (двофазні). Так, основними промисловими сплавами титану зі структурою аїр є ВТ5, ВТ8. За технологічним призначенням їх поділяють на ливарні й такі, що піддаються деформуванню.

За міцністю титанові сплави поділяють на три групи:

- низької міцності 300...700 МПа (ВТ1);

- середньої 700... 1000 МПа (BT3, BT4, BT5);
- високої міцності >1000 МПа (BT6, BT14, BT15) після гартування та старіння.

Титанові сплави можна піддавати всім основним видам термічної обробки, а також хіміко-термічній обробці, змінюючи їхні властивості у потрібному напрямку.

2. Сплави на основі алюмінію

Алюміній - легкий метал третьої групи періодичної системи елементів, сріблясто-білого кольору, з густиною 2,7 г/см³, високою електро- і теплопровідністю та корозійною стійкістю (утворює щільну поверхневу плівку оксиду Al₂O₃). Температура плавлення алюмінію, залежно від чистоти металу, становить 660...667°C. Прокатний і відпалений алюміній високої чистоти має міцність $\sigma_B = 60$ МПа, модуль пружності $E = 1,1 \times 10^3$ МПа, пластичність $\delta = 50$ %, твердість 25 НВ. Алюміній високопластичний, маломіцний матеріал, добре обробляється тиском, зварюється, але погано піддається обробці різанням. Як конструкційний матеріал його не застосовують.

Постійні домішки (Fe, Si, Ti, Mn, Cu, Zn, Cr) знижують фізико-хімічні характеристики і пластичність алюмінію. Залежно від вмісту домішок розрізняють марки алюмінію: А999 (0,001 % домішок), А995 (0,005 % домішок), А99 (0,010 % домішок), а також А97, А95.

Сплави алюмінію, що піддають деформуванню, повинні забезпечувати високу технологічну пластичність для здійснення операцій прокатування, кування, пресування тощо. Тому вони повинні мати однорідну структуру твердого розчину на основі алюмінію. Для підвищення міцності допускають у структурі сплаву невелику кількість кристалів евтектики. Деформовані сплави алюмінію поділяють на такі, що зміцнюють термічною обробкою, і такі, що не зміцнюють.

До незміцнюваних термообробкою належать сплави типу АМц і АМг. У сплавах АМц міститься до 1,5 % Mn, а в АМг - до 7 % Mg і 0,8 Mn. Для підвищення міцності в них додатково вводять до 2 % V, 0,1 % Ti, 0,005 % Be. Ці

сплави мають високу пластичність, добре зварюються, корозієстійкі, $\sigma_B = 200 \dots 300$ МПа. З них виготовляють штамповані і зварні ємкості, баки тощо.

До сплавів, що зміцнюються термообробкою, належать дуралюміні. Вони містять 2...5 % Cu, до 1,5 % Mg, 1 % Mn. Позначають дуралюміні літерою Д і умовними номерами, наприклад, Д1, Д16.

Термічна обробка дуралюмініу полягає в гартуванні його від температури, близької до 500 °С, і наступному природному старінні при кімнатній температурі протягом 5...7 діб або штучному при температурі 100... 150 °С. Після такої обробки властивості дуралюмініу становлять $\sigma_B = 420 \dots 470$ МПа, 90... 100 НВ, $\delta = 18 \dots 20$ %.

До сплавів типу дуралюмін належать також сплави, призначені для обробки куванням і штампуванням - АК2, АК4, АК6 (алюмінієвий ковкий, номер сплаву) тощо. Порівняно з дуралюмінами вони додатково леговані нікелем або титаном.

Ливарні алюмінієві сплави містять підвищену кількість силіцію, міді, магнію, цинку. За складом їх поставляють (ДСТУ 2839-94) 38 марок і поділяють на п'ять груп:

1) Al-Si-Mg (Si = 6...13 %, Mg = 0,2...0,5 %); позначення - АК7, АК12 тощо;
2) Al-Si-Cu (Si = 3,5...11 %, Cu = 1...8 %); позначення-АК5М, АК5М7 тощо;
3) Al-Cu (Cu = 4,5...5,3 %, Cd = 0,07...0,25 %); позначення - АМ5, АМ4,5Кд тощо;

4) Al-Mg (Mg = 4,5... 13 %, Si = 0,8... 1,7 %); позначення - АМг4К1,5М, АМг5К тощо;

5) Al - інші компоненти (Zn = 3,5...12 %, Mg = 1,5...2 %, Si = 6... 10 %); позначення - АК7Ц9, АЦ4Мг та ін.

У марках алюмінієвих, як і в інших кольорових, сплавів компоненти позначають початковими літерами їх назви: А - алюміній, О - олово, М - мідь, Мн - манган, Мг - магній, Кд - кадмій та ін. За ними подають цифри, які вказують на вміст цих елементів. Наприклад, марка АМ4,5Кд позначає сплав з вмістом 4,5 % Cu, близько 1 % Cd, решта - алюміній.

3. Магнієві сплави

Магній - метал з мінімальною серед конструкційних металів густиною $1,74 \text{ г/см}^3$. У зв'язку з малою міцністю (в литому стані $\sigma_B = 30 \text{ МПа}$) і малою корозійною стійкістю технічно чистий магній як конструкційний матеріал не використовують.

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

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

Після гартування і штучного старіння вони мають $\sigma_B = 250\text{...}300 \text{ МПа}$ і $\delta = 9\text{...}18 \%$. Добавка 2 % Ti і 3 % Nd до цих сплавів дає змогу підвищити їх теплостійкість при тривалій експлуатації до $350 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ливарні магнієві сплави (їх позначають літерами МЛ і умовними номерами - МЛ4, МЛ6 тощо) містять до 10 % Al, 3 % Zn, 0,5 Mn. Ці сплави мають $\sigma_B = 150\text{...}250 \text{ МПа}$, $\delta = 1\text{...}9 \%$, добру рідкотекучість і широко застосовуються для виготовлення виливків, які працюють при невеликих навантаженнях (кронштейни, корпуси приладів тощо). Сплави, додатково леговані цирконієм і торієм, можна тривалий час експлуатувати при температурі до $350 \text{ }^\circ\text{C}$ і короткочасно - при температурі до $450 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. Мідь та її сплави

Мідь - це метал червоного кольору густиною $8,9 \text{ г/см}^3$ і температурою плавлення $1083 \text{ }^\circ\text{C}$.

У відпаленому стані мідь має міцність $\sigma_B = 250 \text{ МПа}$, твердість 45 НВ, пластичність $\delta = 45 \%$. Як конструкційний метал чисту мідь в машинобудуванні

використовують рідко. Частіше її використовують для утворення сплавів - латуней і бронз.

Латунями називають сплави міді з цинком. Цинк у кількості до 39 % утворює з міддю твердий розчин α , так звану α -латунь. При більшому вмісті цинку в сплавах утворюється друга фаза - β -твердий розчин. Двофазні латуні називають $(\alpha + \beta)$ -латунями. Наявність у структурі міцнішої і твердішої β -фази сприяє підвищенню міцності латуні, проте різко знижує її пластичність. Тому однофазні латуні використовують для обробки тиском, а двофазні - в основному різанням або для лиття. Сплави з масовою часткою цинку понад 45 % крихкі, тому застосовують їх рідко.

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

Оброблювані тиском латуні маркують літерою Л і цифрами, які вказують на масову частку міді в сплаві, наприклад, марка Л80 означає латунь з 80 % Cu, решта - Zn. У марці складних латуней перші дві цифри за літерами вказують середній вміст міді, а наступні - вміст інших елементів (решта - Zn), наприклад: марка ЛЖС58-1-1 позначає латунь з масовою часткою 58 % Cu, 1 % Fe і 1 % Pb, решта - Zn.

Марки ливарних латуней відрізняються від розглянутих. Так, марка ЛЦ40МцЗЖ позначає латунь з масовою часткою 40 % Zn, 3 % Mn, 1 % Fe, решта - Cu.

Бронзами називають сплави міді з оловом, алюмінієм, берилієм та іншими елементами, крім цинку як основного компонента. На відміну від цинку ці елементи або мають змінну розчинність у міді залежно від температури, або утворюють тверді розчини, які зазнають при охолодженні евтектоїдного перетворення. Тому за технологічними властивостями бронзи поділяють на деформівні та ливарні. Крім того, бронзи зі значною розчинністю компонентів або евтектоїдним перетворенням можна піддавати зміцнювальній термообробці.

Бронзи, як і латуні, бувають простими і складними.

Марки деформівних бронз починаються літерами Бр, за якими йдуть літери, що позначають легуючі елементи, а за ними в такому самому порядку цифри, які вказують на вміст цих елементів (решта Cu). Наприклад, до складу бронзи марки БрОЦС-4-4-4 входить по 4 % Sn, Zn і Pb, решта - Cu. У марках ливарних бронз вміст елементів вказують безпосередньо після їх позначення. Наприклад, БрО8Н4Ц2 (8 % Sn, 4 % Ni, 2 % Zn, решта - Cu).

За хімічним складом бронзи поділяють на олов'яні та безолов'яні. Особливе місце належить берилієвим бронзам, які містять близько 2 % Be. Після гартування від температури 780 °С і старінні при 300°С вони мають міцність $\sigma_b = 1300$ МПа, твердість 370 НВ, високу пружність і добру корозієстійкість. Це дає змогу застосовувати їх для виготовлення таких виробів, як пружини, мембрани, слюсарний інструмент тощо.

5. Підшипникові сплави. Припої та легкоплавкі сплави

Припої застосовують при спаюванні металів. Процес спаювання ґрунтується на дифузійному проникненні рідкого припою у твердий метал, що зумовлює міцність спаяного з'єднання.

Припої поділяються на **м'які** та **тверді**, які різняться температурою плавлення.

До м'яких припоїв належать сплави олова та свинцю з температурою плавлення до 350°С. М'які припої відрізняються значною рідкотекучістю. З поміж них знайшли широке використання припої наступних марок: ПОС-90, ПОС-60, ПОС-40, ПОС-30, ПОС-18. Перші букви в цьому позначенні розшифровуються: олов'янисто-свинцевий, цифра - вказує на процентний вміст олова. Припої марки ПОС вміщують сурму в кількості до 3%, решта- свинець.

При підвищенні вмісту свинцю в припоях ПОС знижується міцність спаяного з'єднання. Припої даного класу використовують при спаюванні: побутового посуду, тари для нехарчових продуктів, медичної апаратури, мідних, залізних, латунних та ІНВІХ виробів, а також для з'єднання деталей електрорадіоапаратури.

Для низькотемпературного спаювання використовують також олов'яноцинкові припої, які маркуються буквами ПОЦ з позначенням цифрою вмісту олова (ПОЦ-90: 90 % Sn, -10 % Zn). Припой ПОЦ-90 має найнижчу температуру плавлення $T_{\text{пл}}=200^{\circ}\text{C}$. Припої ПОЦ (ПОЦ-60, ПОЦ-70, ПОЦ-90) застосовують для спаювання алюмінію та його сплавів.

До твердих припоїв належать: мідноцинкові, міднофосфористі та мідносрібноцинкові.

Тверді припої забезпечують більш міцне з'єднання, що визначається як більшою міцністю самого припою, так і більшим розвитком процесів дифузії за рахунок вищих температур спаювання. Тверді припої служать для спаювання сталі, чавунів, міді та її сплавів. Інколи для спаювання сталевих деталей застосовують чисту мідь.

Мідноцинкові припої ПМЦ-36, ПМЦ-48, ПМЦ-54 (цифра вказує на вміст міді) мають високу температуру плавлення, яка підвищується з ростом вмісту міді й досягає 880°C .

Міднофосфористі припої, наприклад, ПМФ-7 (цифра вказує на вміст фосфору), дозволяють вести спаювання міді без спеціальних флюсів, що значно спрощує процес спаювання.

Мідносрібноцинкові припої позначають буквами ПСр. Найпоширеніші з них ПСр-10 (36%Cu, 52%Zn, 10%Ag; $T_{\text{пл}}=785^{\circ}\text{C}$), ПСр-25(40%Cu, 35%Zn, 25%Ag; $T_{\text{пл}}=765^{\circ}\text{C}$), ПСр-45 (30%Cu, 25%Zn, 45%Ag; $T_{\text{пл}}=720^{\circ}\text{C}$). Мідносрібноцинкові припої достатньо технологічні, мають високу рідкотекучість, придатні для спаювання різноманітних металів та сплавів. З'єднання відрізняється високою корозійною стійкістю та міцністю.

Для виготовлення вкладишів підшипників застосовують сплави на основі свинцю, олова, цинку або алюмінію, які називають **бабітами**.

Бабіти є м'якими легкоплавкими матеріалами з невеликим коефіцієнтом тертя, добре утримують мастило на поверхні вкладиша.

Цинкові сплави за своїми властивостями рівноцінні з бабітами, але поступається перед бабітами на олов'яній основі.

Алюмінієві бабіти мають низький коефіцієнт тертя, високу зносостійкість і твердість. Їх використовують замість олов'яних і свинцевих бабітів.

Тема № 15

Пластичні маси і неметалічні матеріали

1. Склад, класифікація та властивості пластмас

Пластмасами називають штучні неметалічні матеріали, які отримують на основі органічних полімерних в'язучих речовин (синтетичних смол, ефірів та інших сполук).

В'язуча речовина є обов'язковим компонентом пластмас. В якості в'язучих речовин для більшості пластмас використовують синтетичні смоли. Залежно від виду в'язучого полімеру пластмаса має певні властивості та певну назву: поліетилен, поліпропілен, лавсан та ін.

Властивості пластмас залежать від складу окремих компонентів, їх поєднання і кількісного співвідношення, що дає можливість змінювати характеристики пластмас в широких межах.

За складом пластмаси можуть бути *простими* та *складними*. До складних пластмас, на відміну від простих, крім в'язучого полімеру, входять один чи декілька складників. *Складниками* пластмас є наповнювачі, стабілізатори, пластифікатори, барвники, твердники, інгібітори, порофори та ін.

Наповнювачі вводять для зміни механічних властивостей пластмас. Бувають порошкоподібні, волокнисті, листові, органічні, неорганічні.

Стабілізатори перешкоджають окисленню та старінню (руйнуванню внутрішньої будови при тривалому використанні) пластмас.

Пластифікатори підвищують еластичність пластмаси.

Барвники надають кольору пластмасі.

Твердники надають полімеру певної твердості та міцності.

Інгібітори перешкоджають твердінню.

Порофори використовують при виробництві газонаповнених пластмас (піноплас).

За характером впливу температури на в'язучий полімер всі пластмаси поділяють на термопластичні (термопласти) та термореактивні (реактопласти).

Термопластичні пластмаси завжди розм'якчуються при нагріванні, що використовується при переробці цих пластмас (поліетилен).

Термореактивні пластмаси після тверднення не здатні розм'якчуватись та при нагріванні залишаються твердими аж до температури згоряння (епоксидні смоли).

2. Термопластичні та термореактивні пластмаси

Поліетилен залежно від умов полімеризації (тиск, температура) буває високого і низького тиску

Поліетилен використовується для виготовлення плівок, труб, електроізоляції, захисту металів від корозії. Піддається старінню.

Поліпропілен має кращі фізико-механічні властивості, ніж поліетилен (міцність сягає до 40 МПа), застосовується для виготовлення труб, конструкційних деталей, корпусів, плівки, волокна, тканин. Піддається старінню.

Полістирол - твердий, жорсткий, прозорий. Старіє, має низьку теплостійкість ($<90^{\circ}\text{C}$). Йде на виготовлення листів, конструкційних деталей автомобіля (з добавкою каучуку для підвищення еластичності).

Фторопласт - 4 - високоеластичний (до температур -259°C), хімічно стійкий, деструкція починається при ($>415^{\circ}\text{C}$, низький коефіцієнт тертя 0,04, повзе при низьких температурах, високоякісний діелектрик, $t_{\text{роб}}$ до 250°C .

З нього виготовляють труби, антифрикційні покриття, плівки, електро- та радіодеталі.

Полівінілхлорид - хімічно стійкий, хороший електроізолятор, не горить, його різновид вініпласт (без пластифікаторів) використовується в будівництві, комунальному господарстві, харчовій промисловості.

Поліуретани - мають високу еластичність, стійкість в атмосфері, $t_{\text{роб}} = -70\dots 150^{\circ}\text{C}$, йдуть на виготовлення плівок, волокон, поролону.

Поліформальдегід - простий поліефір, кристалічний, має високу твердість, пружність, значну ударну в'язкість. З нього виготовляють деталі автомобілів, шестерні, підшипники, деталі конвеєрів.

Терморективні пластмаси – це композити з наповнювачами на основі фенолформальдегідних, фенолальдегідних, поліепоксидних, поліефірних смол та полісилоксанів (кремнійорганічних сполук). Після затвердіння їх фізико-механічні властивості мало змінюються з температурою. В якості наповнювачів, які вводяться до 70%, використовуються:

- порошки (деревне борошно, слюда, кварц, каолін, азбест, сажа);
- волокна (азбест, бавовна, скловолокно, полімерне волокно);
- листи (тканина, склотканина, деревний шпон, папір та ін.).

Пластмаси з волокнистими наповнювачами;

- волокніти - композити з волокнами бавовни;
- азбоволокніти - наповнювачем в азбест, в'язуче - фенолформальдегідна смола, мають підвищену теплостійкість (до 200°C) і коефіцієнт тертя 0,35. З них виготовляють гальма;
- скловолокніти - композити з довгим скловолокном, мають підвищену міцність на розтяг 600... 3500 МПа;
- скловолокніти з коротким волокном - йдуть на виготовлення корпусів, кузовів автомобілів, човнів тощо.

Пластмаси з шаруватими (листовими) наповнювачами.

В якості в'язучого використовують переважно фенолформальдегідні, карбамідні та інші смоли.

Гетинакс - одержують методом пресування листів паперу, просочених смолою. Розрізняють електротехнічний гетинакс (для монтажу електро- та радіосхем) та декоративний гетинакс (для облицювання кабін, вагонів, приміщень).

Текстоліт - одержують пресуванням просочених смолою бавовняних тканин. Розрізняють текстоліти конструкційні (для виготовлення деталей машин, шестерень), електротехнічні та для прокладок.

Деревошаруватий пластик (ДШП). Наповнювачем для нього служить деревний шпон. З нього виготовляють деталі машин, обшивку вагонів, човнів (як водостійка фанера).

Азботекстоліт - містить до 60% азбесту. З нього виготовляють гальма, фрикційні диски, оскільки має високий коефіцієнт тертя 0,3...0,4.

Склотекстоліт - наповнювачем тут служить склотканина. Має високі електроізоляційні властивості, тепло- і морозостійкість. СВАН - скловолокнистий анізотропний матеріал, має дуже високі механічні властивості (міцність, пружність, ударну в'язкість), що досягаються спеціальним формуванням джгутів із скловолокна та їх орієнтованою укладкою.

3. Газонаповнені пластмаси

В'яжучим для них можуть бути як термопласти, так і реактопласти, "наповнювачем" є пори, пустоти, які створюються за допомогою газуючих речовин - порофорів.

Пінопласти мають пори, комірки яких ізольовані одна від одної, використовуються як теплоізолятори, а також звукоізолятори і амортизатори.

Поропласти - губчасті матеріали з порами, що з'єднуються. їх густина та об'єм легко змінюються, $\rho = 20...500 \text{ кг/м}^3$. Використовуються як амортизатори сидінь в авіабудуванні, залізничному транспорті та автомобільній промисловості.

Сотопласти мають порівняно великі пори, що створюються під час їх формування з пластмаси: - термоокіта. Мають високі теплоізоляційні та електроізоляційні властивості та прозорість для радіохвиль. Використовуються для теплоізоляції, обшивки, оздоблення тощо.

4. Синтетичні еластомери, гуми. Клеї та герметики

Гума являє собою сіткоподібний полімер, отриманий вулканізацією каучуку. Гума як технічний матеріал відрізняється від інших матеріалів високими еластичними властивостями, що сполучаються з високим опором розриву, стиранню, газо- і водонепроникністю, хімічною стійкістю, цінними діелектричними властивостями, малою питомою вагою й ін.

Завдяки сукупності технічних властивостей гума знайшла широке застосування в різних галузях промисловості для виготовлення тисяч видів виробів.

Гума використовується для амортизації поштовхів, ударів, коливань, для газонепроникних і гнучких конструкцій, для хімічного захисту деталей машин, для електроізоляції, гумометалевих і гумотканинних деталей, для різних гумових клеїв та багатьох інших цілей.

Залежно від призначення і від технічних вимог в експлуатації гуми поділяють:

- *загального призначення* (застосовують у виробництві шин, ременів, рукавів, транспортерних стрічок, взуття та інших виробів масового застосування);
- *спеціальні* (озоностійкі, морозостійкі, струмопровідні, з підвищеною теплостійкістю, газонепроникністю, електричним опором, стійкі проти дії агресивних хімікатів і рідких середовищ (олія, нафта) та інших спеціальних призначень).

До гум загального призначення відносять матеріали, отримані на основі:

- натурального каучуку (маркують НК)
робоча температура -50... 130 °С, видовження <700 %;
- синтетичного каучуку (маркують СКБ, СКС, СКІ)
робоча температура -48... 130 °С, видовження <600 %; з них виготовляють: паси, труби, транспортні стрічки, ізоляцію. До гум спеціального призначення відносять:
 - бензо- та маслостійкі (маркують СКН, Найріт)
робоча температура -48... 170 °С, видовження <750 %;
 - хімічностійкі (Тіокол, Бутілкаучуки)
робоча температура -70...60 °С, видовження <800 %;
 - тепло- та морозостійкі (маркують СКТ, СКФ, СКД)
робоча температура -75...320 °С, видовження <400 %; з них виготовляють: ущільнюючі деталі, вібро- та звукопоглинаючі деталі, фрикційні деталі, теплоелектроізоляцію.

Клеями називають колоїдні розчини плівкоутворюючих полімерів, що здатні і при твердненні утворювати міцні плівки, які добре прилипають до поверхонь різних матеріалів.

До складу клеючих матеріалів входять такі компоненти:

- *плівкотвірна речовина* - основа клею, яка визначає адгезійні, когезійні та основні фізико-механічні характеристики клейового з'єднання;
- *розчинники*, що створюють певну в'язкість клею;
- *пластифікатори* - для усунення усадочних явищ в плівці і підвищення еластичності;
- *твердники і каталізатори* — для переводу плівкоутворюючої речовини в термостабільний стан;
- *наповнювачі* — для зменшення усадки клейової плівки, підвищення міцності склеювання.

Клейові матеріали бувають;

1. Спеціального призначення, що виявляють вибірккову адгезію до певних матеріалів;
2. Універсальні клеї, що характеризуються адгезією до різних матеріалів;
3. Розчинники, що здійснюють процес склеювання за рахунок розчинення поверхні матеріалів, що склеюються.

За призначенням клеї можна розділити на наступні групи:

1. Для склеювання металів і пластмас, а також металів з неметалічними матеріалами застосовують універсальні клеї БФ-2, БФ-4, карбонільний клей, а також клеї марок ПУ-2, ПК-5, ВК-32-200, УК-32-3М, Л-4, ВР-10Т.
2. Для склеювання гуми і гуми з металом застосовуються клеї лейконат, термопрен, БФ-10, марки 88-Н,4508 та ін.
3. Для склеювання шаруватих пластиків (текстоліту, гетинаксу) пінопластів, а також деревини застосовують смоляні клеї ВІАМ-Б-3, КБ-3, ЦНИПС-2, ДО-17, казеїновий авіаційний У-105, і ін.
4. Для приклеювання тканин до дерева застосовується нітроклеї АК-20, до дерева і металу - перхлорвініловий клей КВК-2а, для приклеювання

теплозвукоізоляційних матеріалів до металу, алюмінієвої фольги та прогумованої тканини застосовують клей гліфталевий АМК.

5. Для склеювання органічного скла і приклеювання до нього інших матеріалів застосовують клей марок ВК-32-70, В-31-Ф9 та ін.

Герметиками називають матеріали, основне призначення яких — ущільнення стиків між різними деталями конструкцій з метою надання їм водо-, паро- та повітронепроникності. Найкращими герметиками є матеріали на основі полімерів. Залежно від способу ущільнення стику герметики можна поділити на пористі прокладки, профільовані ущільнювачі, мастики та обклеювальні плівки.

Достатньо поширеними герметиками є акриловий, поліуретановий, каучуковий, силіконовий (кислотний, нейтральний), бітумний, полісульфідний, полібутановий.

Акриловий герметик здатен надійно працювати в інтервалі температур 20...75°C, добре піддається фарбуванню, має високу адгезію до різних будівельних матеріалів. Недоліки низька водостійкість, підвищена усадка, низька стійкість до дії ультрафіолетових променів. Тому його застосовують тільки для внутрішніх робіт.

Поліуретановий герметик характеризується високою міцністю, зносостійкістю, стійкістю до дії кислот, мастил, бензину, має високу адгезію до скла, металів, кераміки. Застосовують його у шляхобудуванні, для ущільнення стиків конструкцій підземних переходів, тунелів.

Каучуковий герметик (У-30М, УТ-31) має високу еластичність, стійкий до розтягу вальних напружень, дії ультрафіолетових променів та інших атмосферних факторів. Теплостійкість - 25...100°C. Після затвердіння його можна фарбувати. Має високу адгезію до бетону, скла, кераміки, природного каменю, деревини.

Кислотний і нейтральний силіконові герметики є діелектриками, що відрізняються від інших термостабільністю (-60...200°C), високою адгезією та підвищеною хімічною стійкістю, практично не мають усадки.

Кислотні силіконові герметики поділяють на універсальні та санітарні. Санітарний герметик містить у своєму складі антисептик, і тому його доцільно використовувати у кухнях, сантехнічних приміщеннях.

Нейтральний силіконовий герметик має високу адгезію до непористих поверхонь, є без усадочним, і його можна використовувати в будь-яких приміщеннях і на будь-яких поверхнях при виготовленні склопакетів, для ремонту термошвів, крім мармуру.

Бітумний герметик дуже еластичний, має високу водостійкість і водонепроникність та адгезію до бітумних матеріалів, бетону, каменю, деревини, металів, скла. Застосовується для потреб дорожнього будівництва, герметизації щілин і швів покрівлі.

5. Силікатні матеріали. Деревина

Цементом називають порошкоподібний матеріал, що складається з окисів кальцію, кремнію, алюмінію, заліза та інших компонентів, який у поєднанні з водою утворює тістоподібну масу, а при твердненні - міцний цементний камінь.

У народному господарстві широко використовують портландцемент, шлакопортландцемент, пуцолановий портландцемент, швидкотверднучий портландцемент, сульфатостійкий, пластифікований та гідрофобний портландцемент, портландцемент для виробництва азбоцементних виробів, цементи з мікронаповнювачами, шлакові і тампонажні цементи, розширювальні цементи, білий, кольоровий та інші цементи.

Для виготовлення цементів використовують портландцементний клінкер. Його отримують випалюванням при 1300...1500 °С сировини, яка складається з вапняку, крейди, мергелю, глини та залізовмісних недогарків. Після випалювання клінкер розмелюють з додаванням вапняку, гіпсу, до 15 % пуцоланових речовин (трепелу, опоки та ін.), до 15 % доменного.

Бетонними сумішами називають суміші з цементу, води і наповнювачів (пісок, щебінь), а суміш, що затверділа, називають **бетоном**. Бетон, армований сталлю, називають **залізобетоном**.

У бетонах співвідношення за масою між цементом і наповнювачем може змінюватись від 2 до 10. На кубометр бетону витрачається від 200 до 600 кг цементу. Водоцементне відношення коливається від 0,3 до 8.

Міцність портландцементного бетону залежить від температури і вологості середовища.

Деревину широко застосовують у будівництві завдяки її значному поширенню та високим будівельно-технологічним властивостям: значній міцності при розтягу та стиску, невеликій густині, низькій теплопровідності, технологічності при обробці, гарному зовнішньому вигляду.

Деревина як будівельний матеріал має й ряд недоліків: неоднорідність будови і, відповідно, властивостей, гігроскопічність, займистість, здатність до гниття тощо. Частину цих недоліків можна подолати технічними заходами.

Список використаних джерел

1. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін.; За ред. М.А. Сологуба. – К.: Вища шк., 2016. – 300 с.
2. Сушко О.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2015. – 232.: іл.
3. Опальчук А.С., Котречко О.О., Роговський Л.Л. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства: Навч. Посібник / За ред. А.С. Опальчука. – к.: Вища освіта, 2016. – 287 с.: іл
4. Пахолюк А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А. П. Пахолюк, О. А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2015. – 172 с., іл.
5. Металознавство: підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко [та ін.]; - 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : ІВЦ Видавництво “Політехніка”, 2015. – 384 с.
6. Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. – Львів: Світ, 2016. – 624 с.: Іл.
7. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко [та ін.]. - К. : Либідь, 2015. - 328 с.
8. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков; за ред. проф. С. С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2017. - 440 с.

Конспект лекцій[Текст] : Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство для здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня «фаховий молодший бакалавр» освітньо-професійної програми «Автомобільний транспорт» галузь знань 27 Транспорт спеціальності 274 Автомобільний транспорт денної та заочної форми навчання / укладач Н.Л. Дудич - Луцьк : ТФК Луцького НТУ, 2021. - 120 с.

Комп'ютерний набір та верстка

Н.Л. Дудич

Редактор

Н.Л. Дудич

Підп. до друку «__» _____ 2021 року. Формат 60x84/16. Папір офс.

Гарн. Таймс . Ум.друк. арк. 2,5.

Тираж 40 прим.

Відділ іміджу та промоції

Луцького національного технічного університету

43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Друк – ВІП Луцького НТУ