

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

**АНТОНОВА Г.В.
ВЕРШКОВ О.О.
ЧАПЛІНСЬКИЙ А.П.**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО.
ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Частина II. «Технологія конструкційних матеріалів»

Навчальний посібник

Запоріжжя
2024

УДК 531(075.8)
А72

Рекомендовано Вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
(Протокол № 11 від 28.06.2024 р)

Рецензенти:

Веселовська Н.Р., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету

Єрошенко А.М., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Технологія машинобудування та деревообробки» Національного університету «Чернігівська політехніка».

Скляр О.Г., кандидат технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри «Експлуатація та технічний сервіс машин», Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Антонова Г. В., Вершков О.О., Чаплінський А.П.

А72 Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів. Частина II. «Технологія конструкційних матеріалів»: навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 208 «Агроінженерія». Запоріжжя, 2024. 242 с.

Пропонований посібник містить основні теоретичні відомості та методичні вказівки щодо виконання практичних робіт та індивідуального розрахункового завдання з розділу «Технологія конструкційних матеріалів» дисципліни «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів». Для перевірки отриманих знань запропоновано контрольні тестові завдання.

Використання здобувачами матеріалів, викладених у посібнику, дасть їм змогу не тільки оволодіти загальнопрофесійними компетенціями, а й цілеспрямовано підготуватися до успішного складання екзамену з дисципліни «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів».

Кожен розділ містить необхідні контрольні тести для самоперевірки знань.

© Антонова Г.В. , 2024

© Таврійський державний
агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	5
МОДУЛЬ 1 МЕТАЛУРГІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО	6
ТЕМА 1. ОТРИМАННЯ ЧАВУНУ. ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ. ОТРИМАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ	6
1.1 Підготовка руди до доменної плавки	7
1.2 Пристрій і робота доменної печі	9
1.3 Виробництво сталі	13
1.4 Отримання кольорових металів	16
Контрольні питання	22
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ТА ПРОДУКТИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА	23
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 1	39
ТЕМА 2. ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО	45
2.1 Лиття в піщано-глинисті форми	45
2.2 Спеціальні методи лиття	51
Контрольні питання	62
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКИ В ПІЩАНО- ГЛИНИСТИХ ФОРМАХ	
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 2	74
ТЕМА 3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ	79
3.1 Пластична та пружна деформація	79
3.2 Холодна і гаряча обробка тиском	80
3.3 Нагрівання металу перед обробленням тиском	83
3.4 Процеси обробки металів тиском	85
3.5 Прокатка	86
3.6 Пресування	91
3.7 Волочіння	93
3.8 Вільне кування	94
3.9 Гаряче об'ємне штампування	99
3.10 Листове штампування	101
Контрольні питання	106

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВІЛЬНОГО КУВАННЯ	107
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 3	122
МОДУЛЬ 2. ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО	127
ТЕМА 4. ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО	127
4.1 Електричне дугове зварювання плавленням	130
4.2 Зварні з'єднання і шви	134
4.3 Металургійні процеси під час зварювання	139
4.4 Вольт-амперна характеристика зварювальної дуги	140
4.5 Джерела живлення зварювальної дуги	142
Контрольні питання	151
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ	151
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 4	166
ТЕМА 5. ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО (продовження)	170
5.1 Автоматичне зварювання під флюсом	170
5.2 Плазмове зварювання та різання металів і сплавів	172
5.3 Газове зварювання та різання металів і сплавів	178
Контрольні питання	187
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ МЕТАЛІВ	188
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 5	213
ТЕМА 6. ПАЯННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ	219
6.1 Сутність процесу паяння	219
6.2 Припої та флюси	222
6.3 Способи пайки	223
6.4 Типи паяних з'єднань	225
6.5 Лудіння	226
Контрольні питання	227
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6. ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПАЯНИХ ШВІВ ПІД ЧАС ПАЯННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИПОЇВ І ФЛЮСІВ РІЗНИХ МАРОК	227
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 6	236
ВИСНОВОК	241
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	242

ВСТУП

Навчальний посібник призначений для вивчення другої частини дисципліни «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів» (а саме «Технологія конструкційних матеріалів», розділ «Гаряча обробка металів») здобувачами, які навчаються за спеціальністю 208 Агроінженерія.

Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів є наукою про будову, властивості та технологію створення матеріалів. Ця галузь знань належить до основоположних інженерних дисциплін, оскільки виготовлення традиційних і розробка нових матеріалів, вивчення їхніх властивостей і способи їхньої обробки є основою сучасного виробництва.

Достатній рівень знань у галузі матеріалознавства та технології матеріалів є важливим показником освіченості фахівців у галузі агроінженерії.

Дисципліна має ціль формування загальнопрофесійних компетентностей випускника – здатність розв'язувати типові задачі професійної діяльності на основі знань основних законів математичних і природничих наук із застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій, реалізовувати сучасні технології та обґрунтовувати їхнє застосування у професійній діяльності.

В результаті вивчення другої частини курсу «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів» здобувач повинен знати технології формоутворення та обробки заготовок для виготовлення деталей заданої форми та якості, їхні технологічні особливості, уміти обирати раціональні технології одержання заготовок, виходячи із заданих експлуатаційних властивостей, володіти методикою вибору технологій виготовлення елементів машин і механізмів, які використовуються в сільськогосподарському машинобудуванні.

У пропонованому навчальному посібнику подано основний теоретичний матеріал, розрахункова та практичні роботи з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів».

Під час вивчення розділу «Гаряча обробка металів» передбачено знайомство з устаткуванням і матеріалами, що застосовуються в металургії, ливарному, зварювальному виробництвах, обробці металів тиском, а також придбання студентами навичок опрацювання та оформлення отриманих даних. Окремий розділ присвячено металургійному виробництву. У ньому описано методи отримання чорних і кольорових металів і сплавів, які найширше застосовують у сільськогосподарському машинобудуванні.

У посібнику наведено методичні вказівки щодо виконання індивідуального розрахункового завдання з проектування технологічного процесу ручного дугового зварювання.

Для перевірки отриманих знань за кожним із розділів запропоновано контрольні запитання та зразки тестових завдань для поточного контролю за всіма розділами дисципліни.

МОДУЛЬ I. МЕТАЛУРГІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО

ТЕМА 1. ОТРИМАННЯ ЧАВУНУ. ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ. ОТРИМАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

План

- 1.1 Підготовка руди до доменної плавки.
- 1.2 Пристрій і робота доменної печі.
- 1.3 Виробництво сталі
- 1.4 Отримання кольорових металів

Металургійне виробництво (МП) виникло на зорі розвитку людського суспільства. Такі метали, як залізо, мідь, срібло, золото, свинець, олово, знаходили широке застосування ще до нашої ери.

Сучасне виробництво чорних металів являє собою комплекс таких промислових підприємств:

- ◆ - шахти з видобутку руд і кам'яного вугілля;
- ◆ - гірничо-збагачувальні комбінати;
- ◆ - коксохімічні заводи;
- ◆ - енергетичні цехи для отримання кисню, стисненого повітря (дуття) і очищення газів;
- ◆ - доменні цехи для виплавки чавуну; заводи феросплавів;
- ◆ - сталеплавильні цехи (конвертерні, мартенівські, електросталеплавильні);
- ◆ - прокатні цехи.

Сучасне металургійне виробництво засноване на глибоких теоретичних дослідженнях, на великих відкриттях, зроблених у різних країнах світу, і на багатому практичному досвіді.

Всесвітню популярність у галузі металургії здобули такі вчені, як Б.Є. Патон, І. М. Францевич, П.П. Аносов, Д.К. Чернов, А.А. Байков, І.П. Бардін, А.А. Бочвар, М.С. Курнаков та ін.

Серед зарубіжних вчених необхідно відзначити Ф. Осмонда, А. Ле Шательє (Франція), У. Робертса-Остена (Англія), Е. К. Баррета (США), Е. Мартенса (Німеччина) та ін.

До вихідних продуктів металургійного виробництва належать так звані сирі матеріали, які є корисними копалинами (видобуваються в шахтах).

До сирих матеріалів МП насамперед належать:

- руди;
- паливо;
- флюси.

Руда - це гірська порода або мінеральна речовина, з якої за такого рівня розвитку техніки економічно доцільно витягувати метали або їхні сполуки. Доцільність визначається насамперед концентрацією металів у мінералах (рудах).

Бракувальна границя (%) різна навіть для одного й того самого металу: Fe = 20...60; Cu = 1...3; Ni = 0,3...1,0; Mo = 0,005...0,020, тобто залізню руду доцільно переробляти із вмістом заліза не менш як 20 %, а молібден доцільно вилучати з руди із вмістом металу всього лише 0,005 %.

1.1 Підготовка руди до доменної плавки

У доменну піч завантажують не сирі вихідні матеріали (руду і вугілля), а шихту, що складається з двох компонентів: *офлюсованого залізорудного концентрату* і *коксу* [1,2,3].

Підготовка залізної руди полягає в сортуванні, дробленні, збагаченні, окускуванні та усередненні. Ці підготовчі операції проводяться на гірничо-збагачувальних комбінатах з використанням спеціальної технології та складного обладнання.

Крупність окремих шматків руди досягає 1000...1200 мм. Для доменної плавки розмір шматків має бути в межах 40...100 мм, для агломерації 6...10 мм, а для збагачення і того менше (до 0,1 мм).

Дроблення руди може бути виконано такими способами, схематично показаними на рисунку 1.1.

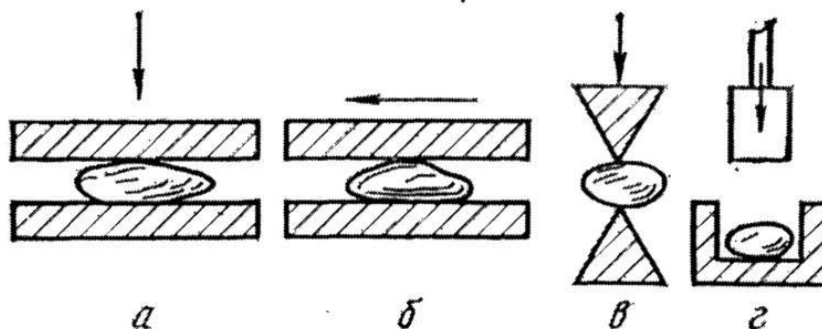


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення основних способів дроблення:
а - роздавлювання; б - стирання; в - розколювання; г - удар

На основі цих способів сконструйовані складні механізми:

- ◆ щоквадратна дробарка;
- ◆ конусна дробарка;
- ◆ кульовий млин;
- ◆ стрижневий млин тощо.

Дроблення може бути основною операцією або підготовчою (для збагачування руд).

Під збагаченням руд розуміють процес обробки з метою підвищення вмісту корисного компонента і зниження вмісту шкідливих домішок шляхом відділення рудного мінералу від порожньої породи. Усі застосовувані на практиці способи збагачення руд здебільшого є по суті механічною обробкою. Найпоширенішими способами є:

- ◆ промивка;

- ◆ флотація;
- ◆ гравітаційне збагачення;
- ◆ магнітне збагачення.

Порожня порода в залізних рудах складається здебільшого з оксидів SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , які перебувають у різних сполуках.

Для доменної плавки бажано, щоб співвідношення CaO SiO_2 MgO Al_2O_3

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \approx 1, \quad (1.1)$$

Така руда називається самоплавкою і не потребує додавання флюсів, що буває дуже рідко. Найчастіше це співвідношення менше 1, тобто порожня порода є кислою і потребує додавання флюсів.

Флюси - це речовини, які вводять у доменну піч для переведення порожньої породи рудного концентрату і золи коксу в шлак необхідного хімічного складу, що має певні властивості (низька температура плавлення і рідинна текучість). Температура плавлення шлаку перебуває в межах 1450...1600 °C.

Як флюс в основному використовується вапняк CaCO_3 або доломітизований вапняк ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$).

Крім таких операцій, як дроблення і збагачення, підготовка до доменної плавки містить *усереднення і окускування*.

Усереднення має важливе значення. Неоднорідність хімічного і гранулометричного складу шихти вкрай негативно впливає на показники роботи доменних печей.

Особливо важливе значення має сталість вмісту заліза. Під час підготовки шихти рекомендується стежити, щоб відхилення за вмістом заліза в порціях, що завантажуються, не перевищувало + 0,5 % від середнього його вмісту.

Окускування - це процес перетворення дрібних залізорудних матеріалів на кускові матеріали необхідних розмірів.

Для підготовки руди до доменної плавки широко застосовують два способи окускування: *агломерацію і окатування*.

Агломерація - процес окускування подрібненої руди, збагаченого концентрату і колошникового пилу спіканням внаслідок спалювання палива в шарі матеріалу, що спікається або підведення високотемпературного тепла ззовні. У спіклий матеріал додають флюс, у процесі агломерації вигорає сірка, видаляють миш'як (але не фосфор), і в результаті агломерації отримують пористий офлюсований концентрат.

Процес отримання окатишів складається з трьох стадій:

- ▶ отримання сирих окатишів;
- ▶ зміцнення отриманих окатишів (підсушування при 300...600 C);
- ▶ випал при температурі 1200...1350 C.

1.2 Пристрій і робота доменної печі

Доменна піч являє собою вертикально розташовану споруду, виготовлену зі сталі і вогнетривких матеріалів (рисунок 1.2) [1,2,3,7].

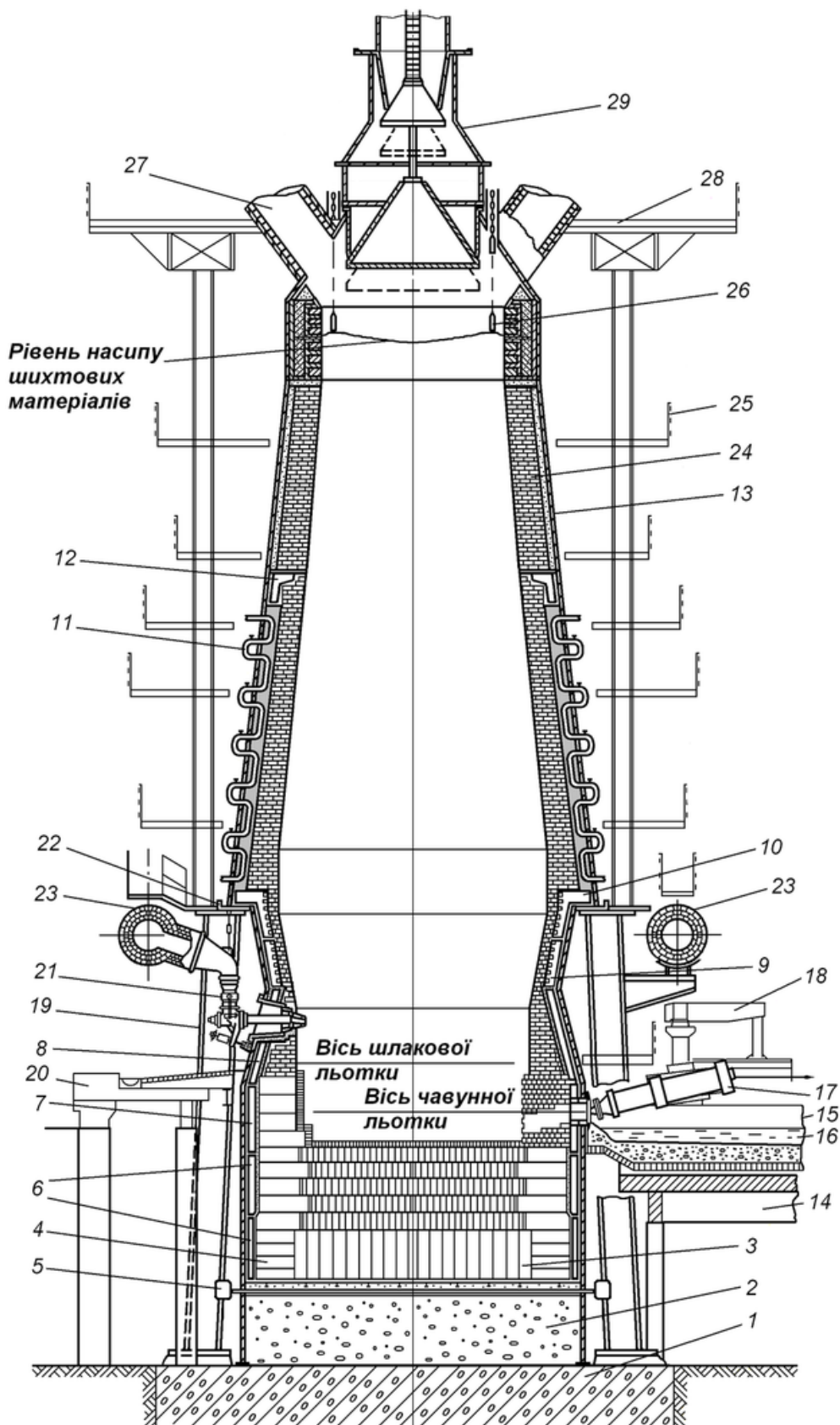


Рисунок 1.2 – Схема доменної печі шахтного типу:

- 1 – нижня частина фундаменту, 2 – «пеньок», верхня частина фундаменту, 3 – графітовані блоки, 4 – вуглецеві блоки, 5 – система охолодження дна, 6 – подові холодильники, 7 – ряд горнових холодильників, 8 – холодильники фурменної зони, 9 – ряд холодильників заплечиків, 10 – верхній ряд холодильників заплечиків, 11 – система охолодження шахти печі – кілька рядів холодильників або залиті у бетон водоохолоджувані труби, 12 – горішній ряд холодильників, на які спирається мурування неохолоджуваної частини шахти печі, 13 – кожух печі, 14 – ливарний двір, 15 – головний жолоб, 16 – продукти плавки – чавун і шлак – у головному жолобі, 17 – гармата, підведена до льотки, 18 – машина для розкриття чавунної льотки у вихідному положенні, 19 – колони, на які спираються шахта печі і металоконструкції по шахті печі і колошниковий пристрій, 20 – майданчик фурменної зони, 21 – пристрій для подачі дуття у доменну піч, 22 – мараторне кільце, 23 – кільцевий повітропровод, 24 – неохолоджувана частина шахти печі, 25 – перехідні майданчики на різних горизонтах печі, 26 – ланцюгові зонди, 27 – газовідводи, 28 – колошниковий майданчик, 29 – завантажувальний пристрій.

Висота власне доменної печі становить від 20 до 33,5–35 м, при цьому, висота всіх металоконструкцій найбільших доменних печей разом з колошниковим пристроєм і газовідводами може сягати до 100–130 м.

Доменна піч споруджується на фундаменті, що призначений для рівномірної передачі тиску печі з завантаженими у неї сирими матеріалами на ґрунт. Він несе великі навантаження. Вага доменної печі об'ємом 5000 м³ (найбільша в Україні), заповненої шихтою, сягає 440 кН, а з врахуванням можливих динамічних ударів при обваленні завислих матеріалів – до 490 кН. Фундамент поділяється на дві частини – верхню, надґрунтову, що зветься пнем, і нижню, що зветься підшоною. При слабкому ґрунті фундамент можуть спирати на штучні основи, наприклад на палі. Верхня частина фундаменту робиться з жароміцного бетону, бо фундамент доменної печі зазнає інтенсивного теплового впливу.

На горизонтальну поверхню верхньої частини фундаменту кладуть вогнетривке мурування дна горна – під.

Для доступу до різних ділянок печі навколо неї на різних горизонтах по всій висоті встановлюються перехідні майданчики.

Доменна піч ззовні поміщається у металевий кожух, зроблений зварюванням між собою вальцьованих листів з високоміцної сталі. Товщина кожуха поду і горна становить 30–40 мм, заплечиків – 30–50 мм, шахти, колошника і купола печі – 22–45 мм. На печах об'ємом до 3000 м³ кожух поду, горна і заплечиків спирається на фундамент. Кожух шахти спирається на колони, для чого його нижня частина закінчується опорним кільцем (маратором). Опорне кільце підтримує кожух і вогнетривке мурування шахти й передає навантаження від конструкцій верхньої частини печі на колони. На печах об'ємом понад 3000 м³ мараторне кільце відсутнє і колошниковий

пристрій спирається на шість колон або на шатро будівлі ливарного двору.

Нижня частина колон, на які спирається кожух шахти печі, кріпиться до фундаменту печі. На печах встановлюють чотири опорних колони. Для надання більшої стійкості й кращого доступу до горна колони встановлюють з певним нахилом.

Зсередини доменна піч футерується вогнетривким муруванням. Для футерування доменної печі використовують шамотну, високоглиноземисту і вуглецеву цеглу.

Для зменшення руйнування вогнетривкого мурування між кожухом і муруванням встановлена система охолодження. По периметру до кожуху кріпляться плитові або горизонтальні холодильники. Плитові холодильники являють собою металеву плиту з чавуну з розташованим у ній зміяком зі сталевих безшовних труб, по якому циркулює вода. Шахта печі на 2/3 висоти охолоджується вертикальними холодильниками або рядами труб, залитих у бетон стінок шахти. Для охолодження шахти печі використовують систему випарювального охолодження.

Для доступу до різних ділянок печі і обладнання, вона зовні оточується перехідними майданчиками.

У нижній частині доменної печі в її стінці і муруванні робляться спеціальні отвори для періодичного випуску рідких продуктів плавки – чавуна і шлаку – чавунні і шлакова льотки. На доменних печах великого об'єму встановлюють чотири чавунних льотки.

У верхній частині горна на фурменній зоні розташовуються фурменні прилади, через які у доменну піч подається нагріте повітря – дуття. Саме в цій ділянці печі відбувається горіння коксу і температури досягають найбільшого значення 1900–2000 °С. У міру підвищення вгору температура знижується, і у колошника доходить до 200–350 °С.

Колошник циліндричної форми служить для завантаження печі шихтою, доменний (колошниковий) газ видаляється через газовідводи 27. Офлюсований залізорудний агломерат і кокс (шихта) подаються на колошник через засипний апарат 29.

Шахта печі являє собою конус, що розширюється донизу, що забезпечує вільне переміщення шихти зверху вниз у міру її розплавлення. У розпарі шихта плавиться, і об'єм її зменшується, в заплечиках утворюється губчасте залізо. Заплечики, що мають форму усіченого конуса, звужуються донизу. Це необхідно для утримання шихти в розпарі та шахті. Губчасте залізо краплями стікає в горн, у процесі переміщення воно насичується вуглецем.

Циліндричний горн складається з двох зон: верхньої (фурменної) 20 і нижньої (металоприймач).

У верхній частині горна розташовані фурми 20, в які подається нагріте повітря (1200 °С), збагачене киснем (30 %). У фурми може подаватися газоподібне, рідке або пилоподібне паливо для економії коксу.

Днище горна називається *лещаддю*. На рівні лещаді розташовані

чавунна льотка 16, вище - шлакова льотка.

Лещадь спирається на фундамент, який складається з двох частин - нижньої підземної, званої *підшовою*, і верхньої, званої *пнем*.

Підшову виконують із бетону, а пень із жаротривкого бетону. Фундамент роблять у вигляді восьмикутної плити, товщиною близько 4 метрів. Кут нахилу шахти в сучасних печах становить 83...85°, а кут нахилу заплічників становить 79...81°. Висота заплічників становить 3...3,5 м.

В Україні у 2008 році були 43 доменні печі, станом на 1 вересня 2010 року було 36 доменних печей, з них в експлуатації перебувала 31 доменна піч (з початком війни на сході України в окупованій зоні опинилися 9 доменних печей).

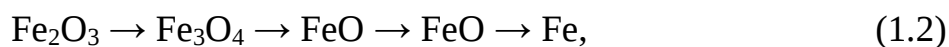
Однією з найважливіших характеристик доменної печі є її корисний об'єм, від якого за всіх інших рівних умов залежить продуктивність печі. Найменші доменні печі мають об'єм у кілька сотень кубічних метрів. Найбільша у світі доменна піч має об'єм 6000 м³, вона розташована на Кван'янському металургійному комбінаті (Південна Корея). Найбільшою в Україні доменною піччю є доменна піч № 9 заводу «Криворіжсталь», що має об'єм 5034 м³, була найбільшою у світі.

У верхній частині печі над колошником розташований завантажувальний пристрій 1. Шихту завантажують у піч окремими порціями - колошами.

Зазвичай завантаження шихти здійснюється пошарово: шар агломерату, шар коксу тощо.

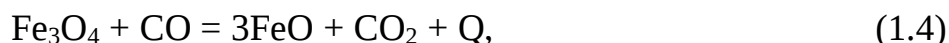
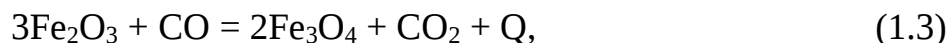
У доменній печі відбувається зустрічний рух і взаємодія двох потоків: зверху рухається шихта, а знизу - потік газів, що утворюються внаслідок згоряння палива в зоні фурм. Доменний процес є відновлювальним процесом. Його сутність полягає у відновленні заліза з оксидів з подальшим його вуглецюванням.

Відновлення оксидів відбувається ступінчасто за схемою:



Головну роль у відновленні заліза з оксидів відіграє окис вуглецю (CO).

Відновлення оксидів заліза окисом вуглецю протікає за температури 570 °С за такими реакціями:



Основними техніко-економічними показниками доменної плавки є:

- коефіцієнт використання корисного об'єму печі (КВКО);

- питома витрата коксу (K):

$$K_{ВКО} = \frac{V}{P}, \quad (1.6)$$

де V - корисний об'єм печі, м³;

P - добова продуктивність печі, т.

Чим краще працює піч, тим менший показник K_{ВКО}.

Питома витрата коксу визначається зі співвідношення:

$$K = \frac{A}{P}, \quad (1.7)$$

де A - витрата коксу за добу.

Питома витрата коксу є важливим показником роботи доменної печі, оскільки вартість коксу становить близько 50 % вартості чавуну.

Поліпшення техніко-економічних показників роботи доменних печей досягається шляхом удосконалення їх конструкції, збільшення корисного об'єму, кращої підготовки шихтових матеріалів.

Головною продукцією доменного виробництва є чавуни.

Чавуни поділяють на:

- ◆ передільні;
- ◆ ливарні;
- ◆ спеціальні.

Передільні чавуни призначені в основному для сталеплавильного виробництва. Вміст вуглецю в цих чавунах становить 4,0...4,4 %.

Ливарні чавуни використовують на машинобудівних заводах при виробництві фасонних виливків. Це звичайні чавуни (маркування Л) і рафіновані магнієм (ЛР), вони містять кремній у межах 2,75...3,25 %.

Спеціальні чавуни, або **феросплави**, застосовуються для розкислення і легування сталей. До них належать сплави заліза з кремнієм, марганцем і хромом.

Побічними продуктами доменної плавки є шлак і колошниковий газ. Зі шлаку виготовляють шлаковату, цемент, цеглу. Колошниковий газ після очищення використовують як паливо для повітрянагрівачів доменних печей.

1.3 Виробництво сталі

Вихідними матеріалами для отримання сталі слугує перероблений чавун, сталевий брухт і феросплави [1,2,3].

Сталь відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю, кремнію, марганцю, домішок сірки і фосфору.

Тому основне завдання переділу чавуну на сталь полягає в зниженні

вмісту вуглецю та інших елементів за допомогою окислювальних процесів, що відбуваються в сталеплавильних агрегатах.

Нині сталь отримують у кисневих конвертерах, мартенівських і електричних печах.

В основі конвертерних процесів лежить обробка рідкого чавуну газоподібними окислювачами без підведення ззовні додаткового тепла. Процес виплавки сталі здійснюється тільки за рахунок хімічної теплоти екзотермічної реакції окислення домішок з урахуванням фізичної теплоти рідкого чавуну. Продування чавуну киснем проводиться зверху або через днище в спеціальних агрегатах-конвертерах. Нині обсяг виплавленої киснево-конвертерної сталі становить 35 % від загального обсягу її виробництва.

Мартенівська піч є полум'яною регенеративною піччю. У робочому просторі печі спалюється газоподібне або рідке паливо. Необхідна висока температура для отримання сталі в рідкому стані забезпечується за рахунок регенерації тепла газів, що відходять.

Після розплавлення шихти починається кипіння ванни, в процесі якого інтенсивно окислюється вуглець. У момент, коли вміст вуглецю досягає заданого значення, а кількість сірки і фосфору зменшується до мінімуму, кипіння припиняють і починають розкислення сталі феромарганцем, феросиліцієм і алюмінієм.

На даний час у металургії відбувається поступове витіснення мартенівського процесу киснево-конвертерним і електросталеплавильним.

Електросталеплавильний процес є більш досконалим, ніж киснево-конвертерний і мартенівський, тому він знаходить дедалі більше застосування.

Порівняно з іншими плавильними агрегатами електropечі володіють низкою переваг: здатністю швидкого нагрівання і підтримання заданої температури в межах до 2000 °С, можливістю створення окислювальної, відновлювальної або нейтральної атмосфери, а також вакууму. В електричних печах виплавляють високоякісні конструкційні, інструментальні, корозійностійкі, жаростійкі та інші спеціальні сталі і сплави.

Для виплавки сталі застосовують дугові та індукційні електричні печі. Ємність найбільш широко застосовуваних дугових печей коливається в межах від 0,5 до 360 т. Печі середньої і більшої місткості зазвичай використовують на металургійних заводах для отримання злитків, а печі малої місткості - на машинобудівних підприємствах для отримання сталевих виливків.

Дугова плавильна електроніч (рисунки 1.3) живиться трифазним змінним струмом і має три циліндричні електроди 9 з графітизованої маси. Електричний струм від трансформатора онстями 7 підводиться до електродвигунів, а через них - до електродів 9 і ванни металу. Між електродами та металевою шихтою 3 виникає електрична дуга, яка є

джерелом тепла. На електроди подається струм напругою 200...600 В і силою струму 1...10 кА. Під час роботи печі довжина дуги регулюється автоматично вертикальним переміщенням електродів. Сталевий кожух 4 печі футерований вогнетривкою цеглою 1 (кислою або основною). Подину 12 печі набивають вогнетривкою масою. Плавильний простір обмежений стінками 5, подиною 12 і склепінням 6 з вогнетривкої цегли. Для управління ходом плавки є робоче вікно 10 і лютка для випуску готової сталі по жолобу 2 в ківш.

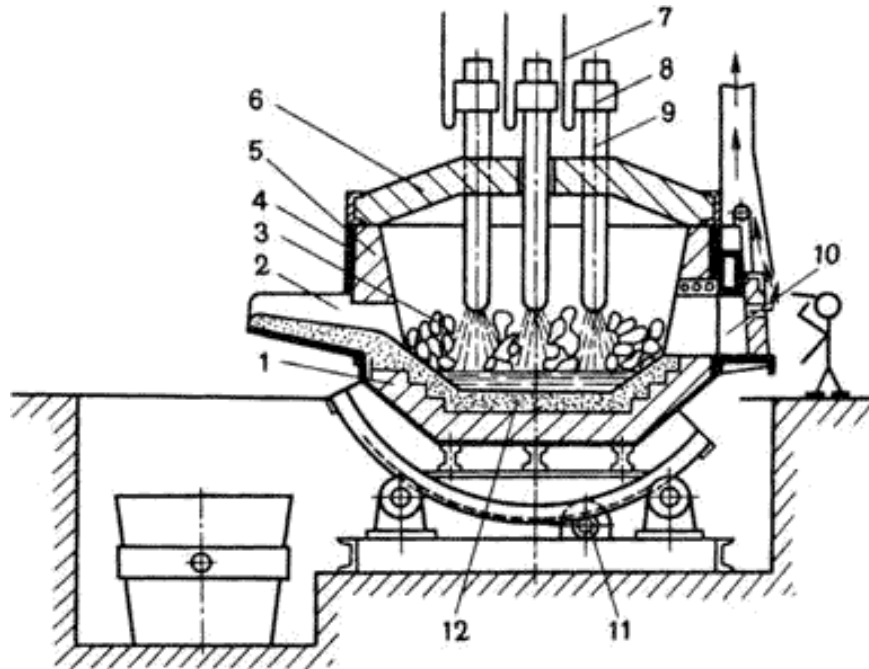


Рисунок 1.3 - Схема електричної дугової плавильної печі

Піч завантажують при знятому склепінні (є конструкції печей з поворотним склепінням). Механізмом 11 піч може нахилитися в бік завантажувального вікна і лютки.

Зазвичай для плавки сталі в дугових електричних печах застосовують шихтові матеріали у твердому стані. Шихта складається зі сталевих брухту, чавуну, залізної руди, флюсів, феросплавів. Як флюси в основних печах застосовують вапно, у кислих печах - кварцовий пісок.

У процесі плавки беруть проби металу і шлаку, доводять сталь до заданого хімічного складу. Для повного розкислення сталі наприкінці плавки додають алюміній і феросиліцій. При виплавці легованих сталей вводять легувальні добавки.

З метою інтенсифікації процесу плавки в електродугових печах сталь продувають киснем для окислення домішок, що дає змогу підвищити продуктивність печей на 20...30 %. Основними техніко-економічними показниками роботи дугових електропечей є продуктивність і собівартість злитків.

1.4 Отримання кольорових металів

У сільськогосподарському машинобудуванні та ремонтному виробництві найбільше застосування серед кольорових сплавів знаходять сплави на основі міді та алюмінію. Тому розглянемо загальні поняття технології отримання цих металів.

Отримання міді

Для отримання міді застосовують мідні руди, а також відходи міді та її сплавів (брухт).

В рудах мідь зазвичай міститься у вигляді сірчистих сполук, оксидів або гідрокарбонатів.

Найбільше промислове застосування мають сульфідні руди (CuFeS_2 ; Cu_2S ; CuS), які містять 1...6 % міді. Гірську породу, що містить менше 0,5 % Cu , не переробляють, оскільки за сучасного рівня техніки і технології вилучення з неї міді нерентабельне. У невеликих кількостях трапляються так звані самородні руди, в яких мідь перебуває у вільному стані.

Більшість мідних руд збагачують способом флотації. Флотація заснована на спливанні в розчині мідьвмісних частинок руди. Мінерали, що флотуються, під впливом хімічних реагентів набувають здатності не змочуватися водою і, прилипаючи до бульбашок повітря, що проходять, піднімаються з ними вгору у вигляді піни. Надалі спливі частинки збирають, сушать і отримують концентрат, що містить 20...30 % міді.

Відомі два способи вилучення міді з руд і концентратів: *пірометалургійний* і *гідрометалургійний*, який не знайшов широкого застосування.

Пірометалургійний спосіб придатний для переробки всіх руд і особливо ефективний у тому випадку, коли руди піддають збагаченню [7].

Виробництво міді складається з таких основних стадій:

- ◆ - випал руд і концентратів;
- ◆ - отримання мідного штейну;
- ◆ - отримання чорної міді;
- ◆ - рафінування міді.

Мета випалу полягає в максимальному зниженні вмісту сірки в руді.

При випалюванні в «киплячому шарі» (рисунк 1.4) подрібнену руду або концентрат подають транспортером 1 у бункер 2, звідки через дозатор 3 матеріал надходить до камери 4, що має в дні 5 отвори (фурми), через які вдувається повітря, яке надходить із пробки 6. Температура в печі підтримується в інтервалі 750...800 С.

При подачі повітря порошкоподібний концентрат інтенсивно перемішується – «кипить», при цьому зерна утримуються в підвішеному стані. Це сприяє інтенсивнішому процесу окислення (горіння) сірки. Сірчисті гази, що утворилися, з отвори 4 надходять у пиловловлювач 7 і звідти після очищення спрямовуються для отримання сірчаної кислоти.

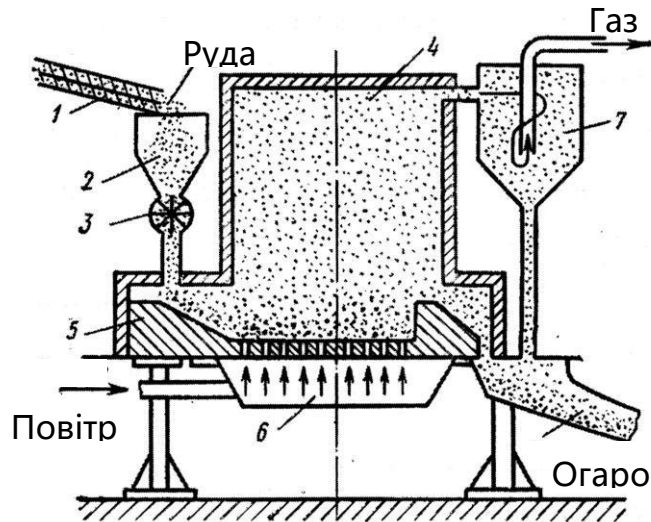


Рисунок 1.4 - Схема печі для випалювання руди в «киплячому шарі»

При випалюванні мідних руд і концентратів видаляється до 50 % сірки. Обпалені концентрати або руди, навані огарком, надходять на плавку для отримання мідного штейну. Для плавки застосовуються відбивні печі (рисунок 1.5).

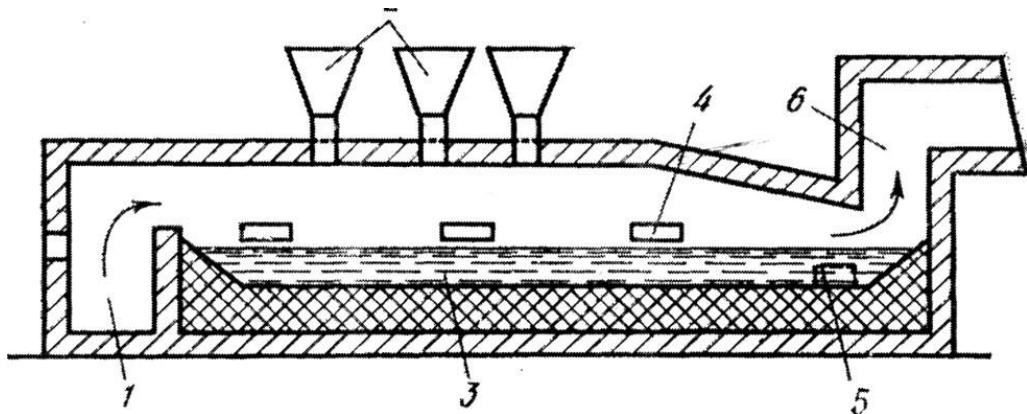


Рисунок 1.5 - Схема відбивної печі

Печі виготовляють завдовжки 30...35 м, завширшки 8...11 м, заввишки від поду до склепіння 3,5...4,5 м. Стіни викладають із динасової цегли, а склепіння - з динасу або магнезитової цегли.

Дрібний шихтовий матеріал завантажується в робочий простір через воронки 2 у склепінні. Печі опалюються кам'яновугільним пилом, мазутом і природним газом. Камера згоряння палива 1 розташована з одного кінця печі, а димові гази видаляються з іншого кінця, через димохід 6.

Температура газів у найгарячішій зоні біля передньої стінки досягає 1500...1600 °С, а на виході в хвостовій частині печі знижується до 1220...1280 °С.

Температура в робочій частині печі досить висока, щоб забезпечити

розплавлення шихти і підтримувати шлак і штейн у рідкому стані. Розплавлена маса розділяється у ванні 3 за питомою вагою на два шари: внизу розташовується сплав сульфідів, званий штейном, а зверху сплав оксидів - шлак. Шлак і штейн періодично випускають з печі в міру їх накопичення через спеціальні отвори - льотки 4 і 5.

Благородні метали (золото і срібло) майже повністю переходять у штейн.

Основна маса (80...90 %) отриманого штейну складається із сульфідів міді та заліза. Решта частина являє собою оксиди різних металів.

Продуктивність відбивних печей обчислюється в тоннах проплавленої шихти на добу, або в тоннах, віднесених до одного квадратного метра площі пода. У цьому випадку застосовується термін «питомий проплав», який у сучасних відбивних печах становить від 2 до 6 т/м².

У розплавленому стані штейн, що має температуру плавлення 900...1150 °С, надходить у конвертер (риснок 1.6) для переробки в чорнову мідь.

Конвертер має горизонтальний циліндричний зварний кожух, футерований зсередини магнезитовою цеглою.

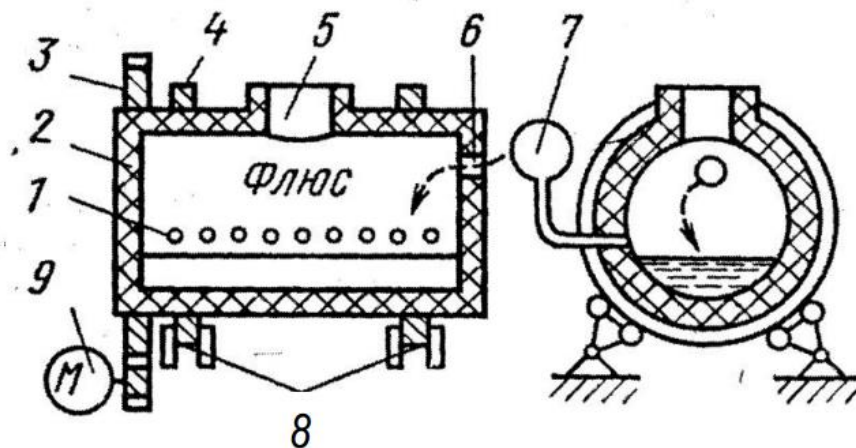
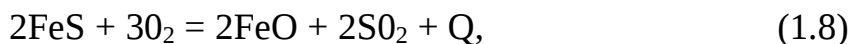


Рисунок 1.6 - Мідеплавильний конвертер:

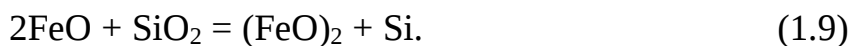
- 1 - фурми повітряного дуття; 2 - футерований кожух; 3 - зубчаста передача;
- 4 - обід; 5 - горловина для заливки штейну; 6 - отвір для завантаження флюсу;
- 7 - повітропровід; 8 - опорні ролики; 9 - електродвигун із редуктором

Розплавлений штейн заливають у конвертер через горловину. Конвертер встановлений на опорних роликах і за допомогою зубчастого вінця може повертатися в задане положення. Через 40-50 фурм, розташованих у вогнетривкій кладці по утворенню конвертера, під тиском подається повітря. На поверхню штейну завантажують кварцовий пісок для шлакування оксидів заліза, що утворюються під час продування. Процес продувки повітрям, що триває загалом 30 годин, ділиться на два періоди.

Перший період полягає в окисленні сульфідів заліза киснем повітряного дуття:

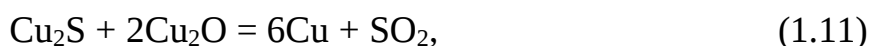
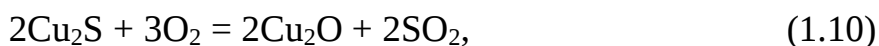


Утворений закис заліза взаємодіє з кремнеземом флюсу і переходить у шлак:



Сірчистий газ спрямовується на виробництво сірчаної кислоти. Конвертерний шлак наприкінці першого періоду зливають у ківш і направляють на повторну переробку у відбивні печі для отримання міді. Штейн, що залишився, набуває білого кольору і складається переважно із сульфідів міді Cu_2S . Вміст міді в білому штейні становить близько 80 %.

Обидві реакції проходять з виділенням тепла, і ванна розігрівается до 1250...1300 °С. Після скачування шлаку настає другий період, під час якого розплавлений білий штейн продувають повітрям і отримують чорнову мідь:

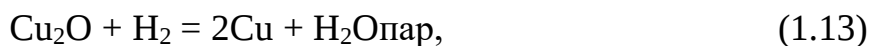


Чорнова мідь містить до 2 % домішок заліза, сірки, цинку, нікелю, свинцю тощо. Її розливають у зливки і відправляють на рафінування.

Рафінування чорнової міді проводять *вогневим* і *електричними* способами.

При **вогневому рафінуванні** чорнову мідь завантажують у полум'яні печі і після розплавлення продувають повітрям через футеровані сталеві труби для окислення розчинених домішок (при цьому окислюється і частина міді).

Період окислення домішок триває близько 3 год, після чого продування припиняють і проводять так зване «дразнення» на щільність. Для цього після видалення шлаку в метал занурюють сирі березові або соснові жердини, внаслідок чого відбувається бурхливе виділення парів і газів, метал добре перемішується, а водяна пара і продукти сухої перегонки, які утворюються при цьому, розкислюють закис міді за реакцією:



У результаті «дразнення» вміст у міді Cu_2O знижується з 1...12 % до 0,3...5 %. Готову мідь із вмістом 99,5...99,7 % Cu випускають з печі та розливають на анодні плити (для електролізу) або на зливки (для виробництва сплавів).

Електролітичне рафінування застосовують для отримання міді чистотою до 99,95...99,98 %. Електроліз проводять у спеціальних ваннах, футерованих кислотостійкими матеріалами. Анодами слугують пластини з чорної міді, що пройшла вогневе рафінування, катодами - листи завтовшки 0,5 мм з чистої міді, електролітом - 15 %-й розчин мідного купоросу і сірчаної кислоти.

При проходженні струму напругою 2-3 В і густиною 100...400 А/м² анод розчиняється, мідь переходить у розчин у вигляді катіонів, які потім розряджаються на катодах і відкладаються шаром чистої міді. При цьому домішки осідають на дно ванни у вигляді шламу. Іноді в шламі міститься до 35 % срібла, 6 % селену, 1 % золота та інші цінні елементи. Тому шлами зазвичай переробляють з метою вилучення благородних металів.

За 10-12 днів на катоді відкладається до 200 кг міді. Катодну масу вивантажують з ванни, промивають, переплавляють у плавильних печах, розливають у злитки і відправляють для прокату на лист, труби і дріт, а також для виплавлення сплавів міді - латуні і бронзи.

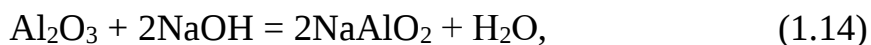
Отримання алюмінію

Алюмінієвими рудами є боксити, нефеліни, алуніти, каоліни. Алюміній у рудах міститься у вигляді мінералів - глинозему Al_2O_3 або гідроксидів $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ і $\text{Al}(\text{OH})$. Найпоширенішою рудою в алюмінієвому виробництві є боксити.

Технологічний процес отримання алюмінію складається з трьох основних стадій:

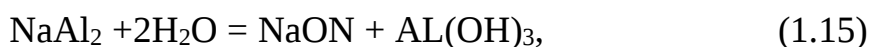
- ▶ 1. Отримання глинозему Al_2O_3 з руд.
- ▶ 2. Отримання алюмінію з глинозему.
- ▶ 3. Рафінування алюмінію.

Глинозем отримують із бокситів шляхом їх обробки лугом. Для цього подрібнену руду піддають вилуговуванню - хімічному розкладанню концентрованим розчином лугу NaOH :



Вилуговування проводять у спеціальних автоклавах за температури 150...200 °С і тиску близько 12 атмосфер.

При цьому алюмінат натрію NaAlO_2 , що добре розчиняється, переходить у розчин, а домішки (оксиди заліза, титану та ін.) випадають в осад. Отриманий алюмінат натрію NaAlO_2 піддають гідролізу:



У результаті в осад випадають кристали гідроксиду алюмінію $\text{Al}(\text{OH})_3$, який зневоднюють в обертових печах за температури 1150...1200 °С і отримують зневоднений глинозем Al_2O_3 .

Глинозем розчиняють у кріоліті - фториді алюмінію і натрію Na_3AlF_6 і піддають електролізу в спеціальних ваннах (електролізерах). Крім кріоліту і глинозему в електроліт для зниження температури плавлення додають MgF_2 , CaF_2 і NaCl . Вміст цих добавок в електроліті не перевищує 10 %.

У сучасному виробництві застосовуються електролізери (рисунк 1.7) із самообпалювальним анодом.

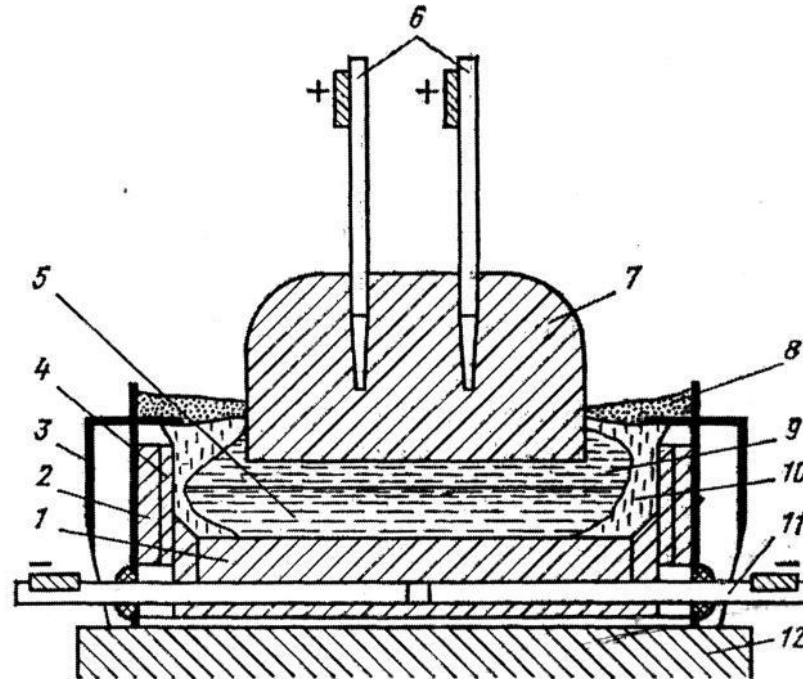


Рисунок 1.7 - Схема електролізера для виробництва алюмінію:

- 1 - катодні вугільні блоки; 2 - вогнетривке футерування; 3 - сталевий кожух;
- 4 - вугільні плити; 5 - рідкий алюміній; 6 - металеві стрижні з шинами;
- 7 - вугільний анод; 8 - глинозем; 9 - рідкий електроліт; 10 - кірка затверділого електроліту; 11 - катодна тепловідвідна шина; 12 - фундамент.

Електроліз здійснюють в алюмінієвій ванні, яка має сталевий кожух прямокутної форми, а її стіни і подину виготовляють із вугільних блоків, теплоізованих шамотною цеглою. У футеровку вмонтовані сталеві катодні шини, завдяки чому вугільний корпус ванни є катодом електролізера.

Анодами служать самообпалювальні вертикально розташовані вугільні електроди, занурені в розплав. Під час електролізу аноди поступово згорають і переміщуються вниз. У міру згорання вони нарощуються зверху рідкою анодною масою, з якої під час нагрівання видаляються леткі речовини, і відбувається її коксування. При проходженні струму (4,0...4,5 В; 75...150 кА) електроліт нагрівається до робочої температури 930...950 °С. Глинозем, що витрачається в процесі електролізу, періодично завантажується у ванну зверху. Завдяки охолодженню повітрям на поверхні утворюється шар електроліту, що затвердів (гарнісаж), який оберігає футеровку і теплоізолює ванну.

За високої температури глинозем Al_2O_3 , розчинений в електроліті,

дисоціює на іони алюмінію і кисню. На поверхні вугільної подини, що є катодом, іони алюмінію відновлюються до металу. У міру зменшення вмісту глинозему в електроліті його періодично завантажують у ванну електролізера. Рідкий алюміній накопичується на подині електролізера і періодично вибирається за допомогою вакуумних ковшів.

Кисневі іони розряджаються на вугільному аноді, окислюють анод, утворюючи CO і CO_2 , які видаляються вентиляційними пристроями. Електролізні ванни з'єднують послідовно в серії зі 100-200 ванн.

На отримання 1 т алюмінію електролізом витрачається приблизно 16000 кВт год електроенергії і до 0,6 т вугільних електродів.

Отриманий алюміній містить домішки заліза, кремнію, міді, глинозему і розчинений водень. Тому його піддають рафінуванню.

Рафінування полягає в продувці рідкого металу хлом протягом 10...15 хвилин. Утворений при цьому пароподібний хлористий алюміній AlCl_3 адсорбується на поверхні онструклічних домішок, і вони спливають у вигляді шлаку. Хлор також видаляє розчинені гази.

Після рафінування і відстоювання протягом 30...45 хв чистота алюмінію досягає 99,5...99,85 %. Якщо до алюмінію висуваються більш високі вимоги щодо чистоти, його піддають електролітичному рафінуванню. Такий алюміній має чистоту до 99,996 %.

Контрольні питання

- 1.1 Яке призначення доменної печі?
- 1.2 Що таке шихта?
- 1.3 Які хімічні процеси відбуваються в доменній печі?
- 1.4 Що таке кокс?
- 1.5 Як отримують кокс?
- 1.6 Що таке збагачення руди?
- 1.7 У чому полягає агломерація та окатування руди?
- 1.8 Яке призначення передільного чавуну?
- 1.9 Яке призначення ливарного чавуну?
- 1.10 Що таке феросплави?
- 1.11 Для чого призначені феросплави?
- 1.12 Який принцип роботи кисневого конвертера?
- 1.13 Поясніть призначення фурми в кисневому конвертері.
- 1.14 Які основні переваги конвертерного виробництва порівняно з мартенівським?
- 1.15 Перелічіть вихідні матеріали, що застосовуються для виплавки сталі в мартенівських печах.
- 1.16 Який мінерал використовується як флюс у мартенівському виробництві?
- 1.17 Яка операція проводиться для прискорення процесу плавлення в мартенівській печі?
- 1.18 Яка перевага виплавки сталі в електропечах?

- 1.19 Назвіть основні види електропечей.
- 1.20 Що є джерелом тепла в дугових електропечах?
- 1.21 Що є джерелом тепла в електроіндукційних печах?
- 1.22 Назвіть максимальну концентрацію міді в мідних рудах.
- 1.23 Які рудні мінерали використовують для добування міді?
- 1.24 Як називається основний спосіб вилучення міді з руд і концентратів?
- 1.25 Що є основою пірометалургійного способу виробництва міді?
- 1.26 Що таке мідний штейн?
- 1.27 Яким способом отримують чорнову мідь із мідного штейну?
- 1.28 Назвіть способи рафінування міді.
- 1.29 Назвіть основні руди для виробництва алюмінію.
- 1.30 Які основні виробничі процеси застосовуються під час отримання алюмінію з руд?
- 1.31 Яка сутність рафінування алюмінію?
- 1.32 Яка чистота алюмінію після електролітичного очищення?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

ОСНОВНІ ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ ТА ПРОДУКТИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета заняття. Ознайомитися з основними матеріалами та продуктами металургійного та ливарного виробництва.

Порядок роботи

1. Вивчити літературу щодо вихідних матеріалів і продуктів металургійного та ливарного виробництва.
2. Отримати зразки мінералів і матеріалів.
3. За відомостями, наявними в методичних вказівках до практичного заняття і в таблицях 1.2-1.8, вивчити хімічний склад, властивості та призначення отриманих матеріалів у виробництві чавуну, сталі, міді, алюмінію, магнію і титану. Відомості щодо хімічного складу, властивостей і застосування занести в графи 2, 4, 5 таблиці 1.9.
4. Вивчити зразки за зовнішнім виглядом і описати їх у графі 3 таблиці 1.9 (вказати колір матеріалу, вид зламу, пористість, щільність). Під час вивчення звернути увагу на найбільш характерні відмінні ознаки зразків.

Теоретичні відомості

Металургія - наука про промислові способи отримання металів і металевих сплавів.

Для виробництва чорних і кольорових металів використовують різні сирі матеріали, які є корисними копалинами, або спеціально приготовані

матеріали, а також відходи металургійного виробництва.

До сирих матеріалів металургійного виробництва насамперед відносять руди, паливо і флюси.

Оскільки метали та їхні сплави отримують здебільшого за високих температур, велике значення має знання складу і властивостей вогнетривких матеріалів.

РУДИ

Термодинамічно всі матеріали в природних умовах нестійкі й перебувають у вигляді оксидів, сірчистих, вуглекислих та інших хімічних сполук, що входять до складу різних мінералів (гірських порід). Виняток становлять термодинамічно стійкі золото, платина, срібло, іноді мідь, що зустрічаються у вигляді самородних металів.

Руда являє собою корисну копалину, що видобувається з надр землі. Це гірська порода або мінеральна речовина, з якої за даного рівня розвитку техніки економічно доцільно витягувати метали або їхні сполуки. Руда складається з рудного мінералу, що містить метал, і порожньої породи. Порожня порода зазвичай містить у собі кремнезем (SiO_2), глинозем (Al_2O_3), окис кальцію (CaO) і окис магнію в різних співвідношеннях.

У сучасному металургійному виробництві практично вся видобута руда до плавки піддається попередній підготовці - дробленню і збагаченню. Метою збагачення є підвищення вмісту корисного компонента і зниження вмісту шкідливих домішок шляхом відокремлення рудного мінералу від порожньої породи або відділення одного цінного мінералу від іншого. У результаті збагачення отримують готовий продукт - концентрат, багатший за вмістом певного металу, ніж початкова руда, і залишковий продукт - хвости, бідніший, ніж початкова руда.

Залізні руди

Залізо має порівняно велику спорідненість до кисню і через це в земній корі не виявляється в чистому вигляді, а міститься переважно в сполуках з киснем і двоокисом вуглецю.

На практиці доводиться мати справу з магнітним окисом заліза Fe_3O_4 , безводним окисом заліза Fe_2O_3 і водним окисом заліза $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ з різною кількістю адсорбованої води. Рідше зустрічаються сполуки заліза з двоокисом вуглецю - карбонат заліза FeCO_3 .

Порожня порода залізних руд зазвичай складається з кварцу і пісковиків з домішкою глини. Крім того, в рудах завжди присутні різні домішки, які залежно від виду плавки можуть бути корисними і шкідливими - сірка, фосфор, цинк, миш'як, нікель, хром, мідь, ванадій і титан.

До 80 % усієї перероблюваної залізної руди нині збагачують методом магнітної сепарації. Це дає змогу підвищити вміст заліза в концентраті до 69 %. Обов'язковими операціями підготовки руди до плавки є *агломерація і окатування*.

Різноманітність видів руд, що відрізняються за вмістом заліза, мінералогічним складом оксидів заліза і порожньої породи, густиною, температурами перетворення, визначає відмінність фізико-хімічних і теплофізичних властивостей руд (таблиця 1.1).

На території України знаходяться найбільші залізрудні родовища світового значення.

Балансові запаси України за покладами залізної руди становлять понад 30 млрд тонн. Згідно зі статистикою, багатство підземних засіків південного сходу України забезпечить безперебійну роботу місцевих шахт ще років на 95-100.

В Україні відомі понад 80 родовищ. Основні запаси (70%) і видобуток (понад 80%) припадають на Криворізький залізрудний басейн. Його продовженням на північ є Кременчуцький залізрудний район. Разом із рудними районами Запорізької, Кіровоградської та Полтавської областей Криворізький басейн становить велику залізрудну провінцію - Великий Кривий Ріг.

У Криворізькому басейні розташовано близько 90 підприємств різних галузей чорної металургії. З десятка великих виробництв країни загалом, що належать до видобувних і переробних залізрудної сировини, сім (93%) розташовано в Криворізькому регіоні, який забезпечує понад 90% потреб металургійних підприємств України. Тільки в Кривому Розі щорічно видобувають понад 8 мільйонів тонн залізної руди.

Промислові запаси залізних руд Криворізького басейну становлять 16 млрд тонн. Тут є багаті й бідні руди. Багаті руди можна без збагачення використовувати в металургії. Промислові запаси багатих руд становлять понад 43% усіх розвіданих запасів багатих руд. Видобуток їх становить понад 40% усього видобутку. Сьогодні експлуатується понад 90% запасів багатих руд і понад 50% бідних. Вміст заліза в багатих рудах у середньому становить 57,6%. Однак розробка багатих залізних руд не забезпечує потреби металургії. Тому ведеться розробка бідних руд - залізистих кварцитів. Ці руди легко збагачуються. Процес збагачення здійснюється на п'яти гірничо-збагачувальних комбінатах: Південному, Новокриворізькому, Центральному, Північному та Інгулецькому. Найбільший серед них Південний ГЗК.

Велике значення для промисловості має Білозерський залізрудний район (Північно-Білозерське, Південно-Білозерське і Переверзевське родовища). Майже 60% запасів - це багаті руди, які містять понад 60% заліза і не потребують збагачення. Ця група родовищ розташована за 75 км на південь від Запоріжжя. Освоєння родовищ ведуть запорізькі залізрудні комбінати №1 і №2.

Другий за розмірами - Керченський залізрудний район. Промислові запаси тут перевищують 1 млрд. тонн. Тут переважають бурі залізники. Розробку родовищ руд здійснює Комиш-Бурунський залізрудний комбінат. Умови видобутку дуже сприятливі (відкритим способом), тому собівартість концентрату й агломерату дуже низька. Однак через низький вміст заліза

концентрат (менш як 45%) і агломерат (близько 46%) використовують у металургійному виробництві тільки в суміші з криворізькою рудою.

Таблиця 1.1 - Характеристики найважливіших рудних мінералів заліза

Найменування руд	Рудний мінерал	Формула	Вміст Fe, % (за масою)	Густина $\cdot 10^3$, кг/м ³	Питома теплоємність, Дж/г $\cdot$ К	Теплопровідність, Вт/м $\cdot$ К	T _{пл} , °С
Магнетитові	Магнетит	Fe ₃ O ₄	55...65	5,2	0,6	4,7...5,28	1538
Гематитові	Гематит	Fe ₂ O ₃	50...60	5,3	0,6	11,2...13,9	1565
Бурі залізняки	Лимоніт	Fe ₂ O ₃ · H ₂ O	30...50	4,0...4,6	-	-	-
Шпатові	Сидерит	FeCO ₃	30...40	3,9	0,7...0,8	3,0	1550
Інші	Пірит	FeS ₂	47,7	5,1	0,5	23...38	1550

Марганцеві руди

Марганцеві руди слугують добавкою, яку вводять у чавун для збільшення його твердості, в'язкості та зменшення шкідливого впливу сірки. Крім того, марганець у вигляді феросплавів вводять у сталь як розкислювач і легувальну добавку. У рудах переважають кисневі сполуки марганцю: закис (MnO), закис-окис (Mn₃O₄), окис Mn₂O₃, двоокис (або перекис) (MnO₂).

Основні марганцеві мінерали та величини їхньої густини наводяться нижче (кг/м³):

Манганозит (MnO)	5300
Піролюзит (MnO ₂)	4800
Брауніт (Mn ₂ O ₃)	4800
Гаусманіт (Mn ₃ O ₄)	4800
Манганіт (Mn ₂ O ₃ · H ₂ O)	4300
Гауерит (MnS ₂)	3500
Родохрозит (MnCO ₃)	3500
Родоніт (MnSiO ₃)	3550

Вміст марганцю в марганцевих рудах становить від 20 до 40 %. Порожня порода здебільшого складається з кремнезему і глинозему. Видобуті марганцеві руди зазвичай піддають промиванню або гравітаційно-магнітному збагаченню з отриманням концентратів, що містять 40...56 % Mn.

За обсягами використання марганцеві руди посідають друге місце серед руд чорних металів. Основна їхня частина (95-97%) надходить у чорну і кольорову металургію. Невелика частина марганцевих руд використовується в хімічній промисловості, керамічному і скляному виробництвах. Їхні запаси становлять близько 2 млрд тонн. В Україні крім основного Нікопольського басейну, що включає Нікопольський, Великотокмацький та Інгуло-Дніпровський марганцеві райони, відомі ще Побузький, Донецький і

Карпатський. Розвідані й експлуатуються тільки родовища Нікопольського району. Рудні пласти залягають на глибині 15-120 м. Їхня потужність у середньому 2 м. Основні запаси становлять високоякісні руди, що містять у середньому 27% марганцю. Рівень розвіданості й освоєності Нікопольського басейну високий. Тут розробляється дев'ять родовищ, працює сім шахт і вісім кар'єрів. Родовища західної ділянки басейну розробляються підприємствами Орджонікідзевського, а східної - Марганецького гірничо-збагачувального комбінатів.

Мідні руди

Звичайний вміст міді в рудах від 0,5 до 2,0 %, багатші зустрічаються рідко. Найважливіші мінерали наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Найважливіші мідні мінерали

Мінерал	Формула	Щільність, кг/м ³	Твердість за Моосом
Борніт	Cu_5FeS_4	4900...5200	3
Мідний блиск	Cu_2S	5500...5800	2,5...3
Ковелін	CuS	4600	1,5...2
Халькопірит	CuFeS_2	4100...4300	3,5...4
Малахіт	$\text{CuCO}_3 \text{ Cu(OH)}_2$	3700...4100	3,5...4
Хризаолла	$\text{CuSiO}_3 \text{ H}_2\text{O}$	2000...2200	2,4
Самородна мідь	Cu	8900	-

Руди поділяють на сульфідні, окислені та змішані. Останні два види в надрах зустрічаються рідко. Сульфідні руди збагачують переважно способом флотації. Хімічний склад концентратів наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Хімічний склад мідних руд

Вихідна руда	Вміст у концентраті, %						
	Cu	Zn	S	Fe	SiO_2	Al_2O_3	CaO
Медисті колчедани	11...20	4...7	35...43	32...37	3...5	3...7	0,5...2
Мідно-цинкові	11...15	2...7	30...35	25...30	3...5	3...7	0,5...2
Вкрапленники	20...25	-	30	25...27	5...10	5...8	0,5...2

Алюмінієві руди

За вмістом у земній корі алюміній посідає перше місце серед металів (7,45 %). Він входить до складу близько 250 мінералів, 40 % яких належить до алюмосилікатів.

Алюмінієвою рудою називають гірську породу з високим вмістом оксиду алюмінію. Найбільше значення для виробництва глинозему (Al_2O_3)

мають боксити, нефеліни, алуніти. Приблизний склад цих руд наведено в таблиці 1.4.

Найбільше значення мають боксити. Алюміній у них міститься у вигляді гідроокисів алюмінію (гіббситу, беміту та ін.), корунду і каолініту. Хімічний склад бокситів досить складний. Вони часто містять понад 40 хімічних елементів. Важливою характеристикою бокситів є відношення вмісту в них Al_2O_3 до SiO_2 за масою - так званий кремнієвий модуль. Мінімальне значення модуля промислових бокситів становить 2,6.

Таблиця 1.4 - Склад сировини для виробництва глинозему, % (за масою)

Види сировини	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	$(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$	CaO	SO_3
Боксит	55,0	4,0	23,0	-	3,0	-
Боксит	60,0	1,6	11,0	-	4,0	-
Боксит	44,5	13,0	16,7	-	4,0	-
Нефелін	27,3	40,3	5,2	11,9	7,6	-
Нефеліновий концентрат	29,3	43,6	5,0	17,9	1,3	-
Алуніт	21,2	40,5	5,1	3,8	-	20,1

Фізичні властивості бокситів дуже різноманітні й непостійні. Зустрічаються боксити всіляких кольорів і відтінків - від білого до темно-коричневого. Щільність їх коливається від 1,2 до 3,5 г/см³, твердість бокситів варіюється від 2 до 7 (за Моосом).

З облікованих світових запасів бокситів - 64 млрд тонн.

Мінеральною базою алюмінію України є родовища бокситів, нефелінових руд та алунітів. Україна є країною, бідною на боксити: виявлено лише три родовища – Високо-пільське, Нікопольське та Смілянське. Державний баланс запасів алюмінієвої сировини враховує лише Високопільське родовище залізистих бокситів із бемітгібсит-шамозитовим складом, запаси якого сягають 18,9 млн. тонн.

В Україні найбільш значущими є лужні комплекси Жовтневого масиву Приазов'я, запаси нефелінових руд Мазурівського, Калініно-Шевченківського та Валі-Тарам родовищ, які складають близько 2,9 млрд. т. Проте переробка зазначених руд потребує значних енергетичних витрат та суттєвої модернізації технологічного процесу, тому родовища поки що не освоєно.

В Україні як потенційну алюмінійвмісну сировину можна розглядати закарпатський алуніт за умови його комплексного використання. Станом на зараз, на державному балансі перебувають два великі родовища на Закарпатті: Біганське та Берегівське із розвіданими запасами алунітових руд відповідно – 290,3 і 51,4 млн. т, окрім того, у межах Берегівського рудного

поля знайдено майже десять алунітових родовищ і рудопроявів, пов'язаних із вторинними кварцитами. Алунітові руди можна добувати відкритим способом, але їх недоліком є невисокий вміст алуніту (близько 30 %), що призводить до необхідності збагачення таких руд. Вивчали можливість флотаційного збагачення загальної проби алунітової руди Біганського родовища та було одержано алунітовий концентрат із вмістом алуніту 51,5-55,0 % за його витяганням 91,7-88,8 %. Надалі на основі одержаних результатів було здійснено вивчення флотації різних типів алунітових руд цього родовища. Як результат збагачення, вміст оксиду алюмінію у концентраті, залежно від типу руди, підвищується з 13,34-14,98 до 27,03-27,72 %.

Після впровадження нових технологій збагачення ці боксити можуть бути використані у виробництві вогнетривів, абразивів, цементу, хілкоагулянту тощо.

Нефеліни - хімічна формула $(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ - є частиною гірської породи, яка називається уртитом.

У нефелінах Al_2O_3 міститься порівняно небагато. Однак у разі їх комплексного перероблення на глинозем із вилученням лугів і використанням відходів для отримання цементу, соди та поташу нефеліни економічно доцільні.

Сировина для отримання магнію

Нині для отримання магнію використовують такі його сполуки: магнезит, доломіт, карналіт і бішофіт.

Магнезит - вуглекислий магній MgCO_3 . У магнезиті містяться домішки CaO і SiO_2 у вигляді кварцу і тальку, а також Al_2O_3 і Fe_2O_3 .

Доломіт - гірська порода, що являє собою подвійний карбонат кальцію і магнію $(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$.

Доломіти зазвичай містять домішки кварцу, кальциту, гіпсу тощо. Вимоги, що висуваються до доломіту: відношення CaO до MgO має бути не більше 1,54; вміст лужних металів не більше 0,3 %.

Карналіт - $(\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \cdot \text{KCl})$ - природний хлорид магнію і калію - кристалічна речовина, зазвичай забарвлена домішками в рожевий колір.

Бішофіт $(\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ отримують під час переробки природного карналіту. Крім того, невичерпні запаси його містяться в морській воді, яка містить у середньому в 1 кг води 3,8 г MgCl_2 , 1,7 г MgSO_4 і 0,1 г MgBr_2 .

Сировина для отримання титану

Відомо понад 80 мінералів, що містять титан. Найбільше його міститься в рутилі TiO_2 , який рідко зустрічається, і ще рідше - в бруктиті та анатазі.

Першорядне для металургії значення має природний ільменіт FeTiO_3 . Щільність мінералу коливається в межах 4000...5250 кг/м³, а вміст титану в рудах 6...35 %. Родовища бувають корінного типу і розсипи (піски).

Дедалі більший інтерес виявляють до титаногематитових і титаномagnetитових руд з високим вмістом Fe_2O_3 і Fe_3O_4 .

Руди і піски часто комплексні: крім рутилу і циркону ZrSiO_4 , у них трапляються домішки V, Ta і Nb.

Порожня порода складається зі складних силікатів заліза й алюмінію.

МЕТАЛУРГІЙНЕ ПАЛИВО

Високі температури, необхідні для багатьох пірометалургійних процесів, досягаються спалюванням палива. Паливо може бути твердим (вугілля, торф, дрова, кокс), рідким (нафта, мазут, гас, бензин) газоподібним (природний газ, доменний газ, генераторний газ та інші горючі гази). До складу будь-якого палива входять горючі складові - вуглець, водень, вуглеводні (метан CH_4 та інші, що описуються в загальному вигляді формулою C_nH_m), а також негорючі - мінеральні речовини і волога. Найважливіша властивість усіх палив - виділяти тепло під час горіння [1,2,3].

Ця властивість називається теплотворною здатністю. Вона відноситься до одиниці маси або об'єму палива і часто називається калорійністю. У таблиці 1.5 наведено округлені дані, що характеризують окремі види палива.

Кам'яне вугілля

Кам'яне вугілля має багато різновидів, що різняться вмістом вільного вуглецю, вуглеводнів, смолоподібних речовин - бітумів і золи. Якщо потрібні високі температури, кам'яне вугілля спалюють у пилоподібному стані. Для цього його дроблять, розмелюють, а потім сушать і вдувають у піч стисненим повітрям через особливі пальники. Частинки вугілля швидко згорають на льоту, утворюючи факел.

Кокс

Кокс роблять з особливих сортів кам'яного вугілля, що містять бітуми. Вугілля подрібнюють до крупності близько 5 мм, зволожують і завантажують у камери коксових печей. Герметично закриті камери нагрівають зовні до 900...1000 С. У процесі коксування вугільна маса розм'якшується, і з неї починають виділятися газоподібні продукти, а потім вона спікається в пористу масу. Під час виділення газів у процесі коксування ця маса розтріскується і розпадається на шматки. Летючі речовини відводять у холодильники, де вони конденсуються й утворюють цінні хімічні продукти (смоли, бензин тощо). Після цього залишається горючий газ (коксівий). Процес коксування триває 14...16 годин. Потім кокс виштовхують з печі і гасять водою або інертними газами. Важливими для доменної плавки показниками якості коксу є зольність і вміст сірки, які мають бути мінімальними. Сірка - шкідлива домішка. У процесі плавки вона може переходити в метал і погіршувати його властивості.

Теплотворна здатність коксу близько 27000 кДж/кг.

Коксовий газ, що складається з водню (50 %), метану (27 %) та інших

вуглеводнів, може служити хорошим паливом, теплотворна здатність його близько 18000 кДж/кг.

Таблиця 1.5 - Дані щодо палива

Паливо	Марка	Хімічний склад, %	Вихід летких речовин, %	Зольність, %	Вологість, %	Нижча теплотворна здатність, кДж/кг
Вугілля буре	БЗК	65...75 % C; 5...6 % H ₂ ; до 5 % S; 17...20 % (O ₂ + N ₂)	До 43	До 20	20...30	10760...10800
Вугілля кам'яне	К14	до 80 % C	18...27	10	8	21160
Вугілля антрацит	А	до 98 % C	8	20	8	24240
Кокс кам'яновугільний ливарний	КЛ 1 КЛ 2 КЛ 3	80...85 % C 0,4...0,7 % S	До 2,5	10...15	2...6	27300...29400
Мазут топковий мартенівський	40 В 100 В МП МПС	87 % C 12 % H ₂ 1% (H ₂ + N ₂)	-	0,2...0,3	-	40000...45000
Природний газ	Усередне не	93 % CH ₄ 2% CO ₂ 1 % N ₂ 1 % H ₂ 3% CH _{2n}	-	-	-	27000...38000
Коксовий газ	Усередне не	46...63 % H ₂ 21...27 % CH ₄ 2...7 % CO 4...18 % N ₂	-	-	-	18800
Доменний газ	Усередне не	12 % CO ₂ 28 % CO 0,5 % CH ₄ 2,5 % H ₂ 57 % N ₂	-	-	-	3300...3700

Мазут

Мазут - залишок від перегонки нафти, що містить близько 87 % вуглецю і 12 % водню, прекрасне рідке паливо з теплотворною здатністю 40000...45000 кДж/кг.

Мазут, підігрітий до 100 °С для зниження в'язкості, розбризкують стисненим повітрям і вдувають у піч розпилювачем - форсункою. Дрібні краплі його згорають на льоту, утворюючи факел.

Горючі гази

При доменній плавці частину коксу замінюють природним або доменним газом.

Природний газ. Спалювання природного газу проводиться з попередньою обробкою. Ступінь чорноти газового факела невеликий, всього 0,2...0,4; тому випромінювання тепла до стінок печі і металу, що нагрівається, невелике. Щоб збільшити випромінювання, газовий факел підсвічують, подаючи в нього деяку кількість мазуту або вугільного пилу.

Доменний або колошниковий газ. Утворюється в горні доменної печі. За вологості дуття близько 1 % він складається приблизно з 35 % CO; 64 % N₂ і 0,8 % H₂. У міру просування до колошника склад газу змінюється: CO стає менше, а CO₂ - більше. Окис вуглецю витрачається на відновлення окислів заліза.

ФЛЮСИ

Флюси служать для зв'язування порожньої породи під час виплавки металів. Разом з окисленою порожньою породою і золою палива флюси утворюють шлак, який потім видаляється [8]. Температура плавлення оксидів, що входять до складу порожньої породи, а також у золу коксу (SiO₂ - 1728, Al₂O₃ - 2040, CaO - 2570, MgO - 2800 °С), наочно вища за температуру плавлення шлаку в печі (1450...1600 °С). При додаванні флюсів утворюються легкоплавкі склади, які мають температуру плавлення нижче 1300 °С і характеризуються хорошою плинністю при 1450...1600 °С.

Як флюси в металургії застосовують найчастіше **вапняк** (CaCO₃), доломітизований вапняк (CaCO₃ + MgCO₃), **плавиковий шпат** (CaF₂), **боксит** і **кварцовий пісок**.

За хімічним складом флюси поділяють на:

- кислі (CaO : SiO₂) < 1;
- основні (CaO : SiO₂) > 1;
- нейтральні (CaO : SiO₂) ≈ 1.

У залізних рудах порожня порода зазвичай кисла, з надлишком SiO₂, тому з технологічних причин під час виплавки чавуну і сталі зазвичай застосовують вапняки і доломіти, а їхню кількість розраховують, щоб основність шихти була (CaO : SiO₂) ≈ 1.

За густиною вапняки ділять на:

- важкі;
- щільні;
- середньої густини;
- легкі.

Щільність вапняків, кг/м³:

- ◆ важкого > 2700;
- ◆ щільного 2400...2700;
- ◆ середньої щільності 2000...2400;
- ◆ легкого < 2000.

Вапняки і доломіти застосовують для основних печей.

Майже усі родовища вапняків та доломітів для металургійної промисловості – флюсової сировини – знаходяться на окупованій території: в Донецькій області та Криму. Дефіцит флюсової сировини може бути покрито за рахунок родовищ аналогічних вапняків, розвіданих для потреб цукрової промисловості та для інших цілей, які не використовуються.

Потреба металургійної промисловості України в флюсових вапняках – 20 – 25 млн. т. на рік – практично повністю задовольнялася за рахунок видобутку на кар'єрах, розташованих в Донецькій області та в Криму, де зосереджено 97% розвіданих запасів вапняків для металургійної промисловості.

У зв'язку з анексією Криму та окупацією частини Донецької області, де розташовані родовища флюсових вапняків і доломітів (район Новотроїцьке – Докучаївськ – Комсомольське) в Україні виник катастрофічний дефіцит флюсової сировини.

Разом з цим, такий специфічний розподіл родовищ флюсової сировини обумовлений не тільки об'єктивними причинами. Аналогічної якості вапняки і доломіти є в ряді інших регіонів України, у тому числі в Центральних і Західних областях, але, через відсутність тут металургійної промисловості вони розвідувалися і враховані державним балансом як сировина для інших потреб.

Зокрема, вапняки більшості родовищ, розвіданих в якості сировини для технологічних потреб цукрової промисловості на території Вінницької, Хмельницької, Тернопільської, Львівської областей, Івано-Франківської, Чернівецької областей, повністю відповідають вимогам до карбонатної сировини для металургійної промисловості, у тому числі СОУ МПП 73.080-177:2007 «Вапняки флюсові для сталеплавильного і феросплавного виробництва» [5], та СОУ МПП 73.080-028:2004 «Вапняки флюсові для доменного виробництва» [6]. Вміст в цих вапняках СаО переважно 53-54%, (або 95-97% СаСО₃) MgO до 1 -2%, SiO₂ не більше 1-2%, нерозчинного залишку до 2-3%. Міцність на стискання, переважно, 300 – 600 кг/см².

Вимогам до вапняків для металургійної промисловості відповідає також значна частина вапняків, розвіданих для випалювання вапна та окремі родовища, розвідані для виробництва будівельного щебеню і враховані державним балансом як будівельний камінь.

В якості флюсової сировини для металургії можуть успішно використовуватися родовища вапняків для цукрової промисловості, що не розробляються. Окремі з них розкриті покинутими кар'єрами збанкрутілої державної структури «Укрцукрокамін» – Студенівське (зал.ст.Рудниця) з

запасами понад 30 млн. т. у Вінницькій області. На інших розробка не велася або не ведеться – Карачківцеве – понад 50 млн. т. в Хмельницькій області, Полупанівське (ділянка з запасами понад 40 млн т., що не розробляється) Підвисоцьке (Лопушнянське) – ділянка з запасами понад 30 млн. т., Потуторське – близько 25 млн. т – в Тернопільській області поблизу залізничних станцій, Малолюбінське (зал.ст.Любінь Великий) у Львівській області та інші.

Крім детально розвіданих родовищ вапняків, врахованих державним балансом, загальна інформація про які є відносно доступною, практично невідомими залишається не менша кількість виявлених та попередньо розвіданих родовищ аналогічних вапняків з запасами в десятки – сотні мільйонів тон, детальні геологорозвідувальні роботи на яких не проведено (наприклад родовище «Вила», з запасами близько 100 млн. т у Вінницькій області, ряд родовищ ділянок в Тернопільській і Хмельницькій областях). Інформація про ці об'єкти є тільки у вигляді архівних матеріалів. Ці родовища можуть розроблятися в порядку дослідно-промислового видобування на підставі спеціальних дозволів на користування надрами на геологічне вивчення з дослідно-промисловою розробкою (ДПР), вартість яких на порядок менша дозволів на видобування, інші дозвільні процедури у даному випадку також спрощені.

Майже не поступаються за якістю окремі родовища вапняків, розвіданих для випалювання на вапно, та для виробництва щебеню, наприклад Івахнівцеве (понад 10 млн. т) та Ковалівське (понад 15 млн. т) поблизу зал. ст. Закупне в Хмельницькій області.

Вапняки аналогічних родовищ, що розробляються на території згаданих областей, на даний, час успішно використовуються металургійними заводами України.

Плавиковий шпат (флюорит) [від лат. Fluorum – флуор (фтор)] – мінерал класу галоїдних сполук (флуоридів). Формула: CaF_2 . Зустрічається у вигляді кристалів кубічної сингонії, двійників, а також щільних суцільних агрегатів, землистих мас, друз, щіток, жеод. Колір білий, фіолетовий, зелений, блакитний (іноді безбарвний, водяно-прозорий). Має густину в межах 3000...3800 кг/м³. Температура плавлення 1691 °С. Люмінесцентний, часто радіоактивний. Походження здебільшого гідротермальне. Знаходиться разом з мінералами свинцю та срібла, зустрічається також у гранітах, нефелінових сієнітах, пегматитах та грейзенах, а також в осадових породах. Використовується як сировина для виробництва плавикової кислоти, у металургії, оптиці, як декоративний камінь. Застосовується плавиковий шпат для основних електродугових і мартенівських печей.

В Україні виявлено два родовища флюориту: Покрово-Киреевського в Донецькій області та Бахтинское у Вінницькій області. Покрово-Киреевського родовище: на глибинах 120-180 м виявлено три поклади флюоритових руд карбонатно-флюоритового типу. Протяжність покладів до 250 м при ширині 70-180 м, потужності від 4.4 до 70 м. Зміст флюориту в

багатих рудах - 73.5-83.1%, в звичайних - 38-71% (в середньому 63.9%). Запаси (підтверджені) руди становить 1927 тис. Т. Родовище не розробляється через складних гідрогеологічних інженерно-геологічних умов експлуатації. В районі родовища виділено кілька перспективних ділянок з прогнозними ресурсами флюоритових руд 6.5 млн. Т з вмістом флюориту до 50-60%. Бахтинское родовище: на глибині 40-120 м в грубозернистих аркозових пісках виявлено флюоритового орудення. Зміст флюориту коливається від 11.1 до 40.8%, у середньому 14-20%.

Кварцовий пісок застосовується для кислих печей і складається на 93 % з кремнезему SiO_2 , а решту складають оксиди Al_2O_3 , Fe_2O_3 .

У 2022 р. на території України найбільші обсяги запасів піску кварцового локалізовані в Харківській (93,63 млн т або 38,53% від сумарних балансових запасів сировини скляної), Львівській (29,65 млн т або 12,20%) та Донецькій (27,77 млн т або 11,43%) областях. Крім того, у межах Закарпатської області присутні родовища ліпариту з балансовими запасами 20,73 млн т або 8,53% від сумарних балансових запасів сировини скляної.

Пісок кварцовий – сировина, що використовується для виробництва скла та поширена майже в усіх регіонах України.

ВОГНЕТРИВКІ МАТЕРІАЛИ

Матеріали, стійкі за температури вище 1580 °С, промисловість випускає у вигляді цегли, фасонних виробів різних розмірів і форми, іноді в порошку. Вогнетривкі вироби найчастіше застосовуються в металургії (будівництво печей), енергетиці (ізоляція та футерування котлів), скляній, харчовій, нафтохімічній та інших галузях промисловості, де використовується високотемпературне обладнання.

Високовогнетривкими умовно вважають речовини, що залишаються твердими до 2000 °С, а ті, що долають і цю межу, - матеріалами вищої вогнетривкості.

Сировиною для виробництва вогнетривів слугують силікати, карбіди та інші сполуки, які не плавляться і не розкладаються до температур, °С: Al_2O_3 - 2050, SiO_2 - 1713, CaO - 2580, Cr_2O_3 - 2800, ZnO_2 - 2275, SiC - 2700, ZrO_2 - 2600, ZrC - 3500, TiB_2 - 2980, та багато інших, зокрема нітриди і силіциди металів, а також кокс і графіт.

Під час вибору вогнетривів необхідно враховувати їхню механічну міцність у робочому стані - під час нагрівання та під навантаженням, термічну стійкість - здатність не розтріскуватися від різких змін температури, коефіцієнт об'ємного розширення, пористість, хімічну інертність до кисню, вуглекислоти, дії рідких шлаків або сольових розплавів, а іноді також - густину, теплопровідність та електропровідність. У більшості випадків останні мають бути низькими (таблиця 1.6).

Найбільш ходові вогнетривкі матеріали складаються з дешевих і доступних оксидів, які за високих температур можуть бути кислими (SiO_2),

основними (CaO , MgO) або амфотерними (Al_2O_3 , Cr_2O_3), останні залежно від середовища проявляють властивості кислот або основ.

Шамотні вогнетриви

Вироби з шамоту стійкі до 1750°C . Їх роблять із вогнетривкої глини, що містить каолінит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Глину обпалюють за 1400°C , від цього вона втрачає вологу і перетворюється на шамот $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Останній при змочуванні вже не стає пластичним. Його подрібнюють, змішують з водою і свіжою глиною, що служить сполучною речовиною. Отриману при цьому напівсуху масу пресують у формах, потім сушать і обпалюють.

Шамот порівняно дешевий і універсальний: він термостійкий і повільно руйнується як кислими, так і основними шлаками.

Динасові вогнетриви

Їх роблять у вигляді цегли, в основі яких - кварцити, що містять не менше 95 % SiO_2 . Кварцити подрібнюють, змішують з вапняним молоком $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і при вологості 5...9 % пресують. Випал проводять після сушіння, повільно підвищуючи і знижуючи температуру протягом кількох діб; максимум її близько 1450°C .

Динас стійкий до 1700°C і міцний у робочому стані. Для підвищення термічної стійкості в шихту вводять до 30 % дрібного хроміту, отримуючи динасохроміт, або додають карборунд (SiC) для отримання динасокарборунду.

Магnezитові вогнетриви

Вони складаються з периклазу (80...85 % MgO). Сировиною служить природний магнезит MgCO_3 , який обпалюють для отримання окису при температурі 1600°C , що робить його хімічно інертним.

Найчистіший окис йде на виготовлення цегли, а найгірший - для набійки і наварки подин печей. Магнезитова цегла стійка проти основних шлаків. Вона високовогнетривка (2000°C), міцна, щільна, але малотермостійка і дорога.

Доломітові вогнетриви

Їх виготовляють у вигляді виробів і порошоків з мінералу доломіту (Ca , Mg) CO_3 . Доломіт обпалюють для видалення CO_2 за температури $1600\text{...}1700^\circ\text{C}$. Додаток кварциту або трепелу зв'язує окис кальцію в силікати Ca_2SiO_4 і Ca_3SiO_5 . Доломіт дешевший за магнезит, але менш вогнетривкий. Застосування доломіту подібне до магнезиту.

Таблиця 1.6 - Відомості про вогнетривкі матеріали

Найменування	Хімічний склад	Міцність на стиск, кН/см ²	Температура початку деформації, °С	Вогнетривкість, °С	Застосування
Динасова цегла	95...98 % SiO ₂	2,45...2,94	1630	1730	Для кладки стін, подин і склепінь мартенівських і електропечей
Шамотні вироби	55...60 % SiO ₂ 34...38 % Al ₂ O ₃ 1...5 % H ₂ O	0,98...6,88	1350	1730	Для футерування ковшів, газо- і повітрянагрівачів
Хромомагnezити	42...55 % MgO 15...17 % Al ₂ O ₃ 25...29 % Cr ₂ O ₃	2...5	1500...1630	2000	Для стін і склепінь основних мартенівських печей
Магnezитові вироби та порошки	80...85 % MgO	2,94...4,5	1500	2000	Для основних печей
Кварцовий пісок	93...100% SiO ₂	-	-	1730	Для наварки поду кислих мартенівських печей
Доломітові вироби та порошки	52...58 % CaO 35...38 % MgO	-	-	1800-1950	Кладка і наварка піддонів основних печей

Хромомагнетитові вогнетриви

Ці вогнетриви після формування і випалу за 1650 °С містять MgO 42...55 %, а Cr_2O_3 15...17 %. Шихту для них складають із природного хроміту FeCrO_3 і обпаленого магнезиту, змішуючи їх у різних співвідношеннях. За вогнетривкістю ці вироби не поступаються магнезиту, але порівняно нейтральні

ЧАВУНИ ТА ФЕРОСПЛАВИ

Чавуни є продуктами плавки залізних руд у доменних печах. За призначенням чавуни поділяють на три види:

► 1) Передільні: М1, М2, М3 і Б1, Б2, передільні фосфористі МФ1, МФ2, МФ3 і передільні високоякісні ПВК1, ПВК2, ПВК3, призначені для переділу на сталь.

► 2) Ливарні чушкові: ЛК00, ЛК0, ЛК1, ЛК2 і далі до ЛК7, призначені для виготовлення різних виливків.

► 3) Феросплави: феромарганець Мн5, Мн6, Мн7 і дзеркальний чавун ЗЧ1, ЗЧ2, ЗЧ3, феросиліцій ФС75, ФС45, ФС20.

Таблиця 1.7 - Хімічний склад деяких чавунів, %

Марка	C	Si	Mn	P	S
ЛК00	3,6	4,0	1,0	0,15	0,03
ЛК0	3,64	3,5	0,8	0,20	0,03
ЛК1	3,6	3,0	0,8	0,20	0,03
ЛК2	3,95	2,45	0,23	0,09	0,04
М3	4,41	0,46	0,23	0,10	0,03

Феросплави - це сплави заліза з кремнієм, марганцем, хромом, вольфрамом та іншими елементами, які застосовують під час виробництва сталі для її розкислення і легування. У доменному процесі отримують феромарганець, що містить 70...75 % Mn, феросиліцій (9...13 % Si).

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Порядок проведення роботи.
3. Відповіді на контрольні запитання.
4. Заповнити таблицю 1.9.

Таблиця 1.9 – Результати досліджень

Найменування мінералу або матеріалу	Хімічний склад	Зовнішня характеристика	Властивості	Застосування
1	2	3	4	5

Контрольні питання

1. Що таке руда?
2. Назвіть залізні руди та напишіть їхні хімічні формули.
3. Основні руди, що слугують для добування міді, алюмінію, титану, їхні формули.
4. Які види збагачення руд ви знаєте?
5. Які види палива застосовуються в металургії?
6. Найважливіші характеристики палива.
7. Із чого виготовляють вогнетриви?
8. Основні види вогнетривів.
9. Якими властивостями володіють вогнетриви?
10. Для яких цілей застосовують флюси?
11. Назвіть основні мінерали, що застосовуються як флюси.
12. Що таке розкислення сталі, для чого воно проводиться?
13. Які ступені розкислення сталі ви знаєте?
14. Що таке легування сталі?
15. Назвіть матеріали, що застосовуються для розкислення і легування сталі.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 1**1. Мінерал, який використовують для виробництва марганцю:**

- а) магнетит;
- б) малахіт;
- в) нефелін;
- г) піролюзит.

2. Мінерал, який використовується для виробництва титану:

- а) гематит;
- б) доломіт;
- в) піролюзит;
- г) рутил.

3. Температура (°C), вище за яку вогнетривкі речовини повинні зберігати твердість:

- а) 911;

- б) 1540;
- в) 1580;
- г) 1800.

4. Температура (°C), вище якої зберігають твердість матеріали вищої вогнетривкості:

- а) 1580;
- б) 1700;
- в) 1900;
- г) 2000.

5. Огнеупорный материал, огнеупорность которого достигает 2000 °C:

- а) динас;
- б) доломит;
- в) хромомагнетит;
- г) шамот.

6. Марка передельного чугуна:

- а) М1;
- б) СЧ 15;
- в) ВЧ 60-2;
- г) КЧ 30-6.

7. Процесс, у якому використовують передельні чавуни:

- а) отримання сталі;
- б) виробництво фасонних виливків;
- в) виробництво феросплавів;
- г) розкислення сталі.

8. Матеріал, який використовують для виробництва фасонних виливків:

- а) ливарний чавун;
- б) передільний чавун;
- в) феросплав;
- г) шлак.

9. Марка ливарного чугуна:

- а) М1;
- б) Мн5;
- в) ЛК1;
- г) СЧ15.

10. Марка феросплаву:

- а) М2;

- б) ФС45;
- в) ЛК7;
- г) СЧ15.

11. Тверда губчаста маса заліза (з низьким вмістом вуглецю, сірки, фосфору і кремнію) зі шлаковими включеннями:

- а) криця;
- б) феросплав;
- в) шихта;
- г) шлак.

12. Гірська порода, з якої доцільно витягувати метали:

- а) хвости;
- б) руда;
- в) порожня порода;
- г) флюс.

13. Піч, у якій виплавляють високоякісну сталь:

- а) шахтна піч;
- б) електропіч;
- в) мартенівська піч;
- г) доменна піч.

14. Піч, у якій виплавляють чавун:

- а) шахтна піч;
- б) електропіч;
- в) мартенівська піч;
- г) доменна піч.

15. Мінерал, який використовується для виробництва алюмінію:

- а) боксит;
- б) куприт;
- в) залізняк;
- г) вапняк.

16. Мінерал, який використовується для виробництва заліза:

- а) боксит;
- б) магнезит;
- в) магнетит;
- г) малахіт.

17. Мінерал, який використовується для виробництва міді:

- а) боксит;
- б) гематит;

- в) доломіт;
- г) халькопірит.

18. Найважливіша властивість металургійного палива:

- а) вологість;
- б) зольність;
- в) теплотворна здатність;
- г) хімічний склад.

19. Основне призначення флюсу під час виплавки чавуну:

- а) зв'язування порожньої породи і переведення її та золи коксу в шлак;
- б) підвищення рідинної текучості чавуну;
- в) підвищення температури шихти в зоні розпару;
- г) розкислення чавуну.

20. Процес, що протікає під час доменного виробництва чавуну, є:

- а) відновлювальним;
- б) окислювальним;
- в) періодичним;
- г) рівноважним.

21. Процес обробки руди з метою підвищення вмісту корисного компонента і зниження вмісту шкідливих домішок:

- а) дроблення;
- б) збагачення;
- в) офлюсування;
- г) рафінування.

22. Спосіб збагачення залізних руд:

- а) гравітаційне збагачення;
- б) магнітна сепарація;
- в) промивання;
- г) флотація.

23. Спосіб збагачення мідних руд:

- а) гравітаційне збагачення;
- б) магнітна сепарація;
- в) промивання;
- г) флотація.

24. Процес окускування подрібненої руди, збагаченого концентрату і колошникового пилу спіканням:

- а) агломерація;

- б) збагачення;
- в) науглерожування;
- г) флотація.

25. Металургійне паливо, що має найбільшу теплотворну здатність:

- а) кам'яне вугілля;
- б) кокс;
- в) мазут;
- г) природний газ.

26. Мінерал, який застосовують як флюс у металургійному виробництві:

- а) глинозем;
- б) вапняк;
- в) кварцовий пісок;
- г) халькопірит.

27. Матеріал, який використовують для легування і розкислення сталі:

- а) ливарний чавун;
- б) передільний чавун;
- в) феросплав;
- г) шлак.

28. Процес, що протікає під час виплавки сталі, є:

- а) відновлювальним;
- б) окислювальним;
- в) періодичним;
- г) рівноважним.

29. Процес отримання сталі методом продування повітрям або киснем рідкого передільного чавуну:

- а) мартенівське виробництво;
- б) конвертерне виробництво;
- в) виробництво сталі в електропечах;
- г) доменне виробництво.

30. Полум'яна ренегеративна піч для виплавки сталі:

- а) вагранка;
- б) мартенівська піч;
- в) конвертер;
- г) електрична дугова піч.

31. Піч, у якій отримують алюміній:

- а) мартенівська піч;
- б) конвертер;
- в) електрична дугова піч;
- г) електролізер.

32. Один з основних методів отримання порошку міді:

- а) розмелювання в кульових млинах;
- б) метод міжкристалітної корозії;
- в) відцентрове розпилення;
- г) електроліз розчину CuSO_4 .

33. Установіть відповідність групи вихідних матеріалів металургійного виробництва назві матеріалу:

Група вихідних матеріалів

Назва матеріалу:

металургійного виробництва:

- 1) руда;
- 2) паливо;

- а) вапняк;
- б) боксит;
- в) кокс.

34. Установіть відповідність групи вихідних матеріалів металургійного виробництва назві матеріалу:

Група вихідних матеріалів

Назва матеріалу:

металургійного виробництва:

- 1) флюс;
- 2) вогнетривка цегла;

- а) вапняк;
- б) залізняк;
- в) шамот.

35. Установіть відповідність назви металургійної печі назві металу або сплаву, що виплавляється в ній:

Назва печі:

Назва металу або сплаву:

- 1) домна;
- 2) конвертер;
- в) чавун.

- а) сталь;
- б) алюміній;

36. Доповніть:

Гірська порода, з якої доцільно витягувати метали, називається_____.

37. Установіть правильну послідовність виготовлення деталей із металевих порошків:

- а) пресування заготовок;
- б) отримання порошків;
- в) спікання заготовок;
- г) калібрування заготовок.

ТЕМА 2. ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

План

2.1 Лиття в піщано-глинисті форми

2.2 Спеціальні методи лиття

Ливарне виробництво - це галузь машинобудування, що виробляє фасонне і заготівельне лиття з різних металів і сплавів [3,14].

Кінцеву продукцію ливарного виробництва, яку отримують шляхом заливання розплавленого металу або сплаву в спеціальну форму, порожнина якої має конфігурацію необхідної деталі або заготовки, називають **виливкою**. Під час охолодження залитий метал твердне і зберігає конфігурацію тієї форми, в яку був залитий.

У процесі кристалізації розплавленого металу і подальшого охолодження формуються механічні та експлуатаційні властивості виливків.

Лиття є важливим і економічно вигідним способом виробництва. У багатьох випадках лиття є єдино можливим способом виготовлення потрібних деталей. Особливо це проявляється в тих випадках, коли потрібно виготовити деталі великих розмірів і маси, а також складної конфігурації. Литтям отримують різноманітні конструкції виливків масою від кількох грамів до 300 тонн, завдовжки від кількох сантиметрів до 20 метрів з товщиною стінок від 0,5 до 500 мм.

Для виготовлення виливків застосовують такі способи лиття:

- ◆ у піщано-глинисті форми;
- ◆ в оболонкові форми;
- ◆ за виплавлюваними моделями;
- ◆ кокільне лиття;
- ◆ відцентрове лиття;
- ◆ під тиском та ін.

2.1 Лиття в піщано-глинисті форми

Найширше застосування має лиття в піщано-глинисті форми.

Литтям у піщано-глинисті форми (рисунок 2.1) виготовляють 80 % загальної кількості виливків. Однак чистота поверхні і точність цих виливків у більшості випадків не задовольняє вимогам сучасного машинобудування. Тому з кожним роком набувають дедалі більшого застосування спеціальні способи лиття, що дають змогу отримати виливки підвищеної точності, з мінімальним обсягом механічної обробки.

Ливарна форма призначена для того, щоб забезпечити:

- 1) необхідну конфігурацію і розміри виливки;
- 2) задану точність і якість поверхні виливки;
- 3) певну швидкість охолодження залитого металу для формування необхідної структури сплаву та отримання відповідних механічних

властивостей і якості виливки.

Для виготовлення піщано-глинистої ливарної форми необхідно мати модельний комплект та інше ливарне оснащення.

Процес виготовлення ливарної форми називається **формуванням**. Формування буває *ручне* і *машинне*.

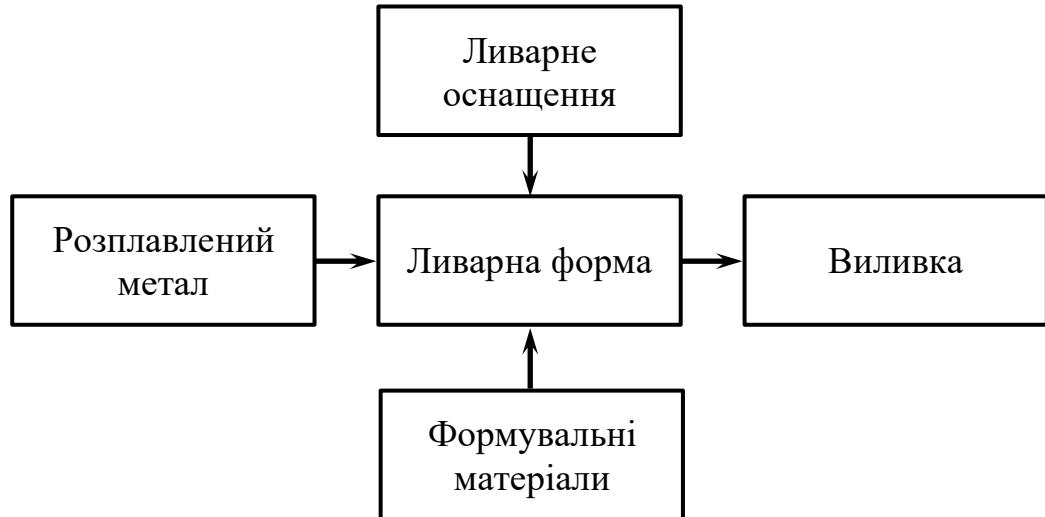


Рисунок 2.1 - Схема технологічного процесу отримання виливків у піщано-глинисті форми

Машинне формування є основним методом виготовлення форм у масовому, великосерійному і серійному виробництвах. Машини дають змогу механізувати дві основні операції формування: ущільнення суміші та видалення моделі з форми і, крім того, деякі допоміжні операції (влаштування ливникових каналів, поворот опок тощо). При механізації процесу формування поліпшується якість ущільнення, зростає точність геометричних розмірів виливки, різко підвищується продуктивність праці, полегшується праця робітника і поліпшуються санітарно-гігієнічні умови в цеху, зменшується кількість браку.

Для індивідуального або дрібносерійного виробництва (наприклад, у ремонтних майстернях) застосовується **ручне формування** з використанням *модельного комплекту*. До модельного комплекту входять:

- підмодельна плита,
- нижня і верхня опоки,
- модель виливки,
- моделі ливникової системи,
- стрижневий ящик.

Крім перерахованих основних деталей модельного комплекту в ливарне оснащення входять різні інструменти, лопатки, трамбування, підйоми, гачки, щітки тощо.

Модель виливки - це пристосування, за допомогою якого в ливарній формі відтворюють зовнішній контур майбутньої виливки.

При машинному формуванні металева підмодельна плита використовується для кріплення моделей виливки та елементів ливникової системи.

У разі масового виробництва моделі виготовляють із металів або сплавів, у разі дрібносерійного - з дерева (сосна, береза, липа) з вологістю не більше ніж 10 %. Моделі можуть бути *роз'ємними* і *нероз'ємними*.

Моделі виготовляють з урахуванням припусків на механічну обробку і ливарну усадку. Моделі виливки з внутрішніми порожнинами мають на кінцях виступи (стрижневі знаки). Знаки необхідні для утворення у формі заглиблень, у які укладаються стрижні.

Стрижні призначені для отримання (відтворення) внутрішніх порожнин, отворів, каналів тощо.

Стрижневі ящики служать для виготовлення піщаних стрижнів. Як і моделі, їх виготовляють з урахуванням ливарної усадки і припусків на механічну обробку. На рисунку 2.2 показано: чавунну втулку після механічної обробки виливки (позиція а), модель виливки (б), стрижневий ящик (в) і виливок із затверділими елементами ливникової системи (г), де 1 - виливок; 2 - випір; 3 - чаша; 4 - стояк; 5 - шлаковловлювач; 6 - живильник.

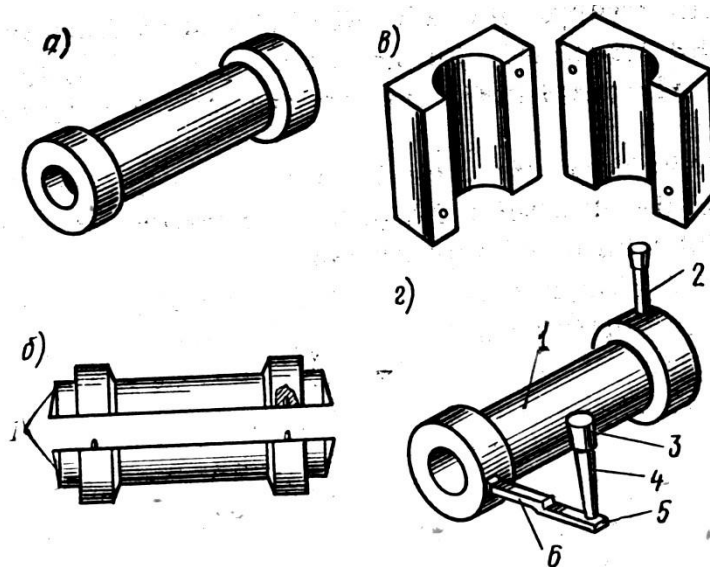


Рисунок 2.2 – Готова деталь і елементи модельного комплекту

Моделі ливникової системи слугують для утворення у формі каналів, якими рідкий метал підходить до порожнини форми і живить виливок у процесі його кристалізації.

Для виробництва виливків у піщано-глинистих формах найчастіше застосовують ливникову систему, що складається з чаші, стояка, шлаковловлювача, живильників і випору (рисунок 2.3).

Чаша служить приймачем розплавленого металу. Перетин чаші значно більший за перетин стояка, тому метал у ній якийсь час

затримується, і частина шлаку спливає на поверхню. Стояк служить продовженням чаші. Шлаковловлювач служить для відділення шлаку від металу і передає метал до живильників.

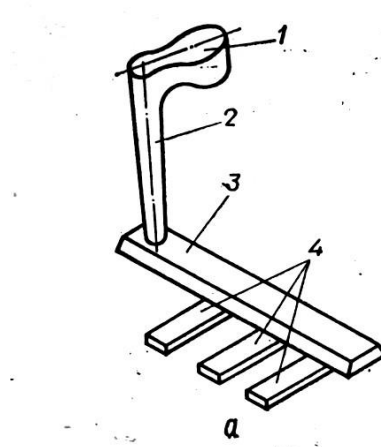


Рисунок 2.3 – Елементи ливникової системи в зборі:
1 - чаша; 2 - стояк; 3 - шлаковловлювач; 4 - живильники

Живильники служать для підведення металу зі шлаковловлювача в порожнину форми і найчастіше виконуються по роз'єму нижньої напівформи. Розрахунок ливникової системи зводиться до визначення перетину живильників:

$$\sum F_n = \frac{Q}{\tau \cdot k \cdot L}, \quad (2.1)$$

де $\sum F_n$ - сумарна площа поперечного перерізу живильників;

Q - маса рідкого металу, кг;

τ - тривалість заливання, с;

k - питома швидкість заливки, кг/см² с;

L - коефіцієнт рідинної плинності, $L = 1$ для чавуну і сталі, для інших металів і сплавів $L = 0,8$.

Необхідно витримувати таке співвідношення:

$$\sum F_{ст} > \sum F_{шл} > \sum F_{жив}, \quad (2.2)$$

де $\sum F_{ст}$ - сумарна площа поперечного перерізу стояків;

$\sum F_{шл}$ - сумарна площа поперечного перерізу шлаковловлювачів;

$\sum F_{жив}$ - сумарна площа поперечного перерізу живильників.

Можливість отримання якісних виливків визначається ливарними властивостями сплавів.

Найважливішими ливарними властивостями сплавів є:

- рідинна плинність;
- усадка (лінійна та об'ємна);

- схильність до утворення тріщин;
- схильність до поглинання газів і утворення газових раковин;
- пористості тощо.

Рідинна текучість - це здатність металів і сплавів текти в розплавленому стані каналами ливникової системи, заповнювати порожнини ливарної форми і чітко відтворювати контури виливки. Рідкотекучість залежить від таких чинників:

- хімічний склад сплаву і температура його нагрівання;
- теплофізичні властивості форми;
- технологічні умови лиття.

Найбільша рідкотекучість характерна для чистих металів і евтектичних сплавів, а найменша - для сплавів на основі твердих розчинів.

У залізовуглецевих сплавах з підвищенням вмісту вуглецю, кремнію, марганцю, нікелю, фосфору рідинна плинність збільшується, а з підвищенням вмісту хрому і сірки - знижується.

Усадкою називається зменшення лінійних і об'ємних розмірів сплавів під час затвердіння та охолодження. У результаті усадки у виливку можуть утворитися викривлення, тріщини і раковини. Розрізняють *лінійну* та *об'ємну* усадку.

Лінійна усадка - зменшення лінійних розмірів виливки під час її охолодження від температури утворення міцної кірки (скелета), здатної протистояти тиску рідкого металу, до температури навколишнього середовища:

$$E = \frac{L_{\phi} - L_{\text{вил}}}{L_{\text{вил}}}, \quad (2.3)$$

де E - лінійна усадка;

L_{ϕ} - лінійні розміри форми;

$L_{\text{вил}}$ - лінійні розміри виливки.

Лінійна усадка залежить від хімічного складу сплаву, температури заливки, швидкості охолодження, конструкції виливки.

Наприклад, усадка сірого чавуну зменшується зі збільшенням вмісту вуглецю і кремнію. Зниження температури заливки зменшує усадку виливки з будь-якого сплаву. Під час охолодження виливки відбувається механічне і термічне гальмування усадки.

Механічне гальмування виникає внаслідок тертя між виливком і формою. Термічне гальмування зумовлене різними швидкостями охолодження окремих частин виливки.

Складні за конфігурацією виливки піддаються спільному впливу механічного і термічного гальмування.

Більшість сплавів мають ливарну усадку, що не перевищує 3 %, наприклад:

- ♦ сірий чавун - 1,1...1,3 %;

- ♦ вуглецева сталь - 1,2...2,4 %;
- ♦ легована сталь - 2,5...3,0 %;
- ♦ безолов'янисті бронзи - 1,6...2,2 %;
- ♦ латунь - 1,5...1,9 %;
- ♦ олов'янисті бронзи - 1,0...1,5 %.

Об'ємна усадка - зменшення об'єму сплаву при його охолодженні в ливарній формі в процесі формування виливки:

$$E_{об} = \frac{V_{\phi} - V_{вил}}{V_{вил}}, \quad (2.4)$$

де $E_{об}$ - об'ємна усадка;

V_{ϕ} - об'єм порожнини форми за 20 °С;

$V_{вил}$ - об'єм виливки за 20 °С.

Об'ємна усадка приблизно дорівнює потрібній лінійній усадці.

Усадка у виливках проявляється у вигляді усадочних раковин, пористості, тріщин і викривлень.

Вихідними матеріалами для виготовлення *формувальних сумішей* слугують *формувальні піски і глини*.

Формувальні піски добувають у спеціальних кар'єрах і класифікують за ГОСТом на такі класи:

- К - кварцові (до 2 % глини);
- Х - худі (2...10 % глини);
- Н - напівжирні (10...20 % глини);
- Ж - жирні (20...30 % глини);
- ДЖ - дуже жирні (30...50 % глини).

Піски за величиною зерен поділяються на:

- грубий (0,4...1,0 мм);
- дуже великий;
- великий;
- середній;
- дрібний;
- дуже дрібний;
- тонкий;
- пилоподібний (0,05...0,06 мм).

Крім піску і глини в формувальні суміші вводять сполучні речовини і різні добавки.

Як сполучну добавку найчастіше використовують рідке скло. Інші добавки надають певних властивостей: протипригарні, що знижують прилипання до моделі, підвищують газопроникність. В якості таких добавок використовують кам'яно-вугільний пил, графіт, мазут, торф, тирсу тощо.

Формувальні суміші поділяються на облицювальні, наповнювальні та єдині.

Облицювальна суміш безпосередньо стикається з металом, складається переважно зі свіжих матеріалів. Товщина облицювального шару залежить від розмірів деталей і коливається від 20 до 50 мм.

Наповнювальні суміші слугують для набивання іншої частини форми. Вони насамперед мають бути міцними і газопроникними. Складаються в основному з відпрацьованих матеріалів.

Єдина суміш застосовується при машинному формуванні при масовому виробництві.

Основними властивостями формувальних сумішей є:

- газопроникність;
- міцність;
- пластичність;
- піддатливість;
- вогнетривкість;
- довговічність.

Газопроникність - здатність суміші добре пропускати пари води і гази, що утворюються під час зіткнення гарячого металу з формою. Якщо газопроникність недостатня, то утворюються газові раковини. Пісок покращує газопроникність, глина - погіршує.

Міцність - здатність зберігати форму під впливом зовнішніх сил (насамперед ударна дія металу, що заливається).

Пластичність - здатність добре формуватися, сприймати і добре зберігати форму.

Податливість - здатність не перешкоджати усадці під час охолодження виливки.

Вогнетривкість - здатність суміші протистояти місцевому перегріву від металу, що заливається у форму.

Довговічність - здатність суміші зберігати робочі властивості при повторному використанні.

2.2 Спеціальні методи лиття

Кокільне лиття

Сутність методу полягає в тому, що замість разової піщано-глинистої форми використовують металеву форму, звану *кокілем*.

Переваги кокільного лиття:

1. Маючи порівняно з піщано-глинистими формами в 60 разів більшу теплопровідність, кокілі забезпечують дрібнозернисту структуру виливків, що підвищує їхню міцність.

2. При кокільному литті відпадає необхідність у модельно-опорному оснащенні, у формувальних сумішах, підвищується точність і чистота поверхні виливків.

3. Технологічний процес кокільного лиття можна легко механізувати.

4. Металеві форми використовуються багаторазово.

Поряд із перевагами у кокільного лиття є й *недоліки*:

1. Висока вартість кокілів дає змогу використовувати їх тільки в серійному і масовому виробництві;

2. Існує небезпека утворення тріщин через невіддатливість металевої форми;

3. Чавунні виливки в кокілях виходять вибіленими і потребують тривалого відпалу, що підвищує вартість їх виробництва.

За конструкцією кокілі розрізняють нероз'ємні та роз'ємні (рисунк 2.4).

Роз'ємні кокілі бувають із *горизонтальним* і *вертикальним* роз'ємами.

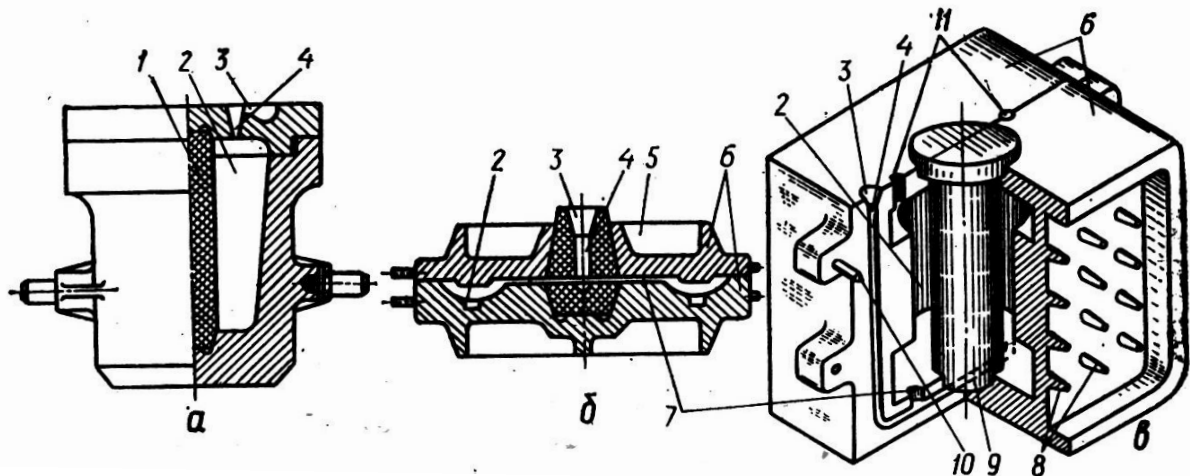


Рисунок 2.4 – Металеві ливарні форми (кокілі):
а - нероз'ємні; б - роз'ємні

Роз'ємні кокілі складаються з двох половин 6, які центруються штирями 10. Щоб уникнути викривлення, кокілі мають ребра жорсткості 5, або їх роблять коробчастої форми. Для прискорення охолодження на зовнішній поверхні відливають пальці 8. Внутрішню порожнину виливки при кокільному литті отримують за допомогою піщаного 1 або металевого 9 стрижнів.

Метал заливають у ливникову чашу 3, і по стояку 4 і живильникам 7 він заповнює порожнину форми 2. Металеві стрижні виймають із форми до початку усадки металу, щоб уникнути тріщин у виливку. Ливникова система розміщується в порожнині роз'єму кокіля. Для виходу повітря з форми під час заливки металу в роз'ємі форми є випори 11. Виготовляють кокілі з сірого чавуну, сталі, кольорових металів і сплавів.

Стійкість кокілів становить:

- ◆ для алюмінієвих виливків до 50000;
- ◆ для мідних виливків до 10000;
- ◆ для виливків зі сталі та чавуну до 5000.

Лиття в оболонкові форми

Литтям в оболонкові форми називається такий метод лиття, за якого виливки отримують у формі, що складається з двох піщано-смоляних оболонок [3,14].

Виготовлення оболонкових форм і стрижнів виготовляють із дрібнозернистого кварцового піску з додаванням в якості сполучної речовини штучної термореактивної смоли. Характерною особливістю таких смол є їхня здатність за певної температури необоротно тверднути. Під час нагрівання до 200...250 °С ці смоли розплавляються, перетворюючись на клейку масу, і обволікають зерна кварцового піску, а потім під час підвищення температури до 300...350 °С вже через кілька секунд тверднуть. Як зв'язувальну речовину зазвичай використовують фенол формальдегідну смолу марки ПК-104, якої в формувальних сумішах міститься 6...8 %, а в стрижневих 4...5 %.

Для виготовлення оболонок зазвичай застосовують чавунні підмодельні плити, на яких зміцнюють половинки моделей, моделі ливникової системи, штовхачі та фіксатори.

Нанесення сухої піщано-смоляної суміші на модельне оснащення може здійснюватися за допомогою поворотного бункера (більш поширений метод) або піскодувним способом. Сутність методу поворотного бункера позиції полягає в таких послідовно виконуваних операціях (рисунк 2.5). Нагріту в електричній печі (250 °С), попередньо оброблену розділовим складом плиту з моделлю встановлюють на верхню відкриту частину бункера (позиції а і б). У бункер попередньо засипають піщано-смоляну суміш. Потім бункер повертають на 180°. Піщано-смоляна суміш падає і покриває нагріту модельну оснастку. За витримки 20...30 секунд смола плавиться і, обволікаючи тонкою плівкою дрібні зерна піску, утворює оболонку товщиною 6...8 мм (позиція в). Бункер повертається у вихідне положення, і формувальна суміш падає на його дно (позиція г). Зняту з бункера модельну плиту з неміцною оболонкою поміщають у піч із температурою 300...350 °С (позиція д).

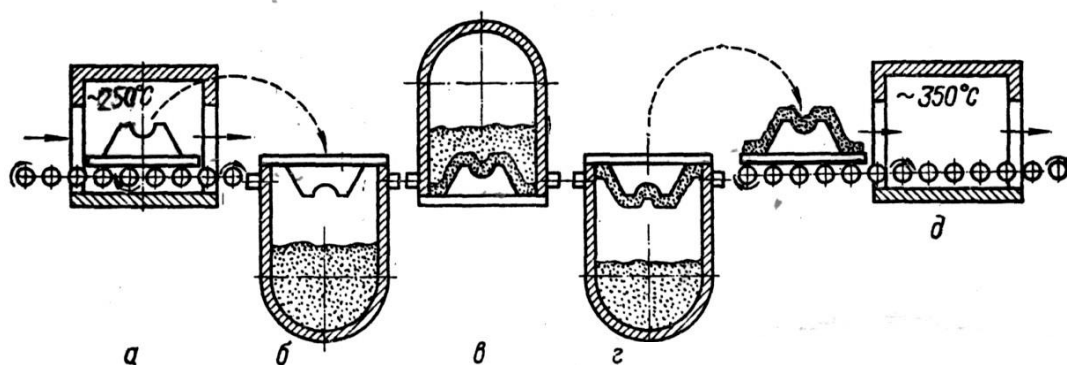


Рисунок 2.5 – Схема виготовлення оболонкових форм

За витримки 2...3 хв смола полімеризується і необоротно твердне, утворюючи міцну оболонкову напівформу. За такою ж технологією виготовляють іншу напівформу. Оболонкові напівформи збирають, склеюючи швидкоотверднувачим термореактивним клеєм. Перед складанням у напівформи встановлюють стрижні. Точність складання забезпечується пристроєм типу виступ-впадина. Для цього на одній плиті виготовляють оболонки з виступами, а на іншій - із западинами.

Готові оболонкові форми встановлюють у металеві ящики, засипають крупним піском або чавунним шротом, заливають рідким металом і отримують виливок. До моменту повної кристалізації металу смола вигорає, форма і стрижні знеміцнюються і легко руйнуються, звільняючи виливок.

Переваги лиття в оболонкові форми:

1. Виливки отримують з точнішими розмірами (клас 7-8), з вищою чистотою поверхні і меншими припусками на механічну обробку.
2. Зменшується трудомісткість виготовлення виливків, відпадає необхідність в опоках.
3. Скорочується витрата формувальних матеріалів і кількість металу, завдяки меншим розмірам ливникових каналів.

Недоліки методу:

1. Оболонкова форма служить один раз.
2. Висока вартість формувальної суміші, модельного оснащення та обладнання.
3. Виділення шкідливих газів під час нагрівання оболонок і заливки металу, що викликає необхідність примусової вентиляції.

Метод лиття в оболонкові форми застосовується для виготовлення порівняно невеликих виливків під час серійного і масового виробництва, в тих випадках, коли підвищені витрати на формувальну суміш, оснащення та обладнання компенсуються зниженням обсягу механічного оброблення, підвищенням продуктивності праці та отриманням виливків з точнішими розмірами і високою чистотою поверхні.

Лиття під тиском

Сутність методу полягає в тому, що рідким металом примусово заповнюють металеву прес-форму під тиском, який підтримують до повної кристалізації виливки.

Тиск забезпечує швидке заповнення форми, високу точність і чистоту поверхні виливки, виключає можливість утворення усадочних раковин і пористості.

Виливки, отримані цим методом, не мають припусків на механічну обробку, і після видалення з форми є готовими деталями.

Литтям під тиском отримують виливки з товщиною стінки до 0,5 мм, складної конфігурації, з дрібнозернистою структурою.

Недоліки методу:

1. Висока вартість прес-форм, що мають складну конфігурацію і потребують високої точності виготовлення, зумовлює доцільність застосування лиття під тиском тільки у великосерійному та масовому виробництві під час виготовлення виливків складної конфігурації з кольорових металів і сплавів масою до 50 кг.

Лиття під тиском здійснюють здебільшого на поршневих машинах високої продуктивності, що дають 200...400 виливків на годину. Поршнєві машини випускають із гарячою або холодною камерою стиснення, з горизонтальним або вертикальним розташуванням.

На машинах з вертикальною холодною камерою стиснення (рисунок 2.6) розплав 4 заливають у камеру стиснення 5. Верхній поршень 1, опускаючись, тисне на розплав і нижній поршень 10, який під час руху донизу відкриває ливниковий канал 3.

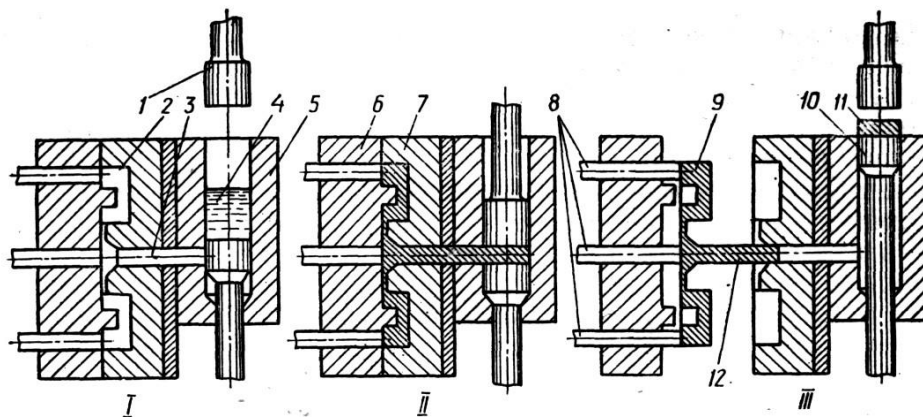


Рисунок 2.6 – Схема поршнєвої машини з вертикальною холодною камерою стиснення

Метал заповнює порожнину 2 прес-форми, що складається з двох половин 6 і 7 (положення II). Обсяг рідкого металу має бути більшим за об'єм порожнини форми, щоб між верхнім і нижнім поршнем залишався надлишок металу. Тиск верхнього поршня підтримують до повної кристалізації виливки, після чого прес форму розкривають і виливок 9 разом із літником 12 виштовхують із форми штовхачами 8. Нижній поршень виштовхує назовні надлишок металу 11, який відправляють у переплав (положення III).

Електрошлакове лиття (ЕШЛ)

Сутність процесу полягає в поступовому електрошлаковому переплаві електрода, що витрачається, у водоохолоджуваній циліндричній формі з подальшою кристалізацією розплавленого металу. При цьому способі лиття отримують метал найвищої якості.

При електрошлаковому литті ливарна форма виконує дві функції:

1) служить плавильним агрегатом;

2) формує виливок.

Процес відбувається під шаром рідкого шлаку, який слугує джерелом тепла, очищає метал від сірки і фосфору, захищає його від кисню і азоту повітря. Кристалізація виливки відбувається від низу до верху за участю малих об'ємів рідкого металу, що означає дендритну ліквідацію і утворення усадочних раковин.

Електрошлакове лиття знаходить застосування в енергетичному машинобудуванні, цим способом виготовляють корпуси атомних реакторів, парогенераторів надвисоких тисків, колінчасті вали потужних дизелів (суднобудування), прокатні валки, штампи тощо.

Принципова схема електрошлакового лиття показана на рисунку 2.7.

Процес отримання виливків при ЕШЛ відбувається в такій послідовності. Зі сталі, призначеної для переплаву, спочатку виготовляють електроди. Потім на мідний піддон 3 кладуть шайбу (затравку) з тієї ж, що й електроди, сталі. На шайбу насипають електроприводний флюс, електрод опускають до зіткнення з флюсом, потім у зазор між стінкою кристалізатора 2 і електродом 1 засипають робочий флюс, що складається з суміші Al_2O_3 , CaO , CaF_2 і подають напругу. Спочатку горить електрична дуга, робочий флюс плавиться, і утворюється шлак з температурою близько $2500\text{ }^{\circ}C$. Потім дуга гасне, і робочий процес триває за рахунок тепла, що виділяється в шарі розплавленого шлаку.

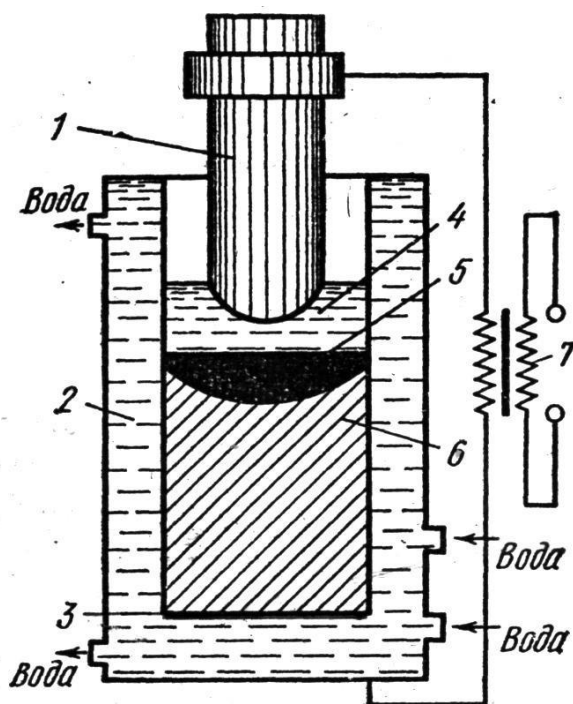


Рисунок 2.7 – Схема отримання виливків способом електрошлакового лиття:

- 1 - електрод, що витрачається; 2 - кристалізатор; 3 - піддон;
- 4 - розплавлений шлак; 5 - рідкий метал; 6 - отриманий злиток;
- 7 - трансформатор

Внаслідок високого електричного опору шлаку, під час проходження через нього електричного струму відбувається виділення тепла. Завдяки цьому теплу електрод розплавляється, на кінці його утворюється шар рідкого металу, який у вигляді крапель пронизує розплав шлаку, очищається від шкідливих домішок (сірки), непотрібних включень і розчинених газів. Рідкий метал накопичується під шлаком, утворюючи ванну 5.

Шар рідкого металу, розташований поблизу кристалізатора, твердне і поступово формується виливок 6. Інтенсивне відведення тепла забезпечує спрямовану від низу до верху кристалізацію металу в зливку.

В результаті (при дотриманні всіх технологічних вимог) метод ЕШЛ дозволяє виготовити заготовки, що володіють наступними перевагами в порівнянні з заготовками, отриманими іншими методами: точний хімічний склад металу, його «чистота», однорідна щільність, відсутність порожнин в тілі заготівлі, мінімальні припуски на механічну обробку і відповідно мінімальні відходи у процесі механічної обробки. Оптимальне використання металу для виливки дозволяє знизити собівартість виробу та забезпечити йому максимально конкурентну ціну.

Відцентрове лиття

Сутність методу полягає в тому, що рідкий метал заливають в ливарну форму, що обертається з певною швидкістю, яка обертається протягом усього часу кристалізації металу. Залитий метал відцентровою силою притискається до стінок форми, що забезпечує одержання щільних, з підвищеною міцністю виливків, оскільки гази і шлак, що володіють меншою густиною, витісняються у внутрішні порожнини виливка і видаляються подальшою механічною обробкою.

Металеві форми при відцентровому литті називаються *виливницями*, які виготовляють зі сталі або чавуну.

Коли зовнішні поверхні виливків мають складну форму (виточки, паски тощо), застосовують металеві форми, футеровані зсередини піщано-глинистою або піщано-смольною сумішшю. Нанесення футерування здійснюється формуванням за моделлю або накаткою роликком.

Вісь обертання форми може бути горизонтальною, вертикальною або похилою. Якщо діаметр виливки значно менший за її довжину (труби, гільзи, втулки), то вісь обертання форми встановлюють горизонтально. Якщо діаметр виливки більший, ніж її висота (колеса, шків, шестерні), то вісь обертання розташовують вертикально. В обох випадках вісь виливки збігається з віссю обертання форми, і внутрішня порожнина виходить без стрижнів, а товщина стінки виливки визначається кількістю металу, що заливається. Цей спосіб використовують під час виготовлення виливків, що мають форму тіла обертання.

Для регулювання теплового режиму і збільшення стійкості металевих форм, на робочі поверхні після попереднього підігріву (до 200

°С) наносять шар захисного покриття з дрібного кварцового піску, подрібненого піску, подрібненого феросиліцію, алюмінієвої пудри, пиловидного графіту та ін.

Послідовність виготовлення виливків на відцентрових машинах з горизонтальною і вертикальною осями обертання показана на рисунку 2.8.

Після підготовки виливницю 1 закривають кришкою 2 і заливають розплавом через жолоб 4 з ковша 3.

Позиція I відповідає етапу заливки розплавом обертової форми, II - формування і затвердіння виливки, III - виймання готового виливки з форми за допомогою захоплень або штовхачів.

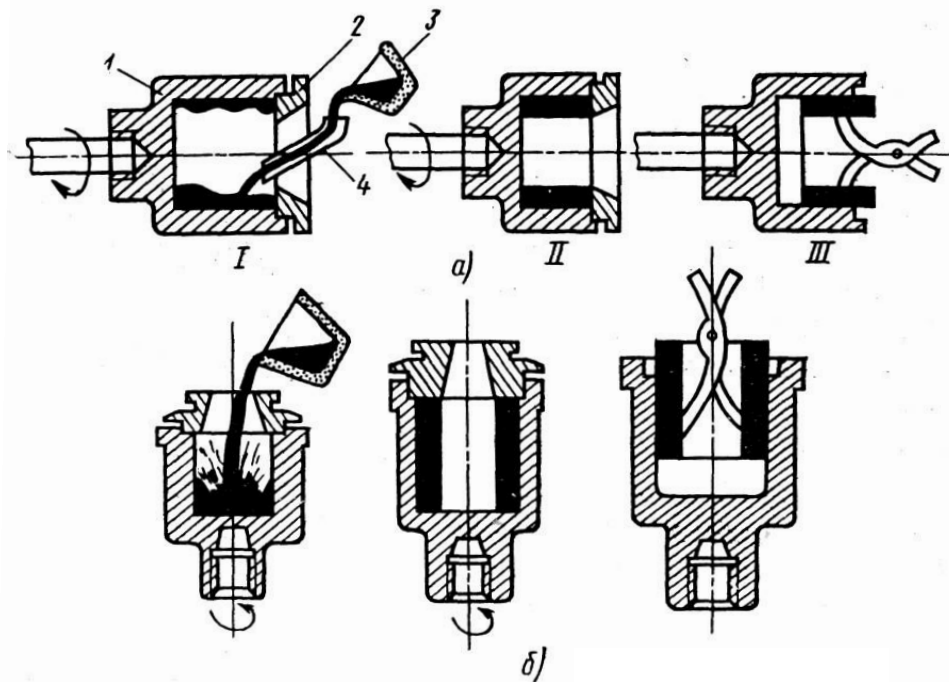


Рисунок 2.8 – Схема отримання виливків відцентровим литтям:

а - на машинах з горизонтальною віссю обертання;

б - із вертикальною віссю обертання

Відцентровим способом відливають труби діаметром від 50 до 1500 мм і завдовжки 4-5 м, залізничні колеса і бандажі, гільзи автотракторних двигунів, заготовки для поршневих кілець, шестерні, шків, гарматні стовбури тощо.

Відцентрове лиття є високопродуктивним способом, що добре піддається механізації та автоматизації.

Цей вид лиття дає змогу виготовити виливки масою від кількох грамів до десятків тонн.

Переваги відцентрового лиття полягають у:

- 1) відсутності ливникової системи;
- 2) підвищеній щільності виливків за рахунок зменшення пор, раковин та інших дефектів;
- 3) високих механічних властивостях виливків.

Цей спосіб лиття дає можливість отримання виливків із двох і більше металів, що розташовуються шарами (вкладиші корінних і шатунних підшипників двигунів).

Недоліками методу є:

- 1) великі припуски на механічну обробку внаслідок нерівностей і забруднення внутрішньої поверхні виливки неметалевими включеннями;
- 2) складність одержання виливки з отвором точного розміру, тому що діаметр отвору залежить від кількості металу, що заливається;
- 3) збільшення ступеня ліквіації сплаву за перетином виливки.

Лиття за виплавленими моделями

Процес виготовлення виливків за виплавленими моделями зустрічається в послідовності декількох технологічних операцій.

З легкоплавкого модельного складу (50 % парафіну і 50 % стеарину) в металевій прес-формі 1 (рисунок 2.9) виготовляють моделі виливків і ливникової системи.

Модельний склад 2 заливають або запресовують під тиском 20...30 мПа в зібрану прес-форму. Після затвердіння модель витягують із прес-форми. Отримані моделі збирають у блоки, для чого їх приєднують до ливникової системи 4 за допомогою паяльника 5.

На отриманий блок наносять шляхом занурення суспензію, тобто рідке облицювальне покриття 6, що складається з 30 % гідролізованого етилсилікату і 70 % пилоподібного кварцу. Після цього блок обсіпають дрібним сухим кварцовим піском 7 і сушать за кімнатної температури 5-6 годин. Занурення, обсіпання і сушіння повторюють кілька разів, поки на моделях не утвориться вогнетривка оболонка потрібної товщини (2,5...3,0 мм). Потім модель виплавають з оболонки. Блоки поміщають (ливниковою лійкою вниз) у термошафу з температурою 110...120 °С або занурюють у гарячу воду 8 з температурою 90...95 °С. Після виплавлення моделей і ливникової системи пустотілу вогнетривку оболонкову вогнетривку форму 9 поміщають у металевий ящик 10. У ящик навколо оболонки до самої воронки засипають сухий кварцовий пісок 11. Підготовлені таким способом форми завантажують у нагріту до 850...900 °С електропіч 12 і витримують 4-4,5 годин. При цьому вигорає парафіно-стеаринова суміш, вогнетривка оболонка твердне, а її робоча поверхня стає гладкою. Після прожарювання форму заливають розплавленим металом 13.

Після затвердіння й охолодження металу виливки 14 виймають з опок і відбивають з них керамічну оболонку.

Цей метод лиття має свої переваги і недоліки. Керамічна суспензія дає змогу точно відтворити контури моделі, а утворення щільної нероз'ємної ливарної форми сприяє отриманню виливків з високою точністю геометричних розмірів і малою шорсткістю поверхні, що знижує обсяг механічної обробки. Заливка розплавленого металу в гарячі форми дає змогу одержати тонкостінні та вельми складні за конфігурацією

виливки з жароміцних важкооброблюваних сплавів і корозійностійких сталей із масою від кількох грамів до 100 кг.

Однак, через тривалість технологічного процесу (більше двох діб), високу вартість виливків і одноразове використання форми, застосування цього методу обмежується головним чином виготовленням дрібних і складних виливків у серійному і масовому виробництві.

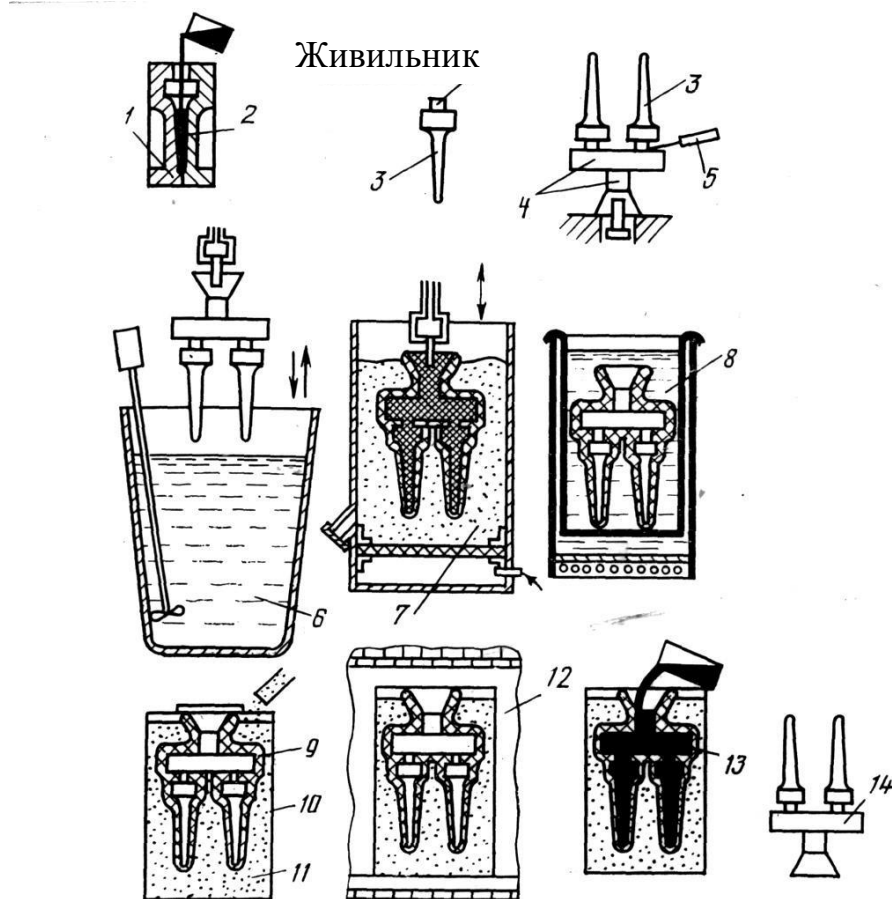


Рисунок 2.9 - Схема виготовлення виливків за виплавлюваними моделями:

- 1 - прес-форма; 2 - модельний склад; 3 - модель; 4 - ливникова система; 5 - паяльник; 6 - облицювальне покриття; 7, 11 - кварцовий пісок;
- 8 - гаряча вода; 9 - порожниста оболонкова форма;
- 10 - металевий ящик; 12 - електропіч; 13 - розплавлений метал;
- 14 - виливок.

Крім виплавлюваних моделей у ливарному виробництві використовують випалювані моделі під час виготовлення відповідальних виливків масою до 3,5 т із чавуну, сталі та кольорових сплавів в індивідуальному виробництві. Для виготовлення випалюваних моделей використовують пінополістирол, який у 50...100 разів легший за деревину, легко ріжеться гарячим дротом і легко склеюється. Склеюванням можна отримати полістиролові випалювані моделі найскладнішої конфігурації.

Цей метод відрізняється більшою точністю та економією металу через відсутність формувальних ухилів. Моделі з ливниковою системою заформовують у металеві ящики, і в процесі заливки рідкий метал випалює їх і одночасно заповнює порожнину форми.

Безперервне лиття

Під час отримання заготовок у металургії та при виготовленні фасонних виливків різних профілів у ливарному виробництві широке застосування отримало безперервне лиття. Безперервне розливання сталі є одним з високоефективних матеріало- і трудозберігаючих процесів у металургійній промисловості на спеціальних установках для безперервного розливання сталі (УБРС). Нині розроблено машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), на яких отримують різні виливки із залізовуглецевих, мідних, алюмінієвих та інших сплавів. МБЛЗ залежно від характеру руху заготовки, що формується, діляться на:

- ◆ радіальні та криволінійні (в умовах високопродуктивних цехів);
- ◆ горизонтальні (відливання заготовок малих перетинів, але широкого сортаменту);
- ◆ вертикальні (для розливання якісних сталей).

Сутність безперервного способу (рисунок 2.10) полягає в тому, що рідкий метал безперервно заливають у кристалізатор, що являє собою водоохолоджувану виливницю без дна.

Сталь із ковша 6 надходить у розливний дозувальний (проміжний) пристрій 1, а з останнього - в кристалізатор 2. Спочатку в нижню частину кристалізатора вводять затравку, наприклад, металеву штангу, нижній кінець якої знаходиться в тягнучих роликах 4, а верхній утворює тимчасове дно кристалізатора. Потім у водоохолоджуваний кристалізатор заливається метал і вмикається механізм витягування 4. Останній за допомогою тягнучих роликів опускає затравку і злиток, що утворився, вниз.

Заливка металу в кристалізатор і опускання злитка відбуваються з граничною швидкістю (1,0...2,5 м/хв). Виходячи з кристалізатора, злиток з ще рідкою серцевиною піддається вторинному охолодженню за допомогою розпорошеної форсунками води. Остаточо затверділий злиток у нижній частині установки розрізають газокисневим різакон 5 на мірні заготовки, що пересуваються синхронно з ним. Після відрізки шматка злитка потрібної довжини, газорізка піднімається у вихідне положення, а відрізнана заготовка транспортується в прокатний цех або на склад.

Завдяки безперервному живленню і спрямованій кристалізації, у зливках, отриманих безперервним литтям, відсутні усадочні раковини. Тому вихід придатних заготовок може досягати 96...98 % від маси сплаву, що заливається. Поверхня одержуваних злитків вирізняється гарною якістю, а метал - щільною і однорідною будовою.

Безперервним литтям отримують зливки прямокутного перерізу

розміром від 150×50 до 300×200 мм, квадратного зі стороною від 150 до 400 мм, а також круглого у вигляді товстостінних труб.

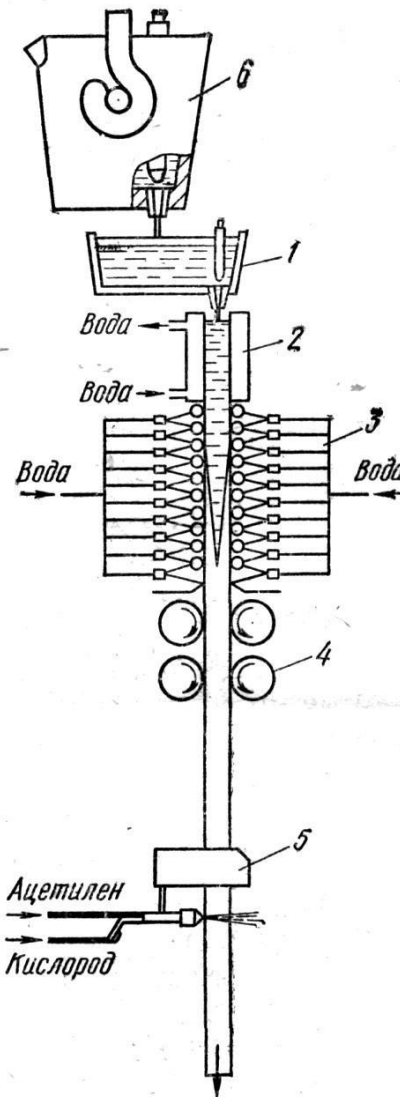


Рисунок 2.10 - Схема установки для безперервного розливання сталі:

- 1 - розливний дозувальний пристрій; 2 - мідний кристалізатор, що охолоджується проточною водою; 3 - форсунки для охолодження злитка розпиленою водою; 4 - ролики, що тягнуть злиток вниз; 5 - газорізка; 6 - стопорний ківш

Контрольні питання

- 2.1 Що є продукцією заготівельного лиття?
- 2.2 Що є продукцією фасонного лиття?
- 2.3 Які добавки включають у себе формувальні суміші, крім піску та глини?
- 2.4 Що таке газопроникність формувальної суміші?
- 2.5 Що таке міцність формувальної суміші?
- 2.6 Що таке пластичність формувальної суміші?

- 2.7 Що таке податливість формувальної суміші?
- 2.8 Яке основне призначення моделі виливки?
- 2.9 Що називається ливарною усадкою?
- 2.10 Що таке рідкоплинність сплавів, і від яких чинників вона залежить?
- 2.11 Які бувають формувальні суміші?
- 2.12 Перелічіть основні недоліки лиття в піщано - глинисті суміші.
- 2.13 Назвіть основні переваги кокільного лиття.
- 2.14 Чому при кокільному литті виникає небезпека виникнення тріщин?
- 2.15 Яка стійкість кокілів при виготовленні виливків з алюмінієвих сплавів?
- 2.16 З яких матеріалів виготовляють оболонкові форми?
- 2.17 Перелічіть основні недоліки лиття в оболонкові форми.
- 2.18 Поясніть сутність лиття під тиском.
- 2.19 Які основні переваги лиття під тиском?
- 2.20 Які функції виконує водоохолоджувана форма при електрошлаковому литті?
- 2.21 Які функції виконує рідкий шлак під час електрошлакового лиття?
- 2.22 У якому напрямку йде кристалізація злитка під час електрошлакового лиття?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКИ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТИХ ФОРМАХ

Мета заняття: ознайомиться з основами розроблення технічної документації на відливання деталі в піщано-глинистих формах.

Порядок роботи

1. Виконати ескіз заданої деталі, показати на ньому всі розміри.
2. Призначити припуски на механічну обробку і розробити креслення виливки.
3. Призначити припуски на усадку металу і розробити креслення дерев'яної моделі.
4. Оформити креслення ливарної форми в зборі (з елементами ливникової системи).

Теоретичні відомості

Розробка технологічного процесу виготовлення виливки починається з розгляду можливих варіантів її розташування у формі. Найбільша

розмірна точність виливки досягається в тих випадках, коли вона вся розташована в одній опоці.

Серед переваг методики можна відзначити такі:

- низька собівартість продукції;
- практично необмежені габарити виготовлених виливків;
- найширший асортимент лиття, включно з виробами складної форми.

Виробництво виробів литтям у землю включає кілька етапів. Коротенько схема має такий вигляд.

1. Виготовлення модельного комплекту з дерева, сталі тощо, залежно від серійності виливки.
2. Виготовлення сухої формувальної суміші з піску (переважно кварцового) і сполучного (глини).
3. Виготовлення стрижнів, ливникової системи.
4. Розміщення модельного напівкомплекту на підмодельних плитах в опоках, засипка формувальної суміші.
5. Зволоження суміші в напівформі, ущільнення ручним або механічним способом.
6. Проставка стрижнів, установка другої опоки, установка другого напівмодельного комплекту, ливникової системи.
7. Засипка і ущільнення формувальної суміші.
8. Видалення модельного комплекту, сушіння і складання готових напівформ.

Однак на практиці частіше формування здійснюють у двох опоках за роз'ємною моделлю.

Під час визначення найоптимальнішої для цієї деталі поверхні роз'єму слід керуватися такими правилами:

- ◆ 1. Розріз форми моделі краще робити по площині.
- ◆ 2. Під час вибору роз'єму форми прагнути до того, щоб у процесі її виготовлення модель могла безперешкодно витягуватися з форми.
- ◆ 3. Оптимальний варіант роз'єму форми повинен забезпечувати її виготовлення з мінімальною кількістю стрижнів.

Основою для розроблення технологічного процесу виготовлення виливки є креслення деталі. На креслення деталі відповідно до ДСТУ ГОСТ 3.1128:2014 наносять технологічні вказівки, потрібні для виготовлення модельного комплекту, форми та стрижня, і отримують креслення виливки з модельно-ливарними вказівками.

На рисунку 2.11 як приклад наведено ескізи сталевий (а) і чавунної (б) деталей. Поверхні деталей, що піддаються механічній обробці, умовно позначаються знаком ∇ . Решта поверхонь механічній обробці не підлягають, на що вказує знак $\nabla(\nabla)$ у правому куті ескізу.

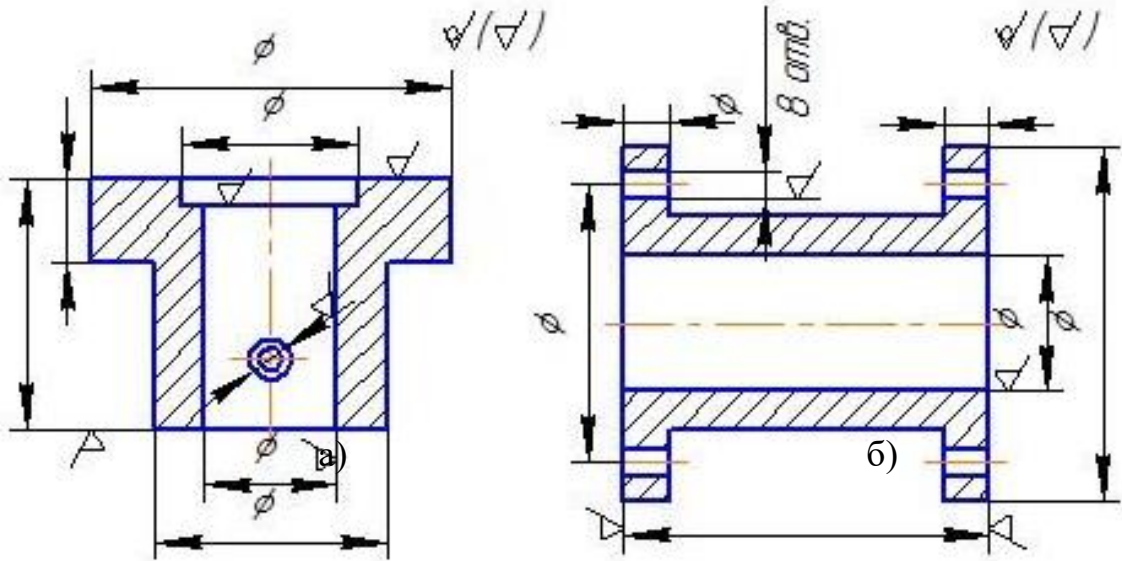


Рисунок 2.11 - Креслення деталі: а) - сталевий; б) - чавунний

Виливок відрізняється від готової деталі (рисунок 2.12) як розмірами, так і формою.

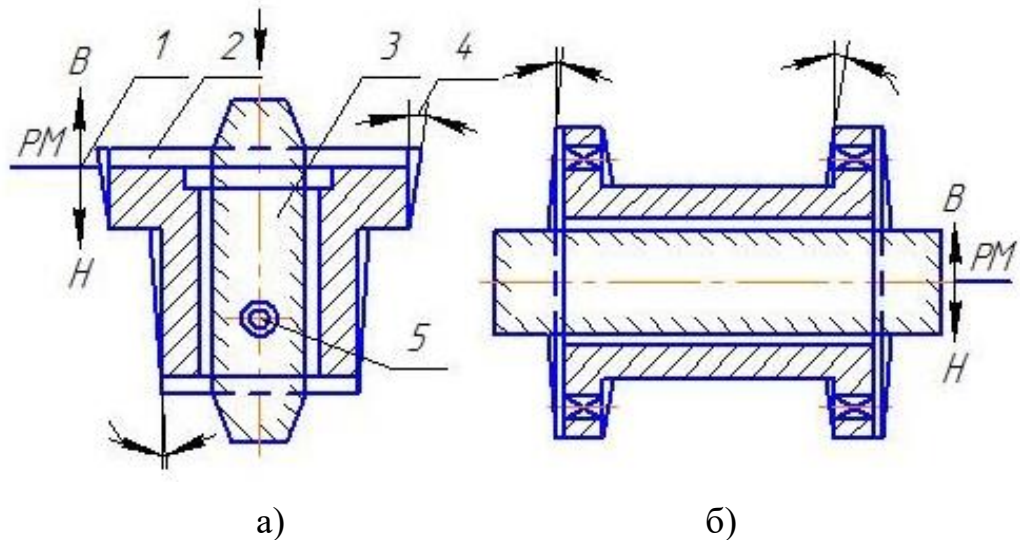


Рисунок 2.12 – Ескізи виливків: а - сталевого; б - чавунного; 1 - роз'єм моделі;

2 - припуск на механічну обробку; 3 - стрижень; 4 - формувальні ухили; 5 - необроблювані отвори

Під час розроблення ескізу виливки з ливарно-модельними вказівками на ескіз деталі умовно наносять такі дані:

♦ 1. Площина роз'єму моделі та форми (1), їх показують відрізком, над яким вказується буквене позначення роз'єму РМ. Напрямок роз'єму показують суцільною основною лінією, обмеженою стрілками,

перпендикулярною до лінії роз'єму. Положення виливки у формі під час заливання позначається буквами В (верх) і Н (низ). Букви проставляються біля стрілок, що показують напрямок роз'єму.

Під час вибору площини роз'єму найвідповідальніші поверхні виливки доцільно розташовувати в нижній частині форми або вертикально, оскільки у верхній частині виливки скупчуються дефекти - газові раковини і шлакові включення. Площину роз'єму вибирають з урахуванням зручності формування і вилучення моделі з форми. Крім того, бажано, щоб виливок або, принаймні, його базові поверхні для механічної обробки були розташовані в одній напівформі.

♦ 2. Припуски на механічну обробку (2), їх позначають суцільними тонкими лініями біля поверхонь, де вказано знак обробки (допускається виконувати лінію припуску червоним олівцем). Величини припусків визначені ДСТУ 8981:2020 і в разі одиничного виробництва обирають за III класом точності залежно від способу лиття, матеріалу виливки, положення оброблюваної поверхні під час заливання (верх, низ, бік), найбільшого габаритного і номінального розміру виливки.

♦ 3 Отвори, западини, виїмки, що не виконуються під час лиття, закреслюють суцільними тонкими лініями (5), які допускається виконувати червоним олівцем.

У литих деталей механічній обробці піддаються поверхні, які впливають на роботу машини. До них належать поверхні, що утворюють із поверхнями інших деталей кінематичні пари (наприклад, вал і підшипник, циліндр і поршень тощо) або безпосередньо беруть участь у роботі машин (лопатки турбін).

За чистотою оброблюваної поверхні виливки діляться на три класи. Виливки I класу точності (для найвідповідальніших деталей) отримують здебільшого при використанні спеціальних видів лиття. У разових піщано-глинистих формах отримують виливки II і III класів точності.

Встановлення оптимальних величин припусків на механічну обробку є однією з важливих умов економічного використання металів. Величина припуску визначається габаритами деталей, способом виготовлення виливки, а також положенням деталі у формі (на частинах, розміщених під час заливання форми нагорі, призначають більші припуски) (таблиці 2.1 – 2.3).

За формою відливка відрізняється від деталі наявністю таких елементів:

► - *формувальних ухилів*, які виконують на площинах моделі, перпендикулярних до роз'єму форм, для того, щоб модель легко виймалася з форми, не спричиняючи її пошкоджень. Величина формувальних ухилів залежить від висоти і матеріалу моделі (таблиця 2.4);

► - *галтелей* (округлення кутів у литих деталях), що передбачаються для уникнення тріщин у виливках і утворення в кутах форм і стрижнів ділянок із недостатнім ущільненням суміші та низькою міцністю;

► - **напусків** - частин металу біля виливки, що заповнює канавки, отвори, западини, які не можуть бути отримані за умовами ливарної технології. Під час лиття в піщано-глинисті форми мінімальний діаметр отворів, що виконуються у виливках, дорівнює 8 мм. Частини деталі, що не виконуються литтям, закреслюють на кресленні деталі суцільною тонкою лінією.

Таблиця 2.1 – Припуски на обробку різанням виливків із сірого чавуну I, II, III класів точності, мм

Найбільший габаритний розмір виливки, мм	Положення поверхні під час заливання	Номинальний розмір, мм							
		До 50		Св. 50 до 120			Св. 120 до 200		
		I	II	I	II	III	I	II	III
До 120	Верх	2,5	3,5	2,5	4,0	4,5	-	-	-
	Низ, бок	2,0	2,5	2,0	3,0	3,5	-	-	-
Св. 120 до 260	Верх	2,5	4,0	3,0	4,5	5,0	3,0	5,0	5,5
	Низ, бок	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	2,5	4,0	4,5
Св. 260 до 500	Верх	3,5	4,0	3,5	5,0	6,0	4,0	6,0	6,0
	Низ, бок	2,5	3,5	3,0	4,0	4,5	3,5	4,5	5,0
Св. 500 до 800	Верх	4,5	5,0	4,5	6,0	7,0	5,0	6,5	7,0
	Низ, бок	3,5	4,0	3,5	4,5	5,0	4,0	4,5	5,0

Примітка: під номінальним розміром розуміють найбільшу відстань між протилежними оброблюваними поверхнями або відстані від базисної поверхні чи осі виливки до оброблюваної поверхні.

Таблиця 2.2 – Припуски на обробку різанням сталевих виливків I класу точності, мм

Найбільший габаритний розмір виливки, мм	Положення поверхні під час заливання	Номинальний розмір, мм			
		До 50	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800
До 120	Верх	3,5	-	-	-
	Низ, бок	3,0	-	-	-
Св. 120 до 260	Верх	4,0	5,0	-	-
	Низ, бок	3,0	3,5	-	-
Св. 260 до 500	Верх	5,0	5,0	6,0	-
	Низ, бок	3,0	4,0	4,0	-
Св. 500 до 800	Верх	5,0	6,0	7,0	7,0
	Низ, бок	4,0	4,5	5,0	5,0

Таблиця 2.3 – Найбільші припуски на обробку різанням виливків із кольорових сплавів, мм

Найбільший габаритний розмір виливки, мм	Виробництво					
	Масове		Серійне		Одиничне	
	прості	складні	прості	складні	прості	складні
До 100	1,5	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0
Св. 100 до 200	1,58	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0
Св. 200 до 300	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	5,0
Св. 300 до 500	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	6,0
Св. 500 до 800	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	7,0

4. Контури стрижня зі стрижневими знаками (3) зображують суцільною тонкою лінією, яку допускається виконувати синім кольором. Стрижні в розрізі штрихуються тільки біля контуру.

Розміри знаків стрижнів і зазори між знаками стрижнів і моделі приймаються за ДСТУ 8981:2020 (таблиця 2.5).

5. Формувальні ухили (4) на вертикальних стінках позначаються тонкими лініями і вибираються залежно від висоти виливки від площини роз'єму.

Крім цих позначень вказується відсоток усадки сплаву, з якого виготовляють вилівок, наносяться ливникова система, прибутки, випори, які на ескізі, що розглядається, для простоти не вказані.

На рисунку 2.12 б наведено ескіз чавунного виливка з модельно-ливарними вказівками. Для цього вилівок використовується горизонтальний стрижень, що має циліндричні стрижневі знаки, на відміну від вертикального стрижня, у якого стрижневі знаки конусні.

6. За ескізами виливків виконуються ескізи моделей (рисунок 2.13). Моделі мають стрижневі знаки (вони зафарбовані чорним кольором), формувальні ухили для вертикального стрижня і радіуси закруглень r у місцях переходу стінок. Розміри моделей виконують з урахуванням розмірів деталі, припусків на механічну обробку, формувальних ухилів і усадки сплаву.

Під час складання креслення моделі (рисунок 2.13) слід враховувати відмінність останньої від виливки (див. рисунок 2.12).

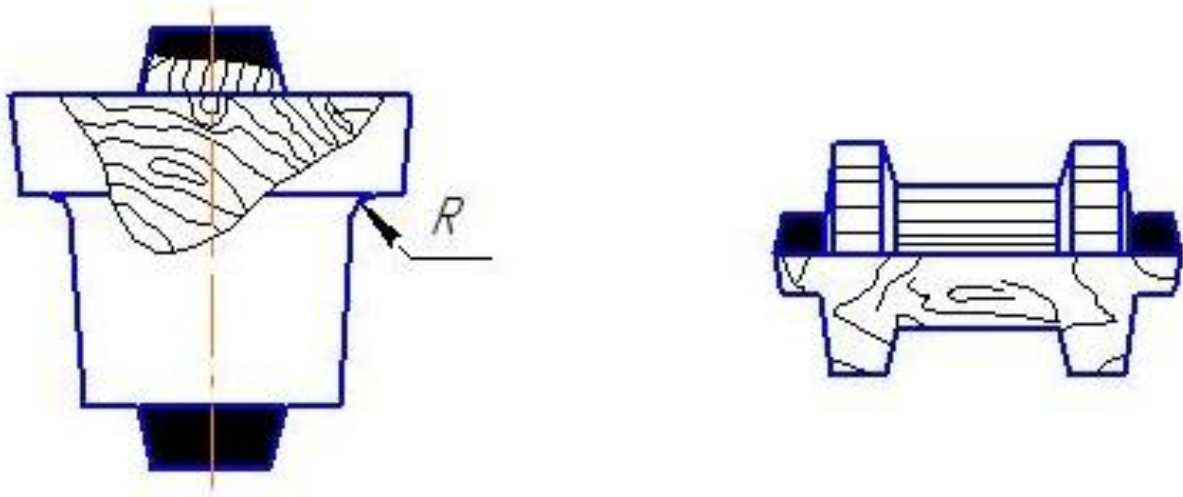


Рисунок 2.13 – Креслення моделі (у розрізі показано половину моделі)

Модель відтворює тільки зовнішні обриси виливки. Внутрішні порожнини, отвори відтворюються за допомогою стрижнів. Тому моделі для виливків деталей із внутрішніми порожнинами мають на кінцях виступи (знаки). Знаки необхідні для утворення у формі заглиблень, які слугують для укладання стрижня. Форма стрижневих знаків відповідає формі стрижнів, а довжина знаків залежить від довжини стрижнів (таблиця 2.5).

Таблиця 2.4 – Величина формувальних ухилів для виливків, одержуваних у піщаних формах

Висота моделі, мм	Формувальні ухили			
	Металева модель		Дерев'яна модель	
	град.	мм	град.	мм
До 20	1,5	0,5...1,0	0,5	1,0
20...50	1,0	0,8...1,2	1,5	1,0...2,0
50...100	0,8	1,0...1,5	1,0	1,5...2,5
100...300	0,5	2,0...3,0	0,5	2,5...4,0

Таблиця 2.5 – Розміри стрижневих знаків

Діаметр стрижня, мм	Довжина знака при довжині стрижня між опорами, мм			
	90...100	101...200	201...400	401...700
До 100	10...25	15...30	30	30
101...160	30	30	35	60
161...250	35	40	40	80
151...400	40	50	50	110

Залежно від застосовуваних для лиття сплавів усі розміри моделі роблять більшими, ніж у виливки, на величину ливарної усадки. Під ливарною усадкою розуміють відносну різницю в розмірах моделі та виготовленої за нею виливки:

$$\varepsilon_{\text{л}} = \frac{l_{\text{м}} - l_{\text{в}}}{l_{\text{м}}} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

де $\varepsilon_{\text{л}}$ - ливарна усадка, %;

$l_{\text{м}}$ - довжина моделі,

$l_{\text{в}}$ - довжина виливки.

Орієнтовна ливарна вільна усадка для різних сплавів (%): сірий чавун - 1...1,3, сталь - 2...2,5, мідні сплави - 1,5...2,5, алюмінієві сплави - 1...1,5.

Важливим елементом технології лиття є заливка форми розплавленим металом. Підведення металу у форму здійснюється за допомогою ливникових систем різних конструкцій - верхніх, нижніх або сифонних; бічних, коли живильники підводять по роз'єму форми; ярусних (поверхових), за яких живильники підводять на різних рівнях; дощових (таблиця 2. 6).

Таблиця 2.6 – Основні різновиди ливникових систем

Ливникова система	Характеристика ливникової системи
Горизонтальна	Розташування живильників у горизонтальній площині роз'єму форми
Вертикальна	Розташування живильників у вертикальній площині роз'єму форми на декількох рівнях (або вертикально)
Верхня	Подавання розплаву в порожнину форми зверху
Дощова	Вертикальна, верхня, з підведенням розплаву зверху через ряд живильників (отворів малого діаметра)
Ярусна	Вертикальна, з подачею розплаву на декількох рівнях
Сифонна	Горизонтальна або вертикальна, з подачею металу знизу
За роз'ємом	Підведення розплаву по площині роз'єму форми

У ливникову систему (рисунок 2.14) входить ливникова лійка (чаша) 1, призначена для приймання розплаву і затримання шлаку, що потрапляє

разом із ним. Вертикальний канал - стояк 2 - передає розплавлений метал від воронки до інших елементів системи. Шлаковловлювач 3 служить для подальшого передавання металу й очищення його від шлаку і неметалевих включень. Його зазвичай розміщують по роз'єму у верхній напівформі. Живильники 4 служать для підведення металу зі шлаковловлювача в порожнину форми.

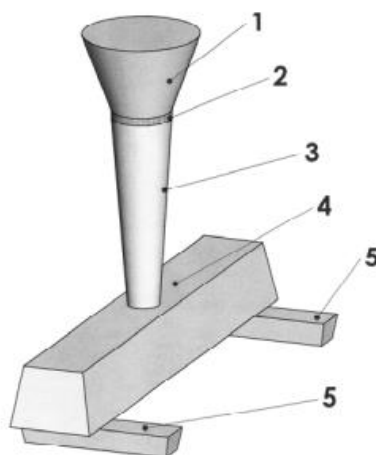


Рисунок 2.14 - Ливникова система для підведення металу по роз'єму форми:

1 - воронка; 2 - фільтрувальний елемент; 3 - стояк;
4 - шлаковловлювач; 5 - живильник

7. Для виготовлення стрижнів служать стрижневі ящики - роз'ємні або нероз'ємні. На рисунку 2.15 наведено ескізи стрижневих ящиків для вертикального (а) і горизонтального (б) стрижнів.

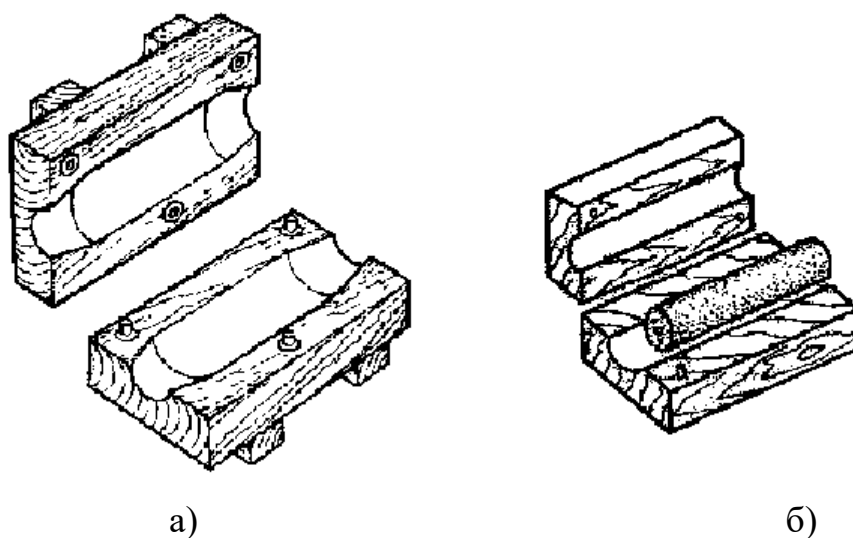


Рисунок 2.15 – Ескізи стрижневих ящиків:

а - для вертикального стрижня; б - для горизонтального стрижня

8. Ескізи зібраних ливарних форм для чавунної (а) і сталевій (б)

виливків наведено на рисунок 2.16. У формі для чавунного литва є шлаковловлювач і випори, а у формі для сталевого литва шлаковловлювач відсутній, а для компенсації великої усадки сталі та попередження усадочних раковин передбачені прибутки.

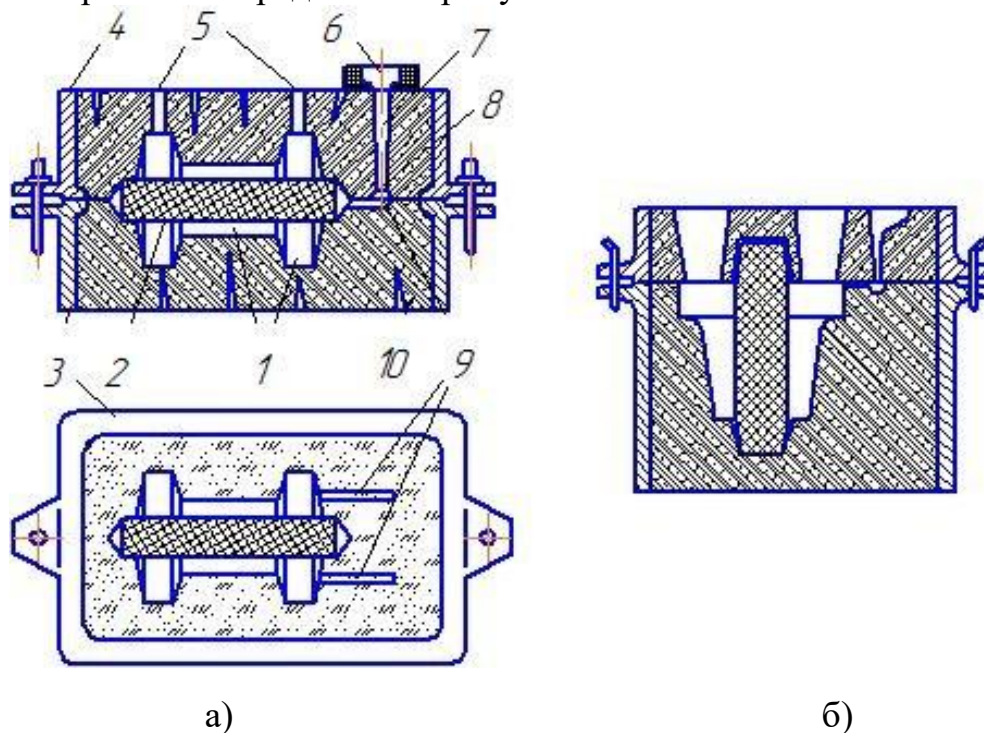


Рисунок 2.16 – Ескізи зібраних ливарних форм:
1 - порожнина форми; 2 - стрижень; 3 - нижня опока; 4 - верхня опока;
5 - випор; 6 - чаша; 7 - стояк; 8 - шлаковловлювач; 9 - живильники;
10 - формувальна суміш

9. На рисунку 2.17 наведені ескізи готових чавунної (а) і сталевій (б) виливків з ливниковою системою.

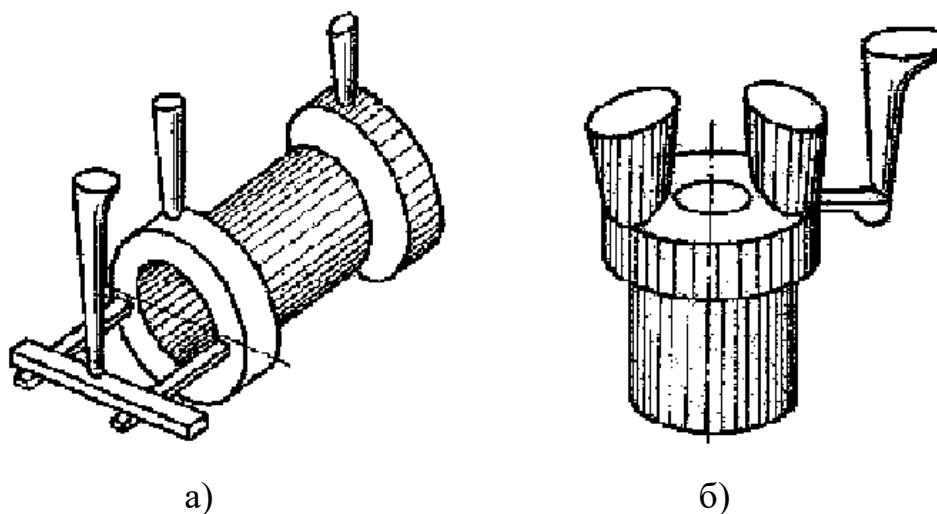


Рисунок 2.17 – Ескізи готових виливків із ливниковою системою:
а - виливок із чавуну; б - виливок зі сталі

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Порядок проведення роботи.
3. Ескіз готової деталі.
4. Ескіз виливки.
5. Ескіз дерев'яної моделі.
6. Ескіз ливарної форми в зборі (поздовжній і поперечний розрізи) (рисунок 2.18).

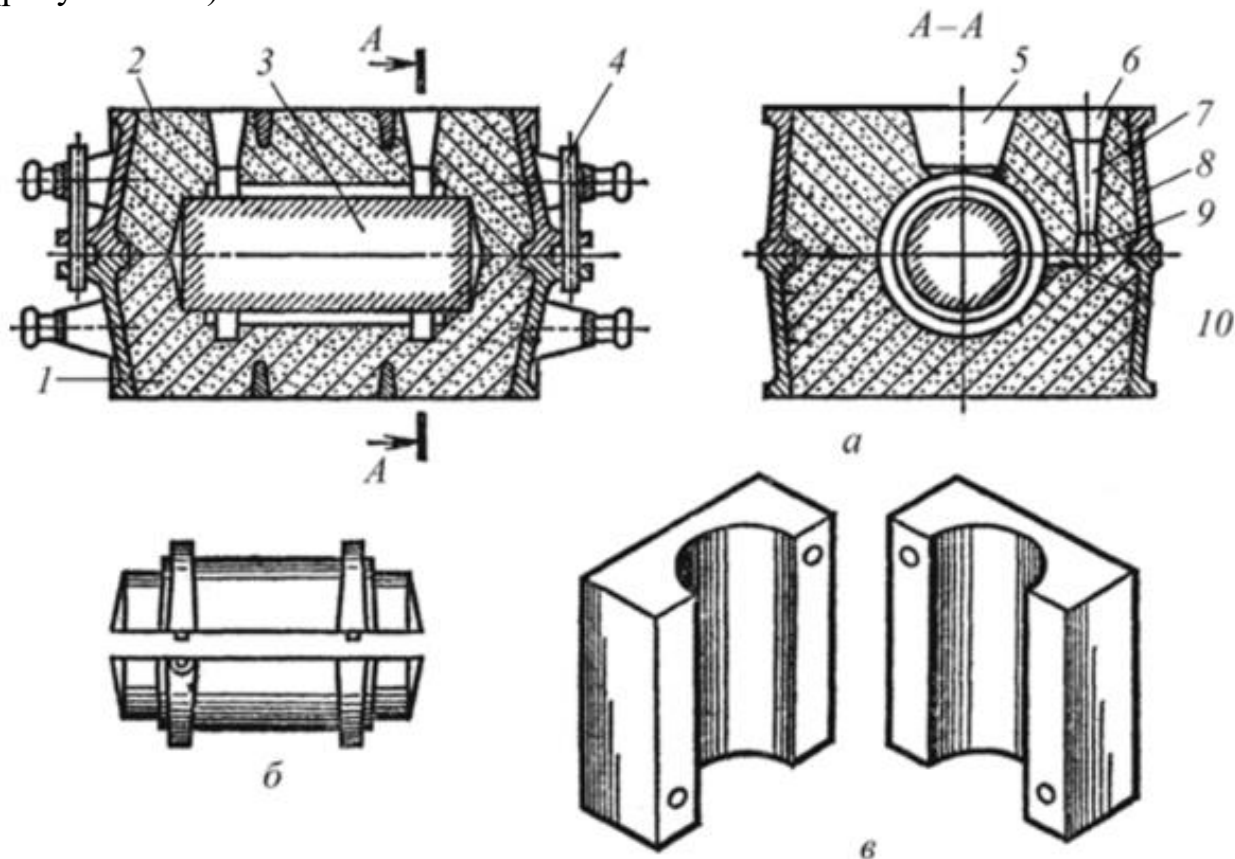


Рисунок 2.18 – Схеми ливарної форми та модельного оснащення:

- а - ливарна форма; б - модель; в - стрижневий ящик;
 1 - нижня напівформа; 2 - верхня напівформа; 3 - стрижень;
 4 - металевий штир; 5 - випор; 6 - ливникова чаша; 7 - стояк; 8 - опока;
 9 - шлаковловлювач; 10 - живильник
 4, 5 - верхня і нижня напівформи;
 6 - стрижень; 7 - випор

Контрольні питання

1. Чим відрізняється відливка від готової деталі?
2. Чому припуски на механічну обробку різні у верхній і нижній частинах виливки?
3. Що таке галтель?
4. Чим відрізняється модель від виливки?
5. Яке призначення стрижневих знаків?
6. Від чого залежить величина формувальних ухилів?

7. Що називається ливарною усадкою?
8. Для чого призначений випор?
9. Як може здійснюватися підведення рідкого металу у форму?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 2

1. Позначення роз'єму ливарної форми на кресленнях:

- а) В;
- б) МФ;
- в) Н;
- г) РФ.

2. Ливарна усадка сірих чавунів становить (%):

- а) 1,0...1,3;
- б) 1,5...2,5;
- в) 2,0...2,5;
- г) 2,5...3,0.

3. Ливарна усадка мідних сплавів становить (%):

- а) 1,5...2,5;
- б) 1,0...1,3;
- в) 2,1...2,5;
- г) 2,5...3,0.

4. Ливарна форма, з якої під час заливання відбувається виділення шкідливих газів:

- а) водоохолоджувана;
- б) металева;
- в) оболонкова;
- г) піщано-глиниста.

5. Метод лиття, при використанні якого чавунні виливки виходять вибіленими і потребують тривалого відпалу:

- а) кокільне лиття;
- б) лиття в оболонкові форми;
- в) відцентрове лиття;
- г) лиття в піщано-глинисті форми.

6. Метод лиття, у якому відсутня ливникова система:

- а) кокільне лиття;
- б) лиття в оболонкові форми; в) відцентрове лиття;
- г) електрошлакове лиття.

7. Матеріал виливків, який отримують литтям під тиском:

- а) легована сталь;
- б) вуглецеві сталь;
- в) кольорові метали та сплави на їхній основі;
- г) чавун.

8. Технологічний процес отримання фасонних деталей шляхом заповнення рідким металом заздалегідь приготовлених форм:

- а) лиття;
- б) кристалізація;
- в) плавлення;
- г) формування.

9. Процес виготовлення ливарної форми:

- а) лиття;
- б) кристалізація;
- в) плавлення;
- г) формування.

10. Пристосування, за допомогою якого в ливарній формі відтворюють зовнішній контур майбутнього виливка:

- а) модель;
- б) стрижень;
- в) стояк;
- г) опока.

11. Пристосування, за допомогою якого в ливарній формі відтворюють внутрішні порожнини:

- а) модель;
- б) стрижень;
- в) підмодельна плита;
- г) опока.

12. Пристосування, яке служить для виготовлення піщаних стрижнів:

- а) модель;
- б) опока;
- в) підмодельна плита;
- г) стрижневий ящик.

13. Канали у формі, якими рідкий метал підходить до порожнини форми і живить виливок у процесі його кристалізації:

- а) ливникова система;
- б) опока;
- в) стрижень;
- г) модель.

14. Спосіб ливарного виробництва, за якого метал виливки отримують найвищої якості:

- а) кокільне лиття;
- б) лиття в оболонкових формах;
- в) відцентрове лиття;
- г) електрошлакове лиття.

15. Найпоширеніший спосіб ливарного виробництва:

- а) у піщано-глинисті форми;
- б) кокіль;
- в) оболонкові форми;
- г) за виплавлюваними моделями.

16. Металеві рамки, в яких проводиться формування в піщано-глинистих сумішах:

- а) модель;
- б) кокіль;
- в) опоки;
- г) стрижневий ящик.

17. Здатність металів і сплавів у розплавленому стані відтворювати рельєф порожнини форми:

- а) рідкотекучість;
- б) кристалізація;
- в) ліквація;
- г) усадка.

18. Зменшення лінійних та об'ємних розмірів сплавів під час затвердіння та охолодження:

- а) рідкоплинність;
- б) кристалізація;
- в) ліквація;
- г) усадка.

19. Властивість формувальних і стрижневих сумішей пропускати пари води і газу, що утворюються при зіткненні гарячого металу з формою:

- а) газопроникність;
- б) пластичність;
- в) податливість;
- г) міцність.

20. Здатність формувальних і стрижневих сумішей зберігати форму під впливом зовнішніх сил:

- а) газопроникність;

- б) пластичність;
- в) податливість;
- г) міцність.

21. Властивість формувальної суміші не перешкоджати усадці:

- а) газопроникність;
- б) пластичність;
- в) податливість;
- г) міцність.

22. Металева форма, багаторазово використовувана для отримання виливків:

- а) виливниця;
- б) кокіль;
- в) опока;
- г) шаблон.

23. Метод лиття, за якого виливки отримують у формі, що складається з двох піщано-смоляних оболонок:

- а) лиття в кокіль;
- б) лиття в оболонкові форми;
- в) лиття під тиском;
- г) відцентрове лиття.

24. Метод лиття, за якого рідким металом примусово заповнюють металеву прес-форму під тиском:

- а) лиття в кокіль;
- б) лиття в оболонкові форми;
- в) лиття під тиском;
- г) відцентрове лиття.

25. Метод лиття, за якого виливки не мають припусків на механічну обробку:

- а) лиття в оболонкові форми;
- б) лиття під тиском;
- в) кокільне лиття;
- г) відцентрове лиття.

26. Метод лиття, за якого ливарна форма виконує функції плавильного агрегату:

- а) кокільне лиття;
- б) лиття під тиском;
- в) відцентрове лиття;
- г) електрошлакове лиття.

27. Метод лиття, за якого розплавлений метал заливають в обертові форми:

- а) лиття в оболонкові форми;
- б) лиття під тиском;
- в) кокільне лиття;
- г) відцентрове лиття.

28. Властивість формувальної суміші не сплавлятися і не спікатися під дією розплавленого металу:

- а) газопроникність;
- б) вогнетривкість;
- в) податливість;
- г) міцність.

29. Властивість ливарних сплавів, що полягає в неоднорідності хімічного складу між окремими ділянками виливки і в зернах:

- а) рідкоплинність;
- б) кристалізація;
- в) ліквація;
- г) усадка.

30. Доповніть:

Металеві рамки, в яких проводиться формування в піщано-глинистих сумішах, _____ називаються

31.Доповніть:

Пристосування, за допомогою якого в ливарній формі відтворюють зовнішній контур майбутньої виливки, називається _____.

32. Доповніть:

Пристосування, за допомогою якого в ливарній формі відтворюють внутрішні порожнини, називається _____.

33. Доповніть:

Канали у формі, якими рідкий метал підходить до порожнини форми і живить виливок у процесі його кристалізації, називаються_____.

ТЕМА 3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

План

- 3.1 Пластична та пружна деформація
- 3.2 Холодна і гаряча обробка тиском
- 3.3 Нагрівання металу перед обробленням тиском
- 3.4 Процеси обробки металів тиском
- 3.5 Прокатка
- 3.6 Пресування
- 3.7 Волочіння
- 3.8 Вільне кування
- 3.9 Гаряче об'ємне штампування
- 3.10 Листове штампування

3.1 Пластична та пружна деформація

Процес обробки металів тиском - це надання заготовці необхідної форми, розмірів і фізико-механічних властивостей без порушення її суцільності шляхом пластичної деформації.

Деформацією називають зміну розмірів і форми тіла під дією прикладених сил.

Розрізняють:

- ♦ пружну (зникаючу);
- ♦ пластичну (залишкову) деформації.

Пружною називають деформацію, яка повністю зникає після припинення дії зовнішніх сил. Під дією прикладених сил відбувається незначний, повністю оборотний зсув атомів, за якого порушується баланс сил електростатичного тяжіння і відштовхування. Після зняття навантаження сили тяжіння і відштовхування повертають зміщені атоми у вихідний рівноважний стан, і кристали набувають первісної форми і розмірів. При пружній деформації зміщення атомів з місця стійкої рівноваги не перевищує відстані між сусідніми атомами кристалічної решітки. Після зняття навантаження атоми повертаються в початкове положення, і форма тіла повністю відновлюється.

Пластичною називають деформацію, яка при досягненні дотичними напруженнями певної межі (поріг пружності) стає незворотною. При знятті навантаження зникає лише пружна складова деформації, а пластична залишається. Під час пластичної деформації зміщення атомів значно перевищує міжатомні відстані, і вони стають у нові місця стійкої рівноваги. Після зняття навантаження форма тіла не відновлюється. Під дією зовнішніх сил у кристалі відбувається зсув за площиною, розташованою в зоні максимальних дотичних напружень. Зазвичай це площини з більш щільним пакуванням атомів, їх називають площинами зсуву або ковзання.

Схему пружної та пластичної деформації металу, підданого напрузі зсуву, показано на рисунку 3.1.

Крім ковзання (зсуву) пластичне деформування може відбуватися шляхом двійникування. Двійникування полягає в симетричному зміщенні однієї частини кристала відносно іншої під дією дотичних напружень. Двійникування найчастіше трапляється в металах і сплавах, що мають гексагональну або об'ємноцентровану кубічну решітку. На відміну від звичайного зсуву двійниковий зсув відбувається тільки раз і не призводить до значних пластичних деформацій. Однак разом із ним з'являються додаткові осередки зсувної деформації за механізмом звичайного ковзання.

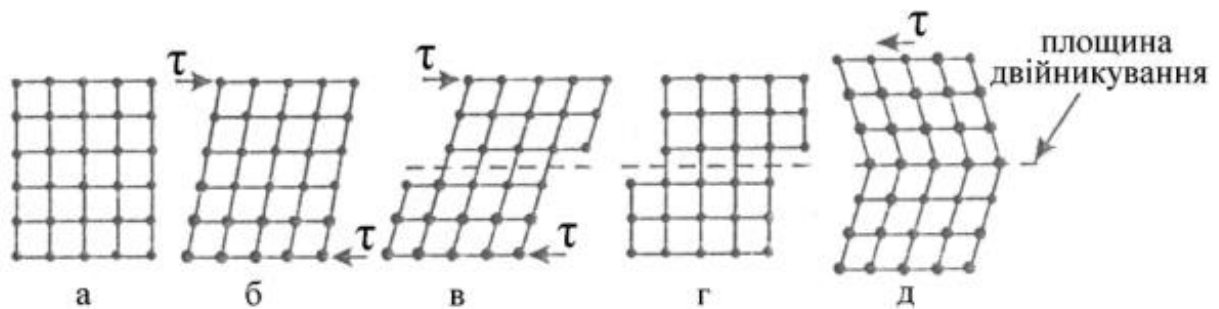


Рисунок 3.1 - Пружна та пластична деформація металу під дією напруження зсуву:

а - до деформації; б - після пружної деформації; в - після пружної і пластичної деформації, що перевищує межу пружності; г - після зсуву збереглася залишкова деформація; д - утворення двійника

Саме можливістю поєднання двійникованості та зсуву пояснюється висока пластичність міді, аустеніту, срібла, цинку, магнію тощо.

Отримання заготовок або деталей необхідних розмірів і форми під час обробки тиском досягається пластичним переміщенням (зсувом) частини металу. У цьому полягає основна відмінність і перевага обробки тиском порівняно з обробкою різанням, за якої форма виробу отримується видаленням частини металу заготовки.

Тому обробка тиском характеризується малими відходами металу, вона є високопродуктивним процесом, тому що зміна розмірів і форми заготовки досягається одноразовим застосуванням зовнішнього навантаження.

3.2 Холодна і гаряча обробка тиском

Метали промислового виробництва мають полікристалічну будову, складаються з великої кількості зрощених кристалів неправильної форми, так званих *кристалітами* або *зернами*. Відмінність сусідніх зерен полягає в різній просторовій орієнтації кристалічних решіток [6, 11, 13].

Під час обробки тиском литих заготовок відбувається пластична

деформація окремих зерен і їхнє відносне зміщення. Ця деформація супроводжується дробленням зерен і їхнім подовженням, метал набуває дрібнозернистої, рядкової, волокнистої структури.

Розрізняють деформацію *внутрішню кристалічну* (виникає всередині зерен) і *міжкристалічну* (протікає по межах зерен). Під час обробки металів тиском спостерігаються обидва види деформації одночасно. Однак за кімнатної температури переважає внутрішню кристалічну деформацію, а за високої температури - міжкристалічна, оскільки під час нагрівання зв'язки між зернами слабшають.

Залежно від температурних умов деформування розрізняють *холодну і гарячу обробку металів тиском*.

Волокниста структура, що утворилася під час холодної обробки, має явно виражені анізотропні властивості. Встановлено, що міцність і ударна в'язкість металу, що має волокнисту будову, вища уздовж волокон, ніж поперек волокон, що використовується при виготовленні деталей.

Метали і сплави під час холодної деформування крім зміцнення змінюють електропровідність, корозійну стійкість та інші властивості.

Зміцнення металів під час пластичної деформації називається **наклепом**.

Зі збільшенням ступеня деформації міцність і твердість збільшуються, а пластичність і в'язкість знижуються (рисунк 3.2).

Ступінь деформації виражається у % за формулою:

$$\varepsilon = \frac{F_{\Pi} - F_{\kappa}}{F_{\Pi}} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де ε - ступінь деформації;

F_{Π} - площа поперечного перерізу заготовки до деформації, м²;

F_{κ} - площа поперечного перерізу поковки після деформації, м².

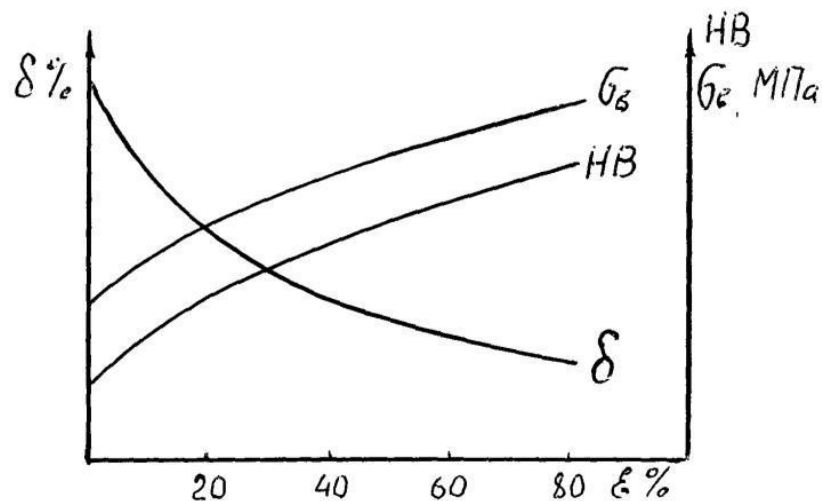


Рисунок 3.2 - Вплив ступеня деформації на механічні властивості під час холодної обробки

Під час наклепу метал переходить у термодинамічно нестійкий стан із підвищеним запасом внутрішньої енергії (закон термодинаміки), тому під час нагрівання він мимоволі прагне перейти в більш стійкий стан.

Перехід до цього стану пов'язаний зі зменшенням спотворення кристалічної решітки та зняттям внутрішніх напружень, що можливе при переміщенні атомів. За низьких температур рухливість атомів мала. З підвищенням температури розвиваються процеси, що приводять метал до рівноважного стану. За порівняно невисокої температури (до 400 °C) відбувається часткове зняття внутрішніх напружень і незначна зміна деформації металу. Ці явища називають *відпочинком* або *поверненням*. При поверненні помітних змін у мікроструктурі не спостерігається, метал зберігає волокнисту будову. Однак твердість і міцність дещо знижуються, а пластичність зростає.

Подальше підвищення температури металу збільшує амплітуду теплових коливань його атомів і швидкість дифузійних процесів. У результаті відбувається перегруповування атомів, утворюються нові рівноосні зерна, і властивості металу повертаються до їхніх початкових значень, які були до деформації. Процес утворення нових центрів кристалізації та зростання нових рівноосних зерен у деформованому металі під час нагрівання, що супроводжується зменшенням міцності та збільшенням пластичності, називається *рекристалізацією*. Найменша температура, за якої починається процес рекристалізації та розупрочнення металу, називається *температурою рекристалізації*. За даними А.А. Бочвара, температуру рекристалізації $T_{рек}$ чистих металів можна визначити для практичних цілей за формулою:

$$T_{рек} = 0,4 \cdot T_{пл}, \quad (3.2)$$

де $T_{пл}$ - абсолютна температура плавлення металу.

Обробка металів тиском, що виконується за температури нижче $T_{рек}$, називається *холодною*, обробка за температури вище $T_{рек}$ називається *гарячою* обробкою тиском. Під час гарячої обробки в металі протікають одночасно процеси зміцнення і розупрочнення.

Швидкість процесу розупрочнення, викликаного рекристалізацією, зазвичай перевищує швидкість процесу зміцнення.

Під час гарячої обробки утворюється структура з анізотропними властивостями. Механічні властивості при гарячій обробці металів тиском змінюються незначно.

Під час гарячої обробки відбувається дроблення зерен, утворюється дрібнозерниста структура з рівновісними зернами, щільність металу водночас збільшується, оскільки заварюються внутрішні пори, раковини, мікротріщини, газові бульбашки (рисунок 3.3).

3.3 Нагрівання металу перед обробленням тиском

Для підвищення пластичності та зменшення опору деформації метали і сплави перед обробкою тиском нагрівають до певної температури. Наприклад, при нагріванні вище 300 °С опір деформуванню зменшується в десятки разів, пластичність збільшується на десятки відсотків, і майже повністю зникають пружні властивості.

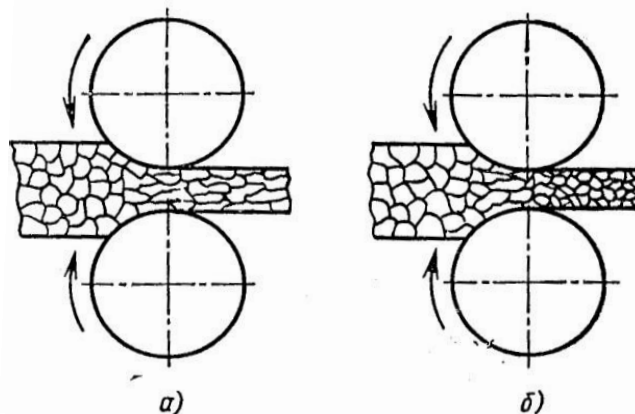


Рисунок 3.3 – Схеми зміни мікроструктури металу під час оброблення тиском: а - холодного; б - гарячого

Однак для кожного металу існує такий температурний інтервал (діапазон температур початку і закінчення обробки), в якому забезпечуються оптимальні умови гарячої обробки тиском.

Під час нагрівання металу відбуваються такі явища, які необхідно враховувати під час вибору температури та режиму нагрівання:

1. **Окислення металу.** Під час нагрівання > 700 °С відбувається інтенсивне окислення поверхневого шару з утворенням окалини, що складається з оксидів Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO .

При досягненні температури 1300...1350 °С окалина плавиться, і заготовка горить з утворенням снопа яскраво-блакитних іскор.

Втрати металу на окалину (чад) за одноразового нагрівання в полум'яній печі становлять 1,5...2,5 %, а за електронагріву - 0,4...0,7 %.

У полум'яних печах тепло утворюється під час згоряння рідкого (озуту) або газоподібного палива.

Крім безповоротних втрат металу, утворення окалини в 1,5-2 рази підвищує інтенсивність зносу інструменту для деформації, оскільки твердість окалини вища за твердість металу, що деформується.

2. За високих температур поряд з окисленням металу відбувається **зневуглецювання** поверхневого шару сталі внаслідок вигорання вуглецю. Товщина зневуглецьованого шару становить зазвичай 0,2...0,5 мм, досягаючи іноді 1,5...2,0 мм.

Для зменшення зазначених процесів нагрівання заготовок бажано проводити в захисному середовищі.

Для кожного металу або сплаву існує свій оптимальний

температурний інтервал гарячої обробки тиском. Наприклад, за високих температур нагрівання сталі інтенсивно зростає зерно аустеніту, пластичність знижується на 25 %, значно знижуються механічні властивості. Це явище називається **перегрівом**. Структуру перегрітої сталі можна виправити подальшим відпалом.

Під час нагрівання сталі до температури, близької до температури плавлення (солідус), відбувається інтенсивна дифузія в неї кисню, утворення оксидів на кордонах зерен і розплавлення легкоплавких міжзеренних прошарків, що призводить до появи тріщин і втрати пластичності. Це явище називається **перепалом**. Температура перепалу для вуглецевих сталей залежно від вмісту вуглецю перебуває в межах 1490...1180 °C (відповідно для сталей з 0,1 до 1,1 % вуглецю).

Перепал не усувається термічною обробкою і метал іде на переплавку. Температурний інтервал гарячої обробки тиском вуглецевих сталей можна зобразити графічно (рисунок 3.4).

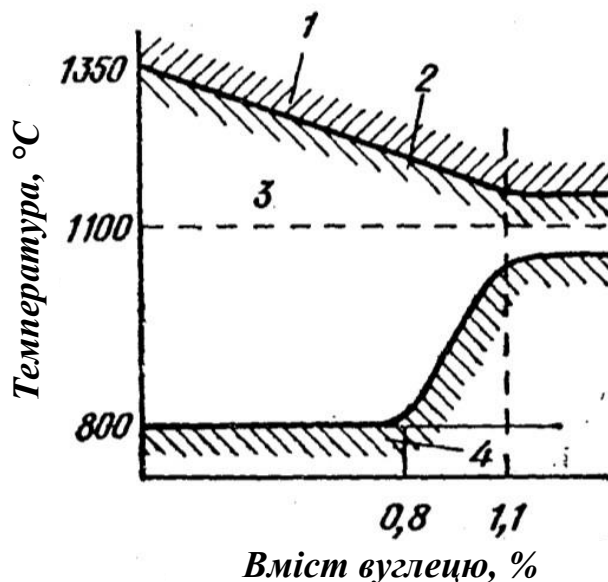


Рисунок 3.4 — Оптимальні температури початку та кінця гарячої обробки тиском: 1 — зона перепалу; 2 — зона перегріву; 3 — зона гарячої обробки тиском; 4 — зона наклепу

Температурні інтервали обробки тиском переважно залежать від хімічного складу сплаву. Орієнтовно початкову температуру обробки визначають за формулами:

$$t_H = a \cdot t_{пл} \quad \text{або} \quad t_H = t_c - (150 \dots 200 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (3.3)$$

де a — коефіцієнт зниження температури $a = 0,8-0,9$;

t_H — початкова температура обробки тиском, °C;

$t_{пл}$ — температура плавлення (визначається за діаграмою стану);

t_c — температура лінії солідусу, яка визначається за діаграмою Fe-C.

Кінцеву температуру обробки тиском вуглецевих сталей, яка також залежить від вмісту вуглецю, визначають за температурою рекристалізації трек заданого сплаву:

$$t_{рек} = 100 \cdot (9,1 - 1,1C), \quad t_k = t_{рек} + 100, \quad (3.4)$$

де C - вміст вуглецю, %.

t_k - кінцева температура обробки тиском, °C;

Температура закінчення термічної обробки визначається за температурою рекристалізації заданого сплаву.

3.4 Процеси обробки металів тиском

У сучасному виробництві застосовують такі види обробки металів тиском: прокатку, пресування, волочіння, кування та штампування (рисунок 3.5) [14].

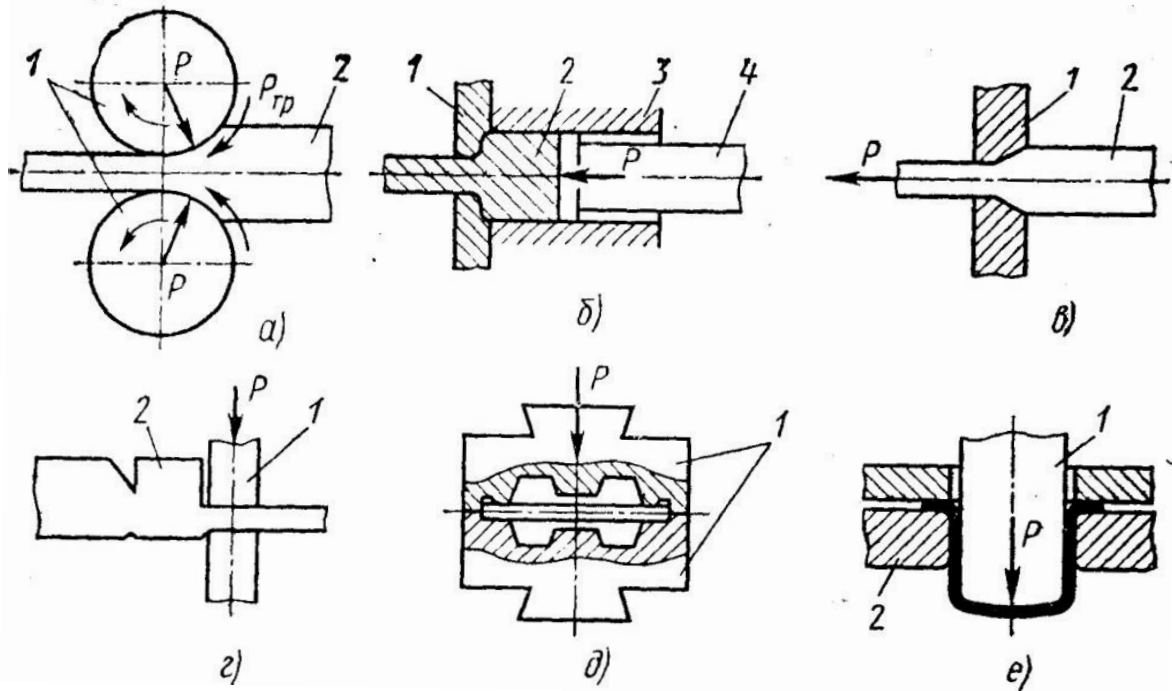


Рисунок 3.5 – Схеми основних видів обробки металів тиском

Прокатка (рисунок 3.5а) полягає в обтисканні заготовки 2 між обертовими валками. Силами тертя $P_{тр}$ заготовка втягується між валками, а сили P , нормальні до поверхні валків, зменшують поперечні розміри заготовки.

Пресування (рисунок 3.5б) полягає в продавлюванні заготовки 2, що перебуває в замкнутій формі 3, через отвір матриці 1. Причому форма і розміри поперечного перерізу видавленої частини заготовки відповідають формі і розмірам отвору матриці, а довжина її пропорційна переміщенню інструменту, що тисне, 4.

Волочіння (рисунок 3.5в) полягає в протягуванні заготовки 2 через порожнину матриці 1, що звужується. Площа поперечного перерізу заготовки зменшується і набуває форми кінцевого перерізу матриці.

Куванням (рисунок 3.5г) змінюють форму і розміри заготовки 2 шляхом послідовного впливу спеціальним інструментом 1 на окремі ділянки заготовки.

Штампуванням змінюють форму і розміри заготовки за допомогою спеціального інструменту штампа (для кожної деталі виготовляють свій штамп). Розрізняють об'ємне (рисунок 3.5д) і листове (рисунок 3.5е) штампування. Під час об'ємного штампування на заготовку впливають спеціальним інструментом - штампом 1, при цьому метал заповнює порожнину штампа, набуваючи її форму і розміри. Під час листового штампування отримують плоскі та просторові порожнисті деталі із заготовок, у яких товщина значно менша за розміри в плані (лист, стрічка, смуга). Зазвичай заготовка деформується за допомогою пуансона 1 і матриці 2.

Розглянемо докладніше перераховані вище види обробки металів тиском.

3.5 Прокатка

Прокатка є одним із найпоширеніших видів обробки металів рухом. Прокатці піддають до 90 % усієї виплавленої сталі і більшу частину кольорових металів. Під час прокатки метал пластично деформується обертовими валками. Взаємне розташування валків і заготовки, форма і кількість валків можуть бути різними. Розрізняють три основні види прокатки: поздовжню, поперечну і поперечно-гвинтову (рисунок 3.6).

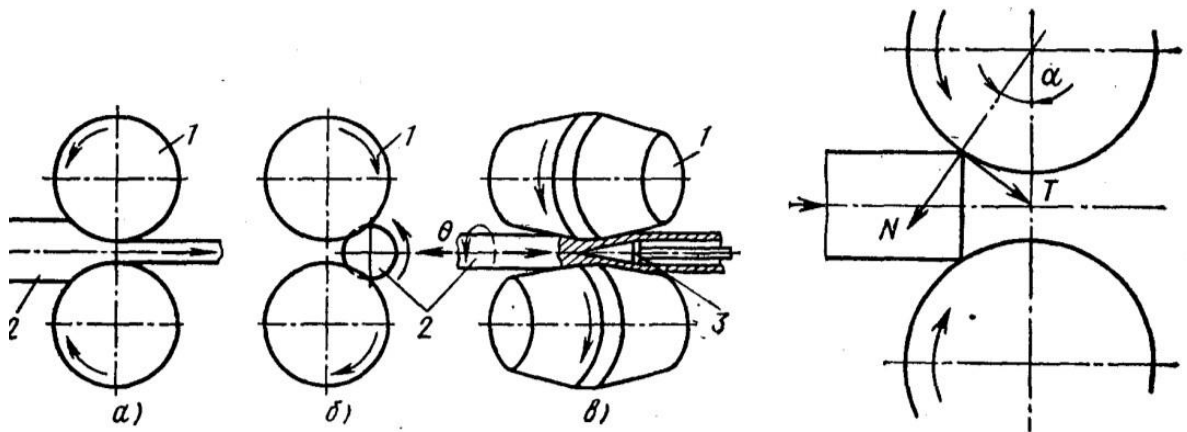


Рисунок 3.6 – Види прокатки та схема дії сил у момент захоплення заготовки валками

Під час поздовжньої прокатки метал деформується між валками, що обертаються назустріч один одному, тобто в різному напрямку (рисунок 3.6а). Під час поздовжньої прокатки заготівля переміщається в напрямку,

перпендикулярному осям валків. Нині цим способом виробляють майже 80 % прокатної продукції, зокрема весь листовий і профільний прокат. Великий профіль і товстий лист виробляють методом гарячої поздовжньої прокатки. Тонкий лист, стрічку, дрібний профіль точних розмірів виробляють методом холодної поздовжньої прокатки.

Гаряча прокатка продуктивніша й економічніша, але холодна прокатка забезпечує вищу точність і часто є чистовим (останнім) етапом виробництва листів, труб і профілів.

Під час поперечної прокатки валки 1, обертаючись в одному напрямку, передають обертання заготівлі 2, яка переміщується вздовж осі валків і деформується. Поперечна прокатка використовується для виробництва спеціальних профілів періодичного перерізу (рисунки 3.6б).

Під час поперечно-гвинтової прокатки валки розташовані під кутом і повідомляють заготівлі 2 обертальний і поступальний рух. Під час поступального руху заготівля втягується в зазор між обертовими валками і деформується (рисунки 3.6в).

Поперечно-гвинтова прокатка застосовується здебільшого для виробництва безшовних конструкцій труб, для чого використовується оправка 3.

Виробництво безшовних труб складається з трьох операцій: прошивання отворів у заготівлі та отримання товстостінної гільзи; прокатування труби з гільзи; обкатування для поліпшення зовнішньої та внутрішньої поверхонь для виключення овальності та різностінності труби.

Після прошивки товстостінна гільза нагрівається і надходить на автоматичні періодичні прокатні стани.

Класифікація прокатних станів

Вихідним матеріалом для прокатного виробництва є зливки або литі заготовки квадратного, прямокутного чи круглого перерізів.

Технологічний процес прокатки на сучасному металургійному заводі складається з 2-х основних стадій: прокатка зливоків у напівпродукт (блюми, сляби і заготовки); прокатка напівпродукту в готовий прокат:

Розміри блюму – $h \times b = 200 \times 200 \div 400 \times 400$ мм;

Слябу - $h \times b = (90 \div 300) \times (500 \div 1300)$ мм;

Заготовки - $h \times b = 60 \times 60 \div 180 \times 180$ мм;

Сутунки - $h \times b = (10 \div 30) \times (150 \div 400)$ мм.

У залежності від призначення прокатні стани можна розділити на дві групи: стани для прокатки напівпродукту; стани для виробництва готового прокату.

До першої групи відносять блюмінги, заготовочні стани, що поставляють напівпродукт для виробництва сортових профілів, а також слябінги і блюмінги-слябінги, що поставляють сляби для виробництва листової продукції.

У залежності від складу сортових станів на заводі обтискний цех

може складатися з блюмінга або блюмінга і заготовочного стану, останній дозволяє прокатувати зливки в блюми і заготовки з одного нагрівання. На сучасних підприємствах обтискні цехи часто замінюють машинами неперервного лиття заготовок.

До станів для виробництва готового прокату відносять сортові, листові, трубні та спеціальні прокатні стани (колесо-бандажні, універсальні, шаропрокатні й інші).

З метою підвищення ефективності виробництва металургійні заводи звичайно спеціалізувалися на окремих видах сортаменту. Наприклад, існують заводи, в сортамент яких складається із сортових профілів («Криворіжсталь» і Західно-Сибірський металургійний завод), заводи з виробництва листової продукції («Запоріжсталь», Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча), заводи з виробництва трубної продукції (Нікопольський трубний завод, Першоуральський трубний завод). Деякі заводи з великим виробництвом металу мають в своєму сортаменті і листову, і сортову продукцію («Азовсталь», ЧерМЗ), існують заводи, що спеціалізуються у виробництві складних легованих сталей («Дніпроспецсталь», ЧМЗ).[3]

Залежно від кількості валків і розташування їх у робочих клітках прокатні стани (рисунок 3.7) бувають:

- ◆ двовалкові (дуо);
- ◆ трьохвалкові (тріо);
- ◆ чотиривалкові (кварто);
- ◆ багато валкові;
- ◆ спеціальні

Кліті дуо (двохвалкові) бувають реверсивні (прокатка ведеться в обидві сторони) і неревверсивні (в один бік).

Кліті тріо (тривалкові) найчастіше неревверсивні. Прокатка на таких станах ведеться вперед між нижнім та середнім валками і назад між верхнім і середнім.

Кліті кварто (чотиривалкові) мають чотири валка, розташовані один над одним, з них два робочі валка меншого діаметра і два опорних — більшого діаметра.

Прокатні стани можуть бути:

- одноклітьовими (з однією робочою кліткою);
- багатоклітьовими.

Вони мають привід, що включає електродвигун, і передавальний механізм.

Найдосконаліші багатоклітьові стани - безперервні, у яких робочі кліті розташовують послідовно одну за одною. Смуга, що прокатується, через кожну кліть проходить тільки один раз, тобто число робочих клітей цих станів дорівнює необхідному числу проходів смуги. Відстань між клітьми зазвичай менша за довжину прокочуваної смуги, отже, вона прокочується одночасно в декількох клітках. На безперервних станах

досягається висока продуктивність за повного виключення ручної праці. Максимальна швидкість прокатки на сучасних верстатах становить 50-69 м/с.

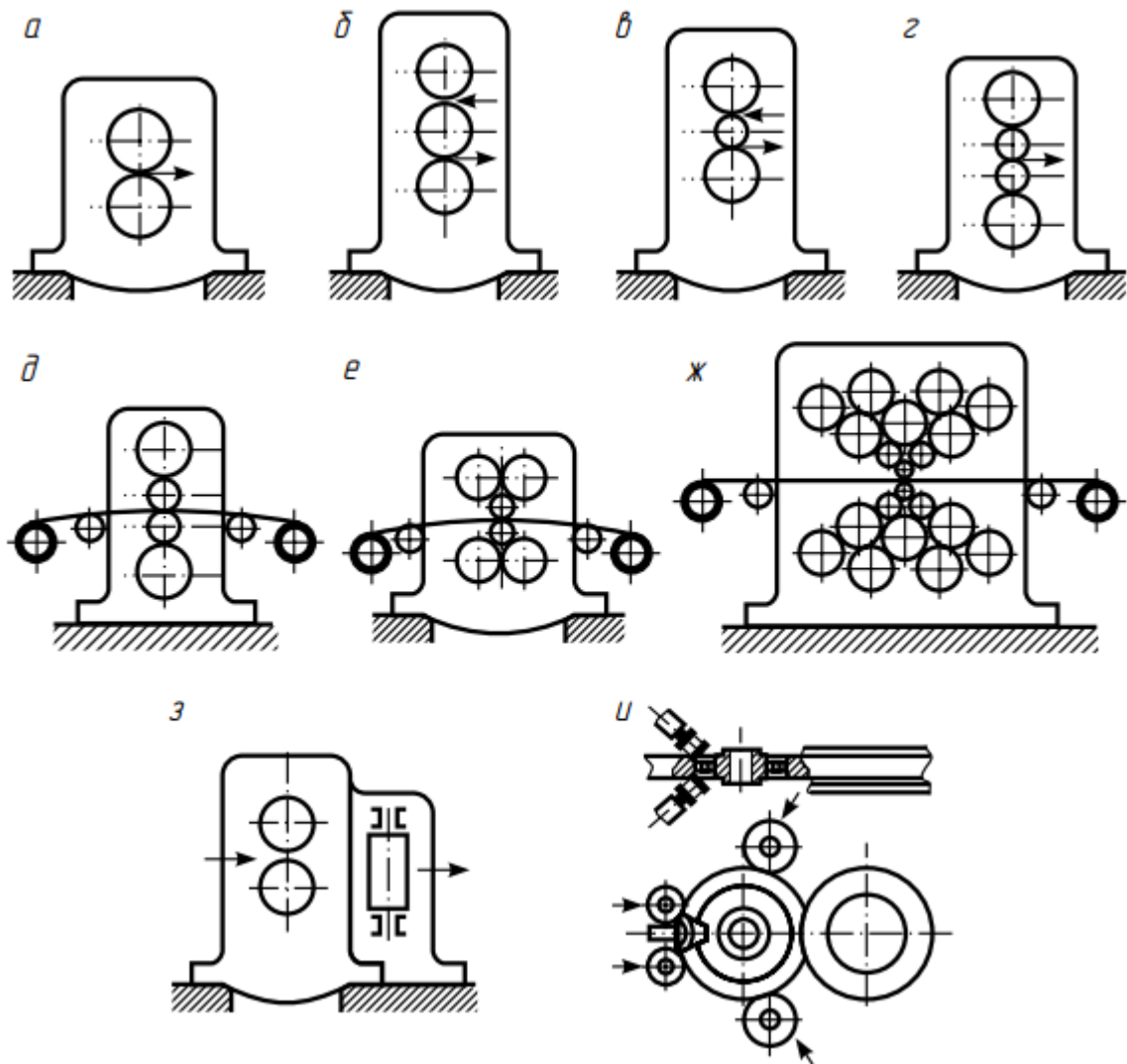


Рисунок 3.7 – Класифікація робочих клітей прокатних станів:
 а - дуо; б - тріо сортів; в - тріо листові; г - кварто листові;
 д - кварто для прокатки рулонів; е - багатоваалкова (шестивалкова);
 ж - багатоваалкова (двадцятивалкова); з - універсальна; і - спеціальна

За призначенням прокатні стани розподіляються на три групи:

- для виробництва напівпродукту;
- стани готової продукції;
- стани спеціального призначення.

Перша група охоплює обтискні стани (блومінги і слябінги) для отримання напівпродуктів (напівфабрикатів) великого перерізу. Сталеві зливки квадратного або прямокутного перерізу масою до 15 т прокочуються на обтискних станах - блумінгах. Отримувані блюми мають перетин від 450х450 мм до 150х150 мм.

При виробництві листового прокату напівфабрикатами є сляби, що

мають товщину до 350 мм і ширину до 2300 мм.

Під час поздовжньої прокатки зазор між валками встановлюють меншим, ніж товщина вихідної заготовки. Процес прокатки відбувається за рахунок тертя, що виникає між валками і заготовкою. Метал заготовки піддається деформації тільки на невеликій ділянці, що визначається кутом захоплення.

У результаті пластичної деформації товщина заготовки зменшується, а довжина і ширина збільшуються.

Сортамент прокату

Форму поперечного перерізу прокатаного виробу називають профілем. Сукупність форм і розмірів профілів називають сортаментом. Сортамент прокатуваних профілів стандартом поділяється на чотири групи:

- сортовий;
- листовий;
- трубний;
- спеціальні види прокату.

Сортівний прокат поділяють на просту геометричну форму (коло, квадрат, шестигранник, прямокутник) і складну фасонну форму (куточок, швелер, таврова балка, рейка, двотавр тощо) (рисунк 3.8).

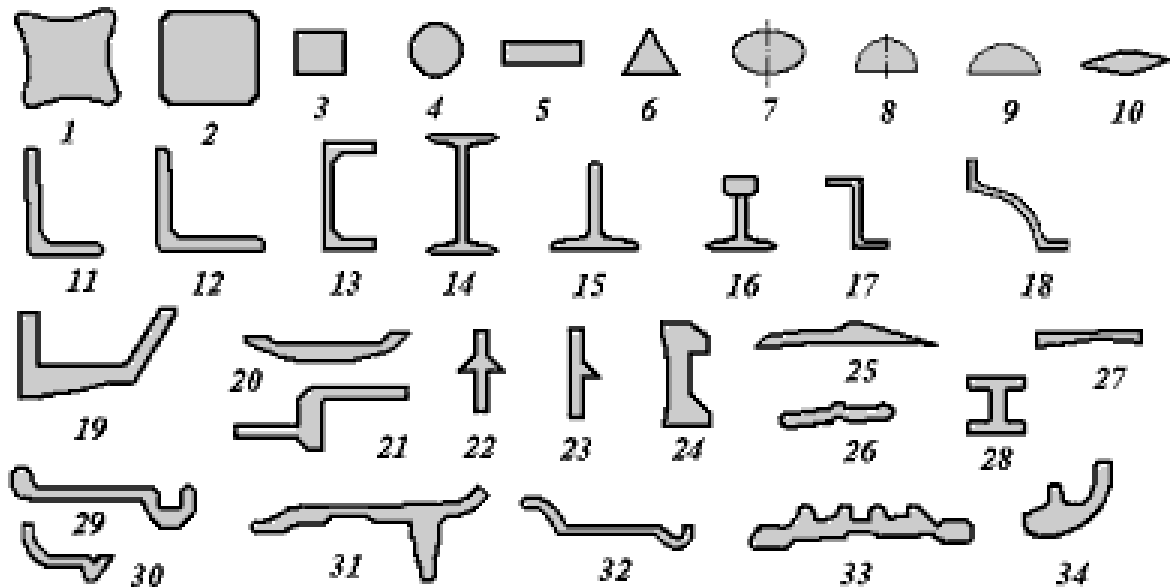


Рисунок 3.8 - Сортамент прокату: 1-10 - простого профілю;
11-17 - фасонний загального призначення; 18-34 - спеціального
призначення

Листовий прокат ділять на товстолистовий (з товщиною листа > 4 мм) і тонколистовий (з товщиною листа < 4 мм).

Трубний прокат - це безшовні та зварні труби. Безшовні труби

прокочують діаметром 30...650 мм з товщиною стінки 2...160 мм (з вуглецевих і легованих сталей). Зварні - труби діаметром 50...2500 мм з товщиною стінки 0,5...16 мм з вуглецевих і низьколегованих сталей. Зварні труби великого діаметра виготовляють із застосуванням автоматичного дугового зварювання під флюсом.

Спеціальний прокат - закінченої форми (бандажі залізничних коліс, кульки для шарикопідшипників, черевики (траки) гусеничних тракторів тощо).

3.6 Пресування

Пресуванням називається процес обробки металів шляхом видавлювання його пуансоном через отвір у матриці. При цьому метал набуває форми, що відповідає перетину отвору в матриці.

Найчастіше пресування застосовують для отримання виробів із кольорових металів і сплавів. Пресовані вироби відрізняються точнішими розмірами, ніж катані (після прокатки).

Величину ступеня обтиснення заготовки під час пресування визначають за формулою:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де F_0 - перетин заготовки;

F_1 - перетин отриманого профілю.

Для отримання пресованих виробів хорошої якості ступінь обтиснення має становити 80...95 %.

Пресування є високопродуктивним і економічним способом обробки металів і сплавів, під час якого можна одержувати суцільні та порожнисті профілі (рисунок 3.9а).

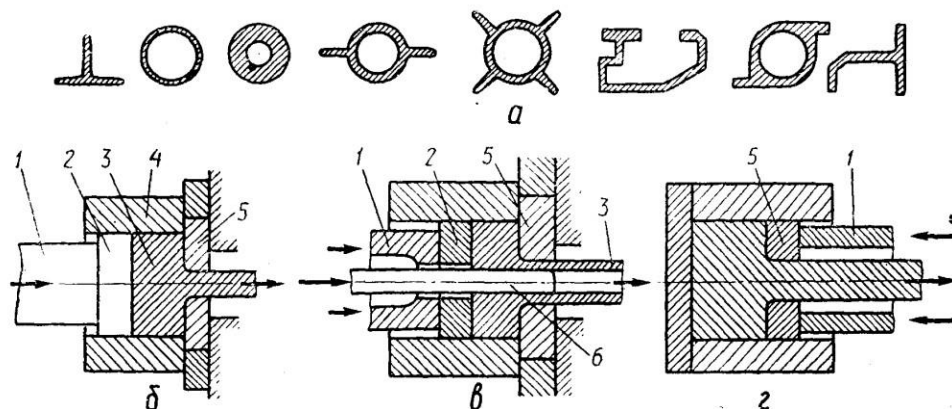


Рисунок 3.9 – Приклади пресованих виробів і схеми пресування

Пресування металу відбувається в умовах нерівномірного всебічного стиснення. За цієї схеми деформований метал найбільш пластичний. Тому пресуванням можна обробляти як пластичні, так і малопластичні сплави: мідні, алюмінієві, магнієві, титанові, вуглецеві та легovanі сталі тощо. До недоліків процесу можна зарахувати значні (іноді до 40 % від маси заготовки) відходи металу та інтенсивне зношування інструменту, особливо при пресуванні сталей та інших важкодеформованих сплавів.

Пресуванням отримують прутки діаметром 5...250 мм, дрід діаметром 5...10 мм, труби із зовнішнім діаметром 20...400 мм і товщиною стінки 1,5...12 мм та інші вироби. До переваг пресування належать такі. Точність пресованих профілів вища, ніж прокатаних. Процес універсальний з точки зору переходу з розміру на розмір і з одного типу профілю на інший. Зміна інструменту не вимагає великих витрат часу. Можливість досягнення дуже високих ступенів деформації робить цей процес високопродуктивним. Швидкості пресування досягають 5 м/с і більше.

Методи пресування

Початковою заготовкою для пресування є злиток або круглий прокат. Розрізняють пресування:

- ♦ пряме;
- ♦ зворотне.

Під час **прямого пресування** (рисунк 3.9б) напрямком виходу металу через отвір матриці 5 збігається з напрямком руху пуансона 1, тиск якого на заготовку 3 передається через прес-шайбу 2. Частину заготовки, яка залишається в контейнері 4, називають прес-остатком. Маса його становить зазвичай 8...12 % від маси злитка.

Під час пресування труб заготовка спочатку прошивається голкою 6 (рисунк 3.9в), що проходить через порожнистий пуансон 1. Під час подальшого переміщення пуансона і прес-шайби 2 метал видавлюється у вигляді труби 3 через кільцевий зазор між стінками отвору в матриці 5 і голкою.

При **зворотньому пресуванні** (рисунк 3.9 г) матрицю 5 встановлюють у кінці порожнистого пуансона 1, і метал витікає в напрямку, зворотньому переміщенню пуансона. Цей метод характеризується меншими відходами (маса прес-залишку становить 6...10 % від маси заготовки) і меншим зусиллям пресування, але через складність обладнання він знаходить обмежене застосування.

Устаткуванням для пресування слугують горизонтальні та вертикальні гідравлічні преси із зусиллям 3...250 МН з робочим тиском рідини до 40 мПа. Останнім часом дедалі більшого застосування (особливо під час виробництва виробів із важкодеформованих сплавів) знаходить гідропресування - пресування металів під безпосереднім впливом тиску рідини до 2000 мПа і вище.

3.7 Волочіння

Сутність процесу волочіння полягає в деформації металу шляхом протягування його через що звужується по довжині канал круглого, квадратного або складнішого профілю. Волочильний інструмент називається **волоком** (матриця фільєра), виготовляється з інструментальної сталі, твердих сплавів або алмазу. Алмаз використовується у вигляді кільцевої вставки.

Ступінь деформації металу характеризується *коефіцієнтом обтиснення ψ*

Коефіцієнт обтиснення за один прохід для сталі становить 10-19 %, для кольорових металів і сплавів до 36 %.

Щоб метал не руйнувався, під час волочіння потрібно витримувати коефіцієнт стоншення k :

$$k = \frac{d}{D}, \quad (3.6)$$

де d - діаметр заготовки після волочіння;

D - діаметр заготовки до волочіння.

Коефіцієнт стоншення повинен перебувати в межах 0,8...0,95.

Щоб не було обривів, посилення на волочіння не повинно перевищувати 0,6 границі міцності металу заготовки. Кількісно деформацію, так само, як і під час прокатки, можна характеризувати відношенням отриманої довжини до вихідної, тобто витяжкою $M = L/L_1$. Витяжка за один прохід не повинна перевищувати 1,25...1,45.

Волочіння найчастіше належить до холодної обробки металів тиском, тому після кожного проходу або кількох проходів проводиться термічна обробка для зняття наклепу. Оскільки тягнуче зусилля під час волочіння витрачається не тільки на деформування металу, а й на подолання сили тертя металу об волоку, то ці сили тертя зменшують із застосуванням змащення: рицинової олії, оліфи, мінеральних олій із додаванням тальку, порошку графіту, мила тощо.

Сортамент виробів, що виготовляються волочінням, дуже різноманітний (рисунк 3.10а) – це дріт діаметром 0,002...5 мм, різні фасонні профілі. Волочінням калібрують сталеві труби діаметром від капілярних до 200 мм, сталеві прутки діаметром 3...150 мм. За необхідності, завдяки наклепу, волочінням можна підвищити міцність і твердість металу.

Інструментом для волочіння служить волочильна матриця (волока). Волоки можуть бути цілісними, складовими і роликowymi. Цілісна волока має отвір (очко), що складається з чотирьох зон: змащувальної лійки 1 (рисунк 3.10б), робочого конуса 2, калібрувального пояса 3 і вихідного конуса 4. Кут робочого конуса залежить від матеріалу, що деформується, і

становить $6...12^\circ$. Ширина калібрувального пояса зазвичай $2...10$ мм. Робоча частина матриці виготовляється з інструментальних сталей, твердих сплавів і технічних алмазів. Останнім часом успішно використовують безвольфрамові тверді сплави на основі карбіду хрому.

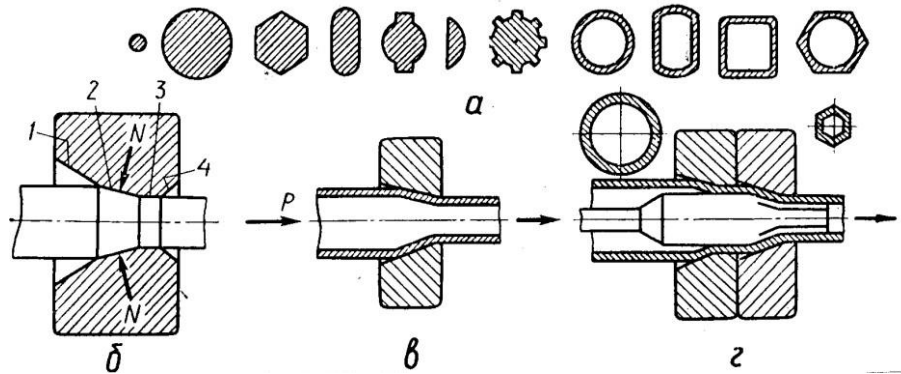


Рисунок 3.10 - Схеми різних способів волочіння

Волочіння виробляють на волочильних станах, у яких заготовки за допомогою тягнучого пристрою протягують через отвір матриці. Розрізняють волочильні стани періодичної дії з прямолінійним рухом тягнучого пристрою (найчастіше ланцюгові) і стани безперервної дії (барабанні).

Волочіння труб здійснюють двома способами:

- 1. Без оправлення для зменшення тільки діаметра труби (рисунок 3.10в).
- 2. Із застосуванням оправки для одночасного зменшення діаметра і стінки труби, а також для отримання фасонних труб (рисунок 3.10г).

Для отримання деяких виробів, від яких потрібна висока точність і якість поверхні, застосовують калібрування при малому ступені обтиснення.

3.8 Вільне кування

Процес вільного точіння металу під впливом періодичних ударів або статичних впливів інструменту називається **вільним куванням**. Метал вільно тече в напрямках, що не обмежуються робочими поверхнями інструменту.

Ковані заготовки називають поковками. Вони підлягають подальшій механічній обробці.

Куванням отримують поковки масою від $0,1$ кг до 300 т. Великі поковки (масою понад $1,5$ т) отримують зі злитків тільки куванням. Менші заготовки можна отримати штампуванням, але через складність інструменту штампування застосовується тільки в масовому і великосерійному виробництві. Кування застосовується в індивідуальному і дрібносерійному виробництві.

Вільне кування поділяється на *ручне* і *машинне*.

Ручне кування, як найдавніший спосіб обробки металів тиском, збереглося нині в дрібних ремонтних майстернях.

Інструмент для вільного кування ділять на три групи: для обробки, утримання і вимірювання поковок. До інструменту для обробки поковок відносять бойки пресів або молотів, кувалди, молотки (ручники), гладилки, прошивки, зубила, обтискачі тощо. Утримуючий інструмент - це ковадла, скоби, струбцини, різні кліщі тощо. Для вимірювання поковок використовують лінійки, косинці, кронциркулі, шаблони тощо.

Вільне машинне кування здійснюється на молотах і пресах.

Молотами називаються машини ударної дії, в яких енергія приводу перед ударом перетворюється на кінематичну енергію лінійного руху робочих мас із закріпленим на них інструментом, а під час удару - на корисну роботу деформації поковки. Для приводу молотів використовують пару, стиснене повітря або газ, рідину під тиском, горючу суміш, вибухові речовини, магнітне і гравітаційне поле. Існують молоти з масою падаючих частин від 160 кг до 16 т.

За конструкцією і типами приводу молоти підрозділяються на:

- пароповітряні;
- пневматичні;
- електромеханічні;
- газові;
- високошвидкісні.

Пароповітряні молоти приводяться в дію відповідно парою або стисненим повітрям, що подається від котлів або компресорів. Надходячи в робочий циліндр, енергоносії розганяє поршень і пов'язані з ним рухомі частини молота до швидкості 6-7 м/с.

Пневматичні молоти також використовують стиснене повітря, але повітря тут є пружиною, що зв'язує два поршні: робочий і компресорний. Компресор фактично вбудований у поршень.

В **електромеханічних молотах** рухомі частини через перетворювальні механізми пов'язані з приводом, в якості яких використовуються електродвигуни.

У **газових молотах** на поршень діє тиск газів, що виникає внаслідок спалаху пального.

У **високошвидкісних молотах** високий тиск створюється за допомогою спеціальних гідравлічних пристроїв. Енергоносіями є зріджений газ, порох тощо. У цих молотах частіше використовують метод зустрічного руху бойків. Такі молоти називаються безшаботними. Перевага цієї конструкції полягає у відсутності громіздких фундаментів або амортизаційних систем.

Під час використання звичайного молота в момент удару бойка по заготівлі частина енергії витрачається на її деформацію, інша частина поглинається нижнім бойком і його основою (шаботом). Зазвичай маса шабота приблизно в 15 разів більша за масу падаючих частин. Це

необхідно для того, щоб коефіцієнт корисної дії удару був не менше 0,8-0,9. Коефіцієнт корисної дії молота визначається як відношення корисної роботи деформації до всієї енергії удару:

$$\eta = \frac{A_q}{A}, \quad (3.7)$$

де A_q - корисна робота деформації;

A - енергія удару.

Чим більша маса шабота, тим вище η

Гідравлічні преси відрізняються від молотів тим, що вони чинять статичний вплив на заготовку. Тривалість деформації доходить до десятків секунд, а швидкість деформації становить 2...3 м/хв.

Гідравлічні преси виготовляють із максимальним зусиллям 5...150 МН. Вони частіше використовуються для отримання великих поковок, а також під час кування малопластичних високолегованих сталей і сплавів кольорових металів.

При виготовленні поковок зі злитків маса відходів становить 25...35 % від маси злитка. Чад становить 2...3 % від маси злитка або заготовки під час кожного нагрівання і 1,5...2 % під час кожного наступного підігріву. Масу обсічок приймають для простих поковок 5...8 %.

Технологічні операції кування

Найскладнішу поковку можна отримати, виконуючи в певній послідовності основні технологічні операції кування (рисунок 3.11).

Осадка (рисунок 3.11а) - це збільшення поперечного перерізу заготовки за рахунок зменшення її висоти. Для правильного осадження висота вихідної циліндричної заготовки не повинна перевищувати трьох діаметрів, а торці мають бути рівними і паралельними.

Осадка здійснюється з повним перекриттям інструментом (бойками 1, 2) всієї заготовки 3. Осадка - основна операція під час отримання поковок дисків, зубчастих коліс тощо.

Висадку (рисунок 3.11б) використовують для отримання поковки 4 з потовщенням на кінці або в середині. В останньому випадку обмежують деформацію заготовки на деякій її частині підкладкою кільцевих плит 3, що закріплюються на бойках 1, 2. У такий спосіб створюються поковки болтів, деталей з буртами, фланцями тощо.

Прошивка (рисунок 3.11в) призначена для оформлення порожнин у поковці 4, встановленій на бойку 2, прошивнем 3, закріпленим на бойку 1. Прошивка часто використовується для видалення неякісної серцевини злитка. Прошивки можуть бути суцільними або пустотілими.

Гнуття (рисунок 3.11г) заготовки 1 відбувається на підкладних опорах 2. Гнуттям виготовляють косинці, скоби, гаки, колінвали тощо.

Протягуванням (витяганням) (рисунок 3.11д) домагаються збільшення довжини заготовки за рахунок зменшення її поперечного

перерізу. Протягування - найпоширеніша операція вільного кування, відбувається вона послідовними ударами або натисканнями на окремі суміжні ділянки заготовки. Кування з кола на коло здійснюють у вирізних бойках 1, 2 (рисунок 3.11е). Протягування круглих заготовок у вирізних бойках сприяє підвищеній пластичності металу внаслідок наближення до схеми напруженого стану всебічного стиснення. Протяжкою отримують поковки з подовженою віссю, з яких будуть виготовлені вали, важелі, шатуни, тяги тощо.

Розгонка (рисунок 3.11ж) спрямована на збільшення ширини частини заготовки за рахунок зменшення її товщини, є різновидом протягання.

Під час **протягування** на оправці (рисунок 3.11з) прошита заготівля збільшується за довжиною і зменшується в діаметрі.

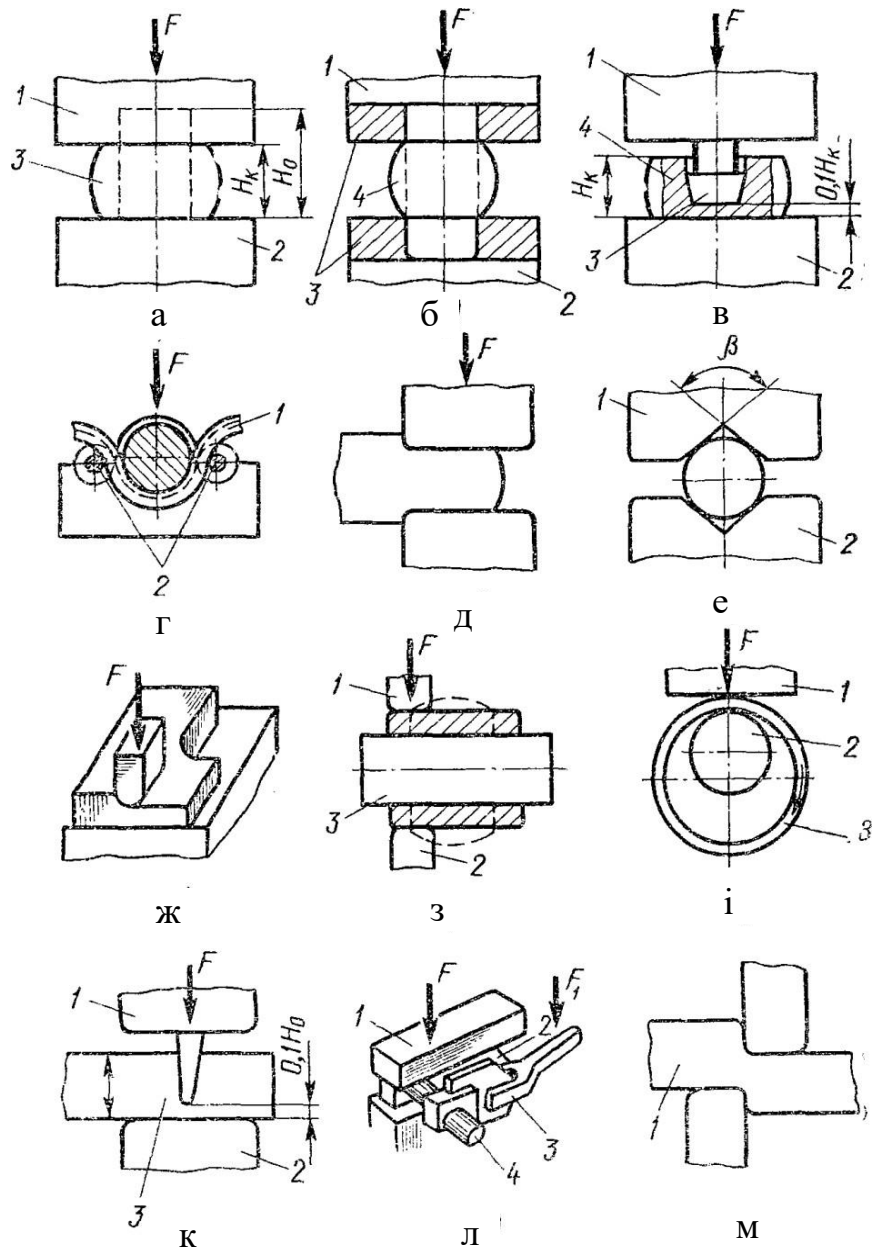


Рисунок 3.11 - Схеми основних операцій вільного кування

Обтиснення відбувається між бойками 1, 2 і оправкою 3. Ця операція застосовується під час виготовлення порожнистих поковок; котельних барабанів, роторів турбін тощо.

Збільшення зовнішнього і внутрішнього діаметрів заготовки за зменшення товщини її стінок отримують **розкочуванням на оправці** (рисунок 3.11і). Заздалегідь прошита заготівля 3 піддається протягуванню між довгим бойком 1 і циліндричною оправкою 2. Метод використовується у виробництві поковок кілець, бандажів, барабанів тощо.

Рубка (рисунок 3.11к) - це операція відділення однієї частини заготовки від іншої. Рубка заготовки 3 проводиться сокирою 1, після чого заготовка на бойку 2 кантується на 180° і розділяється остаточно.

Для повороту частини заготовки навколо поздовжньої осі існує операція **скручування** (рисунок 3.11л). Одна частина заготовки 4 затискається в бойках 1 і 2, інша - повертається за допомогою ключів 3, воротків та інших пристосувань. Скручування застосовують для розвороту колін колінчастих валів, при виготовленні свердел тощо.

Операція передачі металу (рисунок 3.11м) полягає в зміщенні однієї частини заготовки 1 відносно іншої. Передача застосовується для виготовлення колінчастих валів та інших виробів.

До основних переваг вільного кування належать:

1. Отримання металу високої якості та властивостей порівняно з виливками.
2. Можливість отримувати великі поковки за масою і габаритами, що іншими способами або недосяжно, або економічно недоцільно.
3. Для виготовлення великих поковок потрібні порівняно невеликі зусилля, оскільки обробка здійснюється деформуванням невеликих ділянок.
4. Застосування універсального обладнання та інструменту значно знижує витрати на виготовлення поковок, особливо в умовах індивідуального та дрібносерійного виробництва.

Однак вільне кування має кілька істотних недоліків:

1. Низька продуктивність порівняно з гарячим штампуванням.
2. Великі допуски і припуски (особливо на великих поковках), що вимагає великого обсягу подальшого оброблення і викликає підвищені відходи металів у стружку.

Тому нині сфера застосування вільного кування дедалі більше скорочується порівняно з об'ємним штампуванням. Але в низці випадків, особливо за одиничного і дрібносерійного виробництва, а також у разі виготовлення унікальних за габаритами заготовок (наприклад, у важкому машинобудуванні) вільне кування виявляється більш економічно доцільним способом отримання деформованих заготовок.

3.9 Гаряче об'ємне штампування

Об'ємне штампування - процес виготовлення поковок у штампах, за якого течія металу в сторони під час деформування обмежена поверхнями окремих частин штампа.

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

1. Висока продуктивність (десятки сотень поковок на годину), що перевищує в 50...60 разів продуктивність кування.
2. Висока точність виробів (припуски і допуски в 3-4 рази менші, ніж під час кування), завдяки чому значно зменшується витрата металу в стружку.
3. Можливість отримання поковок складної форми і з високою якістю поверхні.

На одному штампі залежно від складності, матеріалу і маси заготовки, а також від способу штампування можна отримати від 10 до 25 тисяч поковок.

До недоліків об'ємного штампування належать:

1. Складність і дорожнеча інструменту - штампа;
2. Обмеженість маси поковок, оскільки зусилля деформації під час штампування значно вищі, ніж під час кування у великосерійному та масовому виробництвах.

Об'ємне штампування виконують у штампах, що складаються зазвичай із двох половин, які в зібраному вигляді створюють одну або кілька внутрішніх порожнин, званих *струмками*. На відміну від вільного кування, течія металу під час деформації обмежена внутрішніми стінками штампа. Вироби, одержувані штампуванням, вирізняються високою точністю розмірів, гарною якістю поверхні та невеликими припусками і допусками.

Штампи виготовляють зі сталей марок 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 3Х2В8Ф тощо. Кожен штамп призначений для отримання поковок певної конфігурації, розміру і маси.

Об'ємне гаряче штампування виконують двома способами: у відкритих і закритих штампах.

Відкритими штампами називають такі, у яких навколо всього зовнішнього контуру штампувального струмка є спеціальна облойна канавка 4, з'єднана тонкою щілиною з порожниною 3, що утворює поковку (рисунок 3.12а). У процесі штампування через щілину в канавку витісняється надлишкова частина металу, утворюючи по контуру поковки облой. Це призводить до деякого збільшення відходів металу, але зате спрощує процес штампування. Облой з поковки обрізають особливими штампами.

Закритими штампами називають такі, в яких метал деформується в замкнутому просторі 3 без утворення облой (рисунок 3.12б). Витрати металу на виготовлення поковки скорочуються, а процес отримання

придатної поковки ускладнюється. Закриті штампи більш перспективні, але через складність їх застосовують поки що рідко.

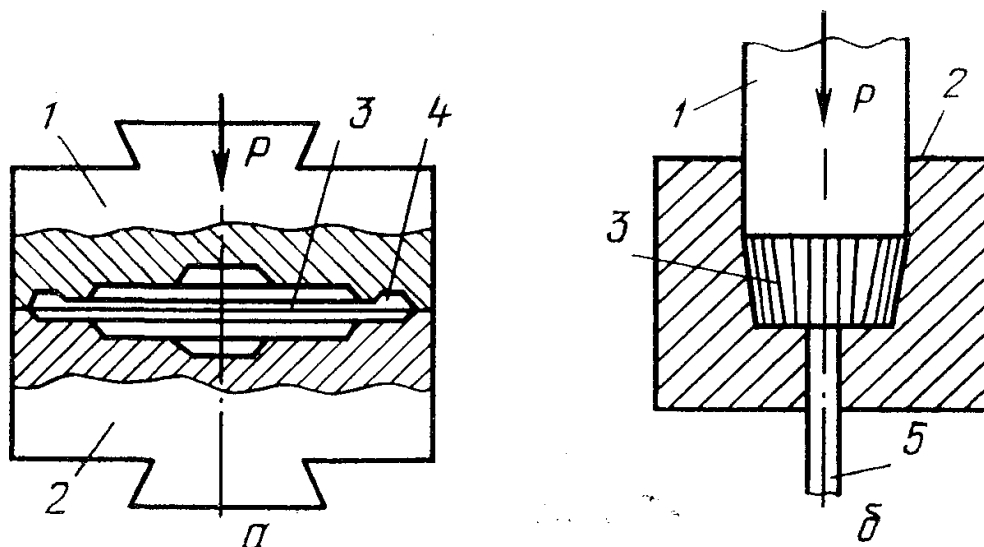


Рисунок 3.12 – Схеми відкритого (а) і закритого (б) штамів:
1 - верхня частина штамп; 2 - нижня частина штамп;
3 - порожнина штамп; 4 - облойна канавка; 5 - виштовхувач

У штампах з одним струмком виготовляють поковки простої форми, а поковки складної конфігурації отримують у багатострумкових штампах.

Гарячим об'ємним штампуванням отримують великі поковки вагою 450...500 кг, а холодним - дрібніші. При гарячому об'ємному штампуванні основним вихідним матеріалом слугує сортовий прокат зі сталі, кольорових металів та їхніх сплавів. Технологічний процес гарячого об'ємного штампування в загальному випадку складається з таких операцій:

- ◆ оброблення прокату на заготовки певної маси та розмірів;
- ◆ завантаження заготовок у піч і нагрівання до певної температури (900...1200 °С для сталі);
- ◆ укладання заготовки на нижню половину штампів і штампування;
- ◆ видалення поковки зі штампів; термічна обробка поковок;
- ◆ обрубкування обломків та оздоблення.

Гаряче об'ємне штампування виконують на штампувальних молотах, ковочно-штампувальних пресах, горизонтально-кувальних машинах та іншому обладнанні. Отримують різноманітні вироби: колінчасті вали, колеса, шатуни, важелі, шестерні, болти, гайки, втулки тощо. У зв'язку зі значною вартістю штампів штампування рентабельно застосовувати тільки в умовах великосерійного та серійного виробництва.

Холодне об'ємне штампування поділяють на:

- плоске й об'ємне калібрування,
- холодне видавлювання,
- холодне висаджування і карбування.

Плоске калібрування застосовують для отримання точних розмірів між окремими площинами, а *об'ємне* - для обробки поверхні поковки за одночасного підвищення точності всіх її розмірів. Калібрування виконують на шарнірно-важільних карбувальних пресах.

Холодне видавлювання (пряме і зворотне) подібне до пресування. Застосовують переважно під час обробки кольорових металів і сплавів.

Холодну висадку широко використовують для отримання дрібних деталей у масовому виробництві (гайки, болти, шурупи, заклепки, цвяхи тощо). Карбування - отримання на поверхні готової деталі опуклого-увігнутого рельєфу. Прикладом може слугувати карбування монет, знаків, медалей тощо.

3.10 Листове штампування

Листове штампування є одним із прогресивних методів формоутворення на пресах за допомогою штампів і широко застосовується в усіх галузях машинобудування, приладобудівної, електротехнічної та металообробної промисловості (рисунок 3.13).

Листовим штампуванням виготовляють найрізноманітніші плоскі і просторові деталі масою від часток грама і розмірами, які обчислюються частками міліметра (наприклад, секундна стрілка ручного годинника), і деталі масою в десятки кілограмів і розмірами, що становлять кілька метрів (облицювання автомобіля, літака, ракети).

Листовим штампуванням виготовляють вироби для автомобілів, тракторів, комбайнів, літаків, сільськогосподарських машин, холодильників. Особливо великий обсяг застосування листового штампування в суднобудуванні (корпусне виробництво, двері, настили, перебирання). Питома вага листового штампування за витратою матеріалів в основних галузях машинобудування і виробництва товарів народного споживання становить понад 60 %. Широкий розвиток листового штампування пояснюється цілою низкою його переваг, а саме:

1. Висока продуктивність процесу і внаслідок цього низька собівартість штампованих деталей.
2. Порівняно з іншими способами обробки - різанням - незначні відходи металу.
3. Взаємозамінність деталей через їхню точність.
4. Можливість отримання досить простих і жорстких, але легких деталей.
5. Широкі можливості механізації та автоматизації процесу.

Залежно від товщини листа-заготовки штампування можна умовно розділити на *тонколистове* (товщиною листа до 4 мм) і *товстолистове* (товщина понад 4 мм). Листовий метал завтовшки понад 15 мм, як правило, штампують у гарячому вигляді. Діапазон розмірів листових деталей, що штампуються, дуже широкий: від декількох міліметрів до 6 ... 7 м при товщині від десятих часток міліметрів до 100 мм і вище.

У листоштампувальному виробництві широко застосовують як чорні метали (сталі, сплави на основі заліза), так і кольорові метали та сплави на їхній основі.

До першої групи належать вуглецеві сталі (звичайної якості, якісні та конструкційні), леговані конструкційні сталі (10ГСА, 25ХГСА та ін.), сталі та сплави високолеговані, корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні. До другої групи належать найпоширеніші в промисловості мідь та її сплави (М1, МЗ, Л62, ЛС59-1 та ін.), нікель, алюміній, магній, титан і сплави на їхній основі. У листовому штампуванні використовують також біметалічний і багатошаровий лист.

Як правило, під час листового штампування пластичну деформацію отримує лише частина заготовки. Операцією листового штампування називається процес пластичної деформації, що забезпечує характерну зміну форми певної ділянки заготовки.

Операції листового штампування можуть бути розбиті на такі основні групи:

- роз'єднувальні;
- пресувальні;
- формозмінювальні;
- комбіновані;
- штампоскладальні.

До роз'єднувальних (розділових) операцій, пов'язаних з відділенням однієї частини матеріалу від іншої по замкнутому або незамкненому контуру, слід віднести відрізання, вирубування (вирізку), пробивання отворів, надрізання, обрізання і зачищення (рисунок 3.13).

До формозмінювальних операцій перетворення плоскої заготовки на просторову деталь необхідної форми без необхідної зміни товщини матеріалу відносять: згинання, витягування, виправлення, рельєфне штампування, відбортовування, формування, роздавання й обтискання.

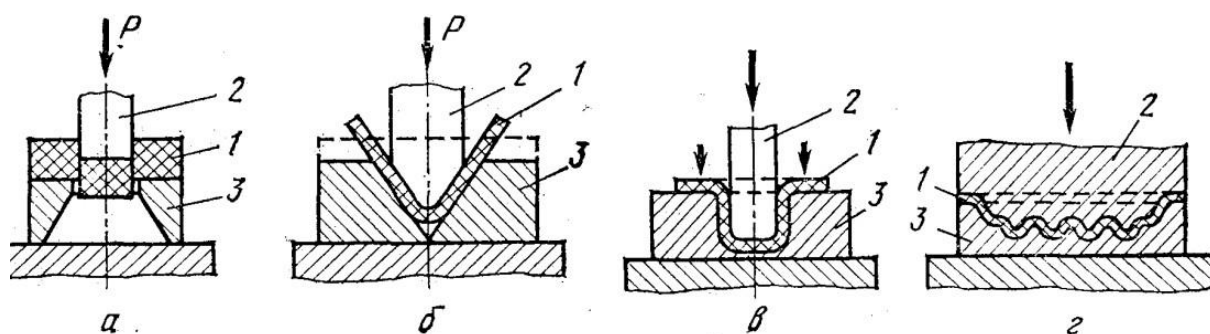


Рисунок 3.13 – Схеми основних операцій листового штампування:
а - вирубка; б - згинання; в - витяжка з відбортовуванням; г - формування;
1 - заготівля і виріб; 2 - пуансон; 3 - штампи (матриця)

До пресувальних операцій, пов'язаних зі зміною товщини заготовки, належать: карбування, розмітка (кернування), таврування (маркування) і холодне видавлювання.

Комбіноване штампування - це поєднання кількох технологічних операцій, наприклад, відрізки і згинання; вирубки і витяжки.

Штампоскладальні операції призначаються для з'єднання декількох деталей в один вузол. Такими операціями є: запресовування, закатування, холодне або гаряче пластичне (дифузійне) зварювання тощо.

Процеси листового штампування постійно вдосконалюються і розвиваються. Поряд із традиційними методами набувають широкого розвитку такі, як обтягування з розщепленням по пуансону, складне витягування, штампування еластичним інструментом, групові методи штампування тощо. Розроблено нові конструкції переналагоджуваних штампів та інші пристрої, що дають змогу застосовувати листове штампування не тільки в масовому і великосерійному виробництві, а й у виробництві деталей середніми і дрібними серіями.

Нагрівальні пристрої

Залежно від джерела енергії нагрівальні пристрої бувають полум'яними та електричними.

За розподілом температури в робочому просторі полум'яні печі поділяють на камерні та методичні. Камерні печі будуються з нерухомим і рухомим подом, вони бувають переносними і стаціонарними.

Робочий простір печі (нагрівальна камера) (рисунки 3.14а), викладений вогнетривкою цеглою, нагрівається при спалюванні палива за допомогою двох форсунок 2 (або пальників) і має однакову температуру. Заготовки 3, що встановлюються на під печі, завантажуються і вивантажуються через вікно 4. Продукти згоряння відводяться через димохід 5 і використовуються для нагріву до 200 ... 300 ° С повітря, яке надходить у піч, що підвищує ККД печі.

Печі для нагрівання великих заготовок обладнують різними пристроями, що полегшують завантаження і вивантаження. Використовують печі зі штовхачами, карусельні, конвеєрні, з висувним подом.

Різновидом камерних печей є нагрівальні колодязі, які застосовують для нагріву великих злитків під час прокатки і кування. У них заготовки розташовуються вертикально і завантажуються зверху краном.

Методичні печі призначені для нагріву великих заготовок під прокатку і у великосерійному виробництві. Печі характеризуються великою протяжністю (8...22 м) і наявністю трьох зон з різною температурою. Заготовки 3 (рисунки 3.14б), поступово переміщуючись назустріч гарячим газам уздовж печі, проходять зону підігріву I (600...800 °С), максимального нагріву II (1350 °С), де відбувається основне згоряння палива за допомогою форсунок або пальників 2, і зону витримки III

(1200...1300 °С), в якій вирівнюється температура за перетином заготовки. Продукти згоряння з температурою 700 °С направляються в регенератори для підігріву повітря. Заготовки за допомогою штовхача 6 проштовхуються через піч по охолоджувальній по напрямних трубах 7, що охолоджуються водою, і вивантажуються через вікно 8.

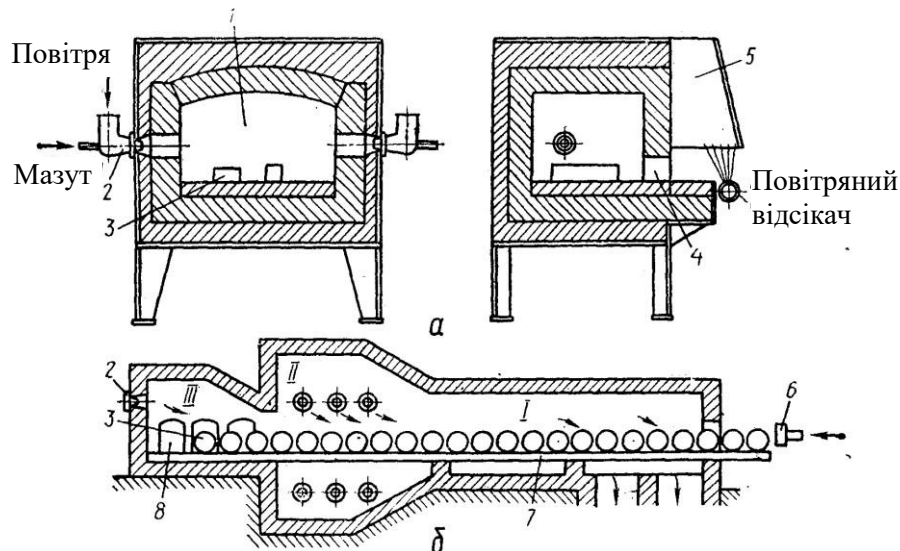


Рисунок 3.14 – Полум'яні печі для нагрівання заготовок

У нагрівальних печах відкритого полум'я чад металу за багаторазового нагрівання досягає 5 % і більше.

Це чад відбувається головним чином завдяки окалиноутворенню під час нагрівання металу. Тому тут намагаються забезпечити безокислювальне нагрівання, яке досягається за неповного згоряння палива (газу), тобто за витрати повітря близько 50 % від кількості, необхідної для повного спалювання палива. При цьому повітря застосовується підігріте до 800...1000 °С. У результаті зазначених заходів в атмосфері печі з'являються гази CO і H₂, які перешкоджають окисленню сталевих заготовок, що нагріваються.

Крім нагрівання в печах, у ковальському виробництві застосовується індукційний і контактний електронагрів заготовок. При цьому швидкість нагріву в 10-20 разів більша, ніж у нагрівальних печах, а чад металу знижується до 0,5 %.

При індукційному нагріванні заготівля поміщається в індуктор, що являє собою котушку з витків мідної трубки, всередині якої циркулює для охолодження вода. Змінний струм, проходячи через індуктор, збуджує магнітне поле індукції, внаслідок чого в заготівлі виникають вихрові струми, що нагрівають її до високої температури. Індукційну нагрівальну установку безперервної дії показано на рисунку 3.15, вона складається з індуктора 1, завантажувального пристрою 2, що подає заготовки 3 до пневматичного штовхача 4, який проштовхує їх через певні проміжки часу через індуктор.

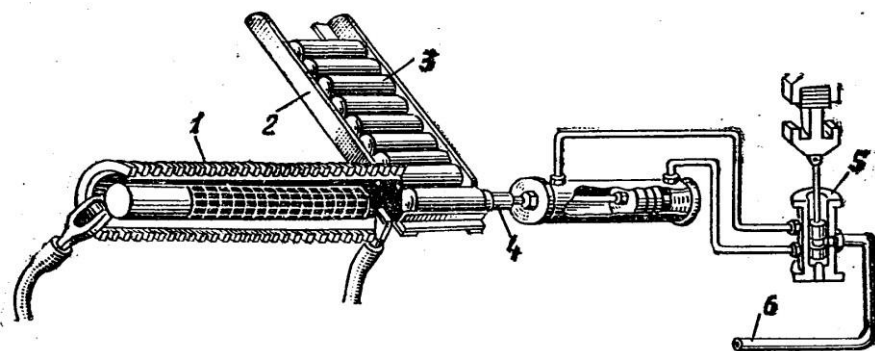


Рисунок 3.15 – Схема індукційної нагрівальної установки безперервної дії

Штовхач має електропневматичний привід 5, до якого підводиться стиснене повітря трубопроводом 6.

Глибина проникнення струму, що виникає в заготівлі, визначається за формулою:

$$h = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \quad (3.8)$$

де ρ – питомий електричний опір металу;

μ – магнітна проникність;

f – частота струму.

Звідси випливає, що чим менша частота струму, то більша глибина його проникнення в заготовку, що нагрівається. Отже, більш товсті заготовки слід нагрівати змінним струмом меншої частоти і навпаки. Виходячи з практики, частоту струму вибирають так, щоб відношення діаметра заготовки, що нагрівається, до глибини проникнення струму перебувало в межах 2,5...5,0. Індукційні установки широко застосовуються для нагрівання заготовок зі сталі, мідних, нікелевих та інших сплавів. Витрата електроенергії становить від 0,4 до 0,5 кВт год на 1 кг сталевих заготовок, що нагріваються.

Принципова схема електричного контактного способу нагрівання заготовок наведена на рисунку 3.16. Від понижувального силового трансформатора струм подають за допомогою шин до пневматичних мідних контактів 2, між якими затискають кінці заготовки, що нагрівається, 3. Силовий трансформатор у первинній обмотці має кілька ступенів регулювання, що дає змогу змінювати напругу, а отже, і силу струму у вторинному ланцюзі, в який включено заготовку. Напруга у вторинному ланцюзі трансформатора становить 4...16 В, а сила струму може досягати кількох десятків тисяч ампер. За контактного способу

заготовки нагріваються дуже швидко, що забезпечує високу продуктивність, невелику втрату тепла (ККД установок 65...80 %) і незначне окислення металу. Для рівномірного нагріву металу контактним способом необхідно, щоб заготовки (прутки, труби тощо) мали однаковий переріз по довжині і невеликий діаметр (приблизно до 80 мм). Цей спосіб нагрівання застосовують у ковальсько-штампувальних цехах для нагрівання порівняно дрібних заготовок.

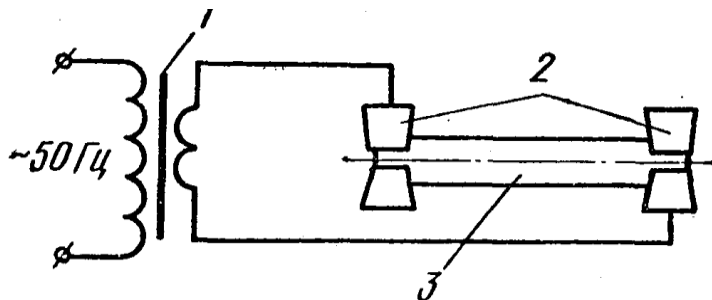


Рисунок 3.16 – Принципова схема електроконтактного способу нагрівання заготовок

Контроль температури заготовки, що нагрівається, здійснюється за допомогою фотоелектричного пірометра, який при досягненні заданої температури нагріву автоматично відключає установку від мережі контактором. Одночасно з цим розмикаються контакти, що утримують заготовку, і вона падає для обробки тиском.

Контрольні питання

- 3.1 Що таке пружна деформація?
- 3.2 Що таке пластична деформація?
- 3.3 Який механізм пластичного деформування?
- 3.4 Як впливає наявність дислокацій на опір пластичному деформуванню?
- 3.5 За якої схеми навантаження можна отримати максимальну величину пластичної деформації?
- 3.6 Які з хімічних елементів у залізовуглецевих сплавах найсильніше знижують пластичні властивості?
- 3.7 Що таке швидкість деформації?
- 3.8 Як впливає швидкість деформації на пластичність металів?
- 3.9 Назвіть основні чинники, що впливають на пластичність металів.
- 3.10 Як змінюються властивості під час наклепу металів?
- 3.11 За яких температур необхідно проводити обробку тиском?
- 3.12 Перелічіть дефекти нагрівання під час обробки тиском.
- 3.13 Перелічіть основні нагрівальні печі під час обробки тиском.
- 3.14 Які електронагрівальні пристрої застосовуються під час обробки тиском?
- 3.15 Назвіть основні види прокатки.
- 3.16 Назвіть основні види прокатних станів.

- 3.17 Перелічіть сортамент прокату.
- 3.18 Які деталі та вироби отримують волочінням?
- 3.19 З яких матеріалів виготовляють волокни?
- 3.20 Назвіть основні види волочильних станів.
- 3.21 Як здійснюється процес волочіння дроту та труб? У чому відмінності в обладнанні?
- 3.22 Сутність процесу пресування. Що таке пряме, зворотне пресування?
- 3.23 Чому прес-залишок при прямому пресуванні більший, ніж при зворотному?
- 3.24 Чим відрізняється гаряче об'ємне штампування від кування?
- 3.25 У яких випадках під час гарячого об'ємного штампування необхідно застосовувати багатострумкові штампи?
- 3.26 Для чого у відкритих штампах передбачені облойні канавки?
- 3.27 Чому при штампуванні в закритих штампах необхідно мати заготовки більшої точності за розмірами, ніж у відкритих?
- 3.28 Назвіть основні операції гарячого об'ємного штампування.
- 3.29 На якому обладнанні виконується гаряче об'ємне штампування?
- 3.30 Для деталей якого виду і яких матеріалів застосовується холодне об'ємне штампування?
- 3.31 Назвіть розділові операції листового штампування.
- 3.32 Назвіть формотворчі операції листового штампування.
- 3.33 Яке обладнання застосовується для листового штампування?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВІЛЬНОГО КУВАННЯ

Мета заняття. Вивчити обладнання та інструменти, що застосовуються під час вільного кування. Ознайомитися з методикою розроблення технології та скласти технологічні карти на виготовлення поковки.

Порядок роботи

1. Ознайомитися з обладнанням та інструментами вільного кування і заповнити таблицю 3.1.
2. Отримати у викладача індивідуальне завдання (таблиця 3.2).
3. Скласти ескіз готової обробленої деталі.
4. Скласти ескіз поковки.
5. Зробити розрахунок розмірів і маси заготовки для поковки.
6. Призначити ковальські переходи і заповнити таблицю 3.3.
7. Вибрати необхідне обладнання.
8. Визначити режими нагрівання та охолодження.

9. Призначити термообробку для поковки.
10. Скласти технологічну карту на виготовлення поковки і заповнити таблицю 3.4.

Теоретичні відомості

Машинобудування є основою промисловості. Технічний рівень машинобудування, вдосконалення форм організації процесів виготовлення машин багато в чому визначають загальний промисловий потенціал держави. Серед машин, що використовуються в різних виробничих і ремонтних процесах, одне з провідних місць посідає ковальсько-пресове обладнання. Воно має високу продуктивність і широкі технологічні можливості, що дає змогу виготовляти з його допомогою різноманітні вироби та заготовки деталей. Використання отриманих поковок і штамповок створює передумови для економії матеріалів, скорочення циклів виготовлення деталей і зниження їх собівартості.

Вільним куванням називається технологічний процес обробки металів, що перебувають у пластичному стані, статичним або динамічним тиском. При цьому змінюється як зовнішня форма, так і структура металу, а течія металу не обмежена бойками.

Виріб, отриманий у результаті кування, називається **поковкою**.

Кування є універсальним технологічним процесом ковальсько-штампувального виробництва, що дає змогу отримувати поковки широкого сортаменту, масою від кількох кілограмів до 300 т і більше. Поковки потім обробляють на металорізальних верстатах і з них отримують готові деталі.

Нині вільне кування здебільшого застосовують в індивідуальному і дрібносерійному виробництві, у ремонтних цехах заводів, у ремонтних майстернях господарств агропромислового комплексу.

Обладнання та інструменти, що застосовуються при вільному куванні

Вільне кування може виконуватися вручну і машинами.

Ручне кування широко застосовується в майстернях підприємств агропромислового комплексу під час ремонтних робіт. Під час ручного кування обробляють невеликі заготовки й удари наносять молотком (ручником) або кувалдою. Застосовуваний для вільного кування ковальський інструмент поділяють на три групи: для обробки, утримання та вимірювання поковки (рисунок 3.17).

До інструменту для обробки поковок відносять кувалди, молотки (ручники), гладилки, прошивні, зубила, обтискачі тощо. До інструменту, що утримує належать ковадла і різні кліщі. Для вимірювання поковок використовують лінійки, косинці, кронциркулі, шаблони тощо.

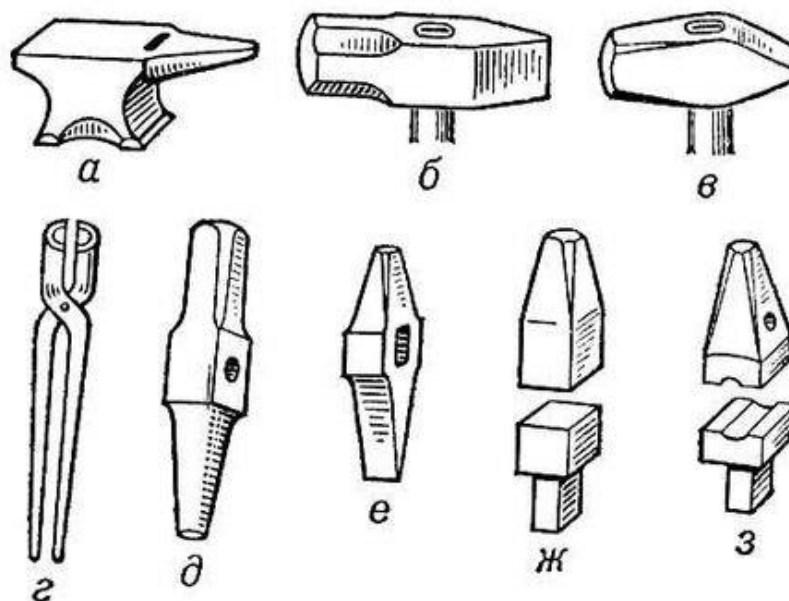


Рисунок 3.17 – Інструменти для ручного кування:

а - однорого ковадло; б - кувалда з поздовжнім задком;
в - ручник з поперечним задком; г - поздовжні кліщі з круглими губками;
д - круглий борідок; е - пряме зубило для гарячого рубання; ж - плоский підбійник; з - круглий обтискач.

Машинне кування здійснюється молотами і пресами (рисунок 3.18). Молоти діють на заготовку динамічно і характеризуються масою падаючих частин. Преси розвивають статичне зусилля.

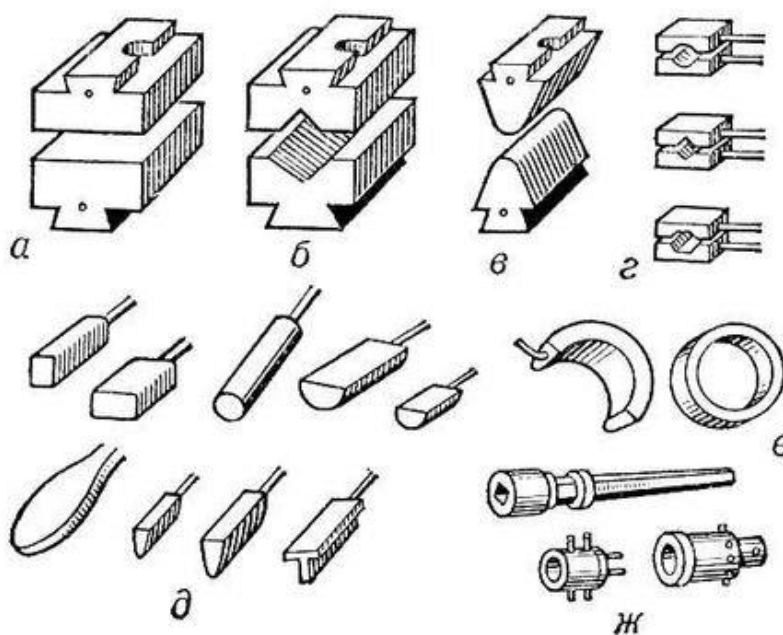


Рисунок 3.18 – Інструменти для машинного кування: а - плоскі бойки;
б - вирізні бойки; в - заокруглені бойки; г - обтискачі; д - розкатки;
е - перетискачі; ж - патрони.

Кувальні молоти підрозділяються на пневматичні та пароповітряні. Частина молота, яка слугує опорою сталевій подушці і нижньому бойку, називається шаботом. Падаюча частина молота називається бабою. Нижня частина баби, яка стикається під час удару із заготівлею, називається бойком. Поковки масою до 250 кг кують на пневматичних молотах.

Пневматичний молот (рисунок 3.19) має два паралельні циліндри - робочий 1 і компресійний 3. У робочому циліндрі рухається поршень, пов'язаний із бабою 6 - бойком 10. Поршень приводиться в рух кривошипно-шатунним механізмом 4. Під час переміщення поршень стискає по черзі повітря в нижній і верхній порожнинах компресійного циліндра і нагнітає його в порожнину робочого циліндра каналами, внаслідок чого відбувається опускання (удар) і підйом баби 6. Для випуску повітря з циліндра і впуску використовуються крани 2 і 5, керовані педаллю 9. Пневматичні молоти здійснюють 95-210 ударів на хвилину, маса падаючих частин становить від 50 кг до 1 т.

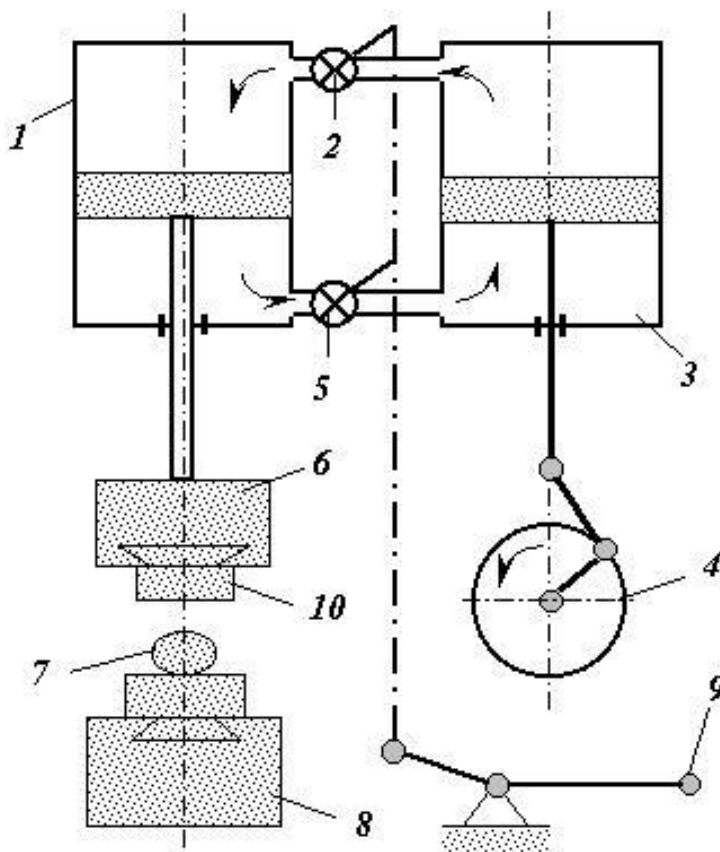


Рисунок 3.19 - Схема пневматичного молота:

1 – робочий циліндр; 2, 5 – крани; 3 – компресійний циліндр; 4 – кривошипно-шатунний механізм; 5 - баба; 6 - повітряні канали; 7 -; 8 - поршень компресора;
9 -; 10 - педаль

Пароповітряні молоти бувають простої та подвійної дії (рисунок 3.20).

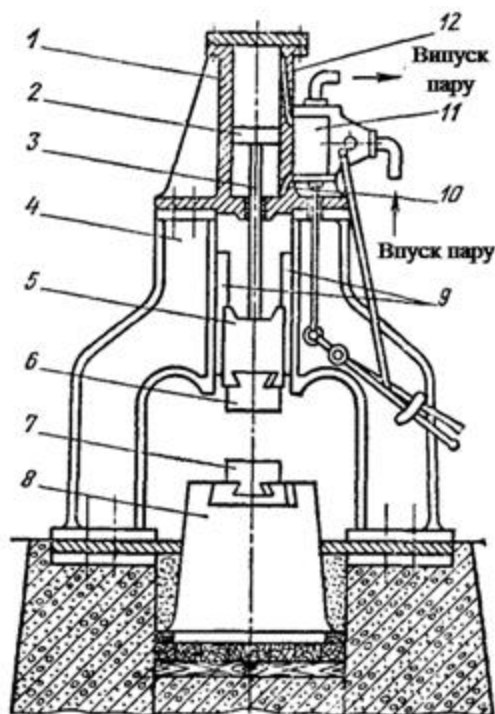


Рисунок 3.20 – Пароповітряний молот:

а – важіль; 2 – тяга; 3, 4 – золотниковий пристрій для регулювання подачі пари; 5 – робочий циліндр; 6 – поршень; 7 – напрямні; 8 – шток, що з'єднує поршень з бабою; 9 – станина; 10 – баба; 11 – верхній бойок; 12 – нижній бойок, нерухомо закріплений; 13 – шабот, що лежить на дубовій подушці на окремому фундаменті.

Вони приводяться в рух парою або стисненим повітрям, що надходить під тиском 0,4...0,8 МПа. У молотах простої дії пара використовується для підйому баби. Удар баби по заготівлі відбувається під дією сили тяжіння. У молотах подвійної дії пар служить не тільки для підйому баби, а й для збільшення сили удару.

Пароповітряні молоти застосовують для обробки заготовок масою до 2...3 т. Вони мають масу падаючих частин до 16 т.

Гідравлічні кувальні преси застосовують для отримання важких поковок, маса яких сягає 250 т.

Преси забезпечують рівномірну деформацію металу, не вимагають спорудження дорогих фундаментів, працюють безшумно і прості в управлінні. Гідравлічні преси можуть створювати зусилля до 700 МН.

Інструмент для кування на молотах і пресах дещо іншої форми.

Нагрівання заготовок перед куванням відбувається в ковальських горнах, полум'яних і електричних печах, електронагрівальних пристроях.

Ковальські горни служать для нагрівання невеликих шматків металу і широко застосовуються в ремонтних майстернях підприємств агропромислового комплексу. Горни бувають відкритого або закритого

типу. Більш досконалим є закритий горн (рисунок 3.21).

Він складається з металевого каркаса, викладеного вогнетривкою цеглою і топки 4. Через трубу 1 і колектор колошникової решітки 5 подається повітря. Щоб паливо згорало повністю, по трубах 7 подається додаткове повітря. Заготовки завантажують через робоче вікно 3, паливо - через вікно 8. Закриті горни економічніші, ніж відкриті, і забезпечують кращу витяжку через димохід 2 і парасольку. Паливом для горна слугують спечені сорти кам'яного вугілля або коксу.

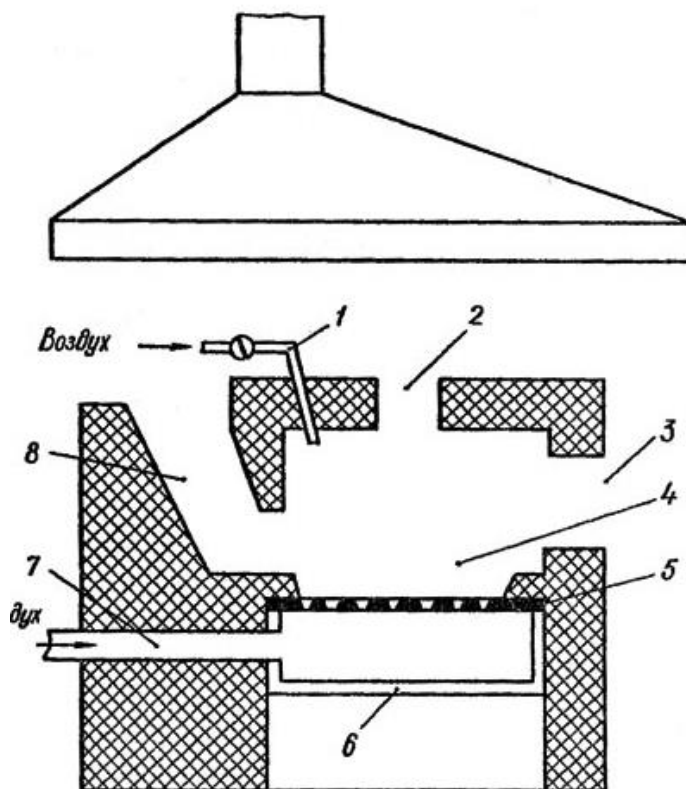


Рисунок 3.21 – Горн закритого типу:

- 1 - трубки додаткової подачі повітря для допалювання газів, що відходять;
- 2 - димохід; 3 - вікно для завантаження заготовок; 4 - топкова камера;
- 5 - колошникова решітка; 6 - металевий короб (золяна камера);
- 7 - труба для подачі повітря; 8 - люк для завантаження палива.

Операції вільного кування

Найхарактерніші операції вільного кування показані на рисунку 3.22.

Осадка являє собою операцію, зворотну витяжці (рисунок 3.22,. Під час осадження поперечний переріз поковки збільшується за рахунок зменшення її висоти. Щоб уникнути можливого поздовжнього викривлення заготовки під час осадження відношення її висоти до діаметра або меншої сторони перерізу повинно бути не більше 2,5. Осадку виконують бойками або осадковими плитами.

Різновидом осадження є **висадка**, що полягає у збільшенні перерізу частини заготовки завдяки зменшенню її висоти (рисунок 3.22, II). Інша

частина заготовки при цьому майже або зовсім не змінюється. Висадкою отримують поковки на кшталт фланців, дисків із бобишками, голівки та місцевого потовщення на довгих стрижнях.

Витяжка являє собою операцію, за якої довжина поковки збільшується за рахунок зменшення її поперечного перерізу (рисунок 3.22, III). Витяжка виконується куванням на квадрат, після чого (якщо потрібно) поковці надають циліндричну або будь-яку іншу форму. Витяжка проводиться між бойками молота, причому заготовку кладуть поперек бойків, пересуваючи її після кожного удару. Витяжку застосовують для виготовлення різних тяг, важелів, валів тощо.

Пробивання і прошивка - операція отримання отвору в заготівлі (рисунок 3.22, IV). Прошивкою отримують отвори в тонких заготовках, пробиванням - у більш товстих. Ця операція складається з двох прийомів: спочатку пробійник вганяють на половину товщини заготовки, потім після кантування на 180° остаточно пробивають отвір. Для пробивання і прошивки використовують пробійники і воротки.

Гнуття - операція надання заготівлі зігнутої форми за заданим контуром (рисунок 3.22, V). Для згинання здійснюють місцевий нагрів заготовки. У місці вигину товщина заготовки зменшується. Гнуття проводиться кувалдами або ручниками, причому заготовка затискається між бойками молота.

Закручування - операція повертання частини заготовки відносно іншої на певний кут навколо загальної осі. Операція виконується воротком або виделкою (рисунок 3.22, VI).

Рубка - операція відділення частини заготовки (рисунок 3.22, VII). Є два види рубки: надрубання (намітка) і відрубання. Для рубки використовують ковальські зубила, підсічки, сокири.

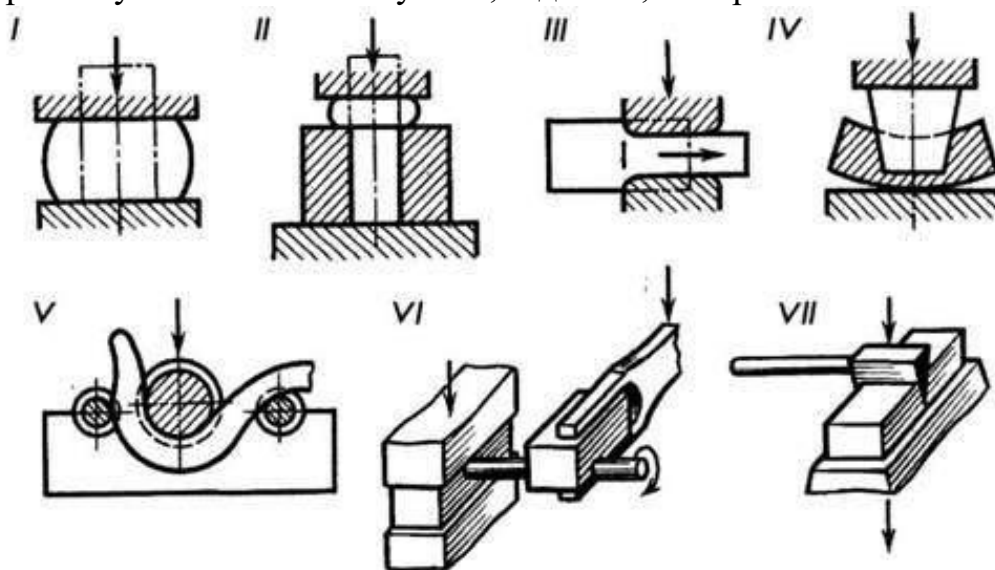


Рисунок 3.22 – Основні операції вільного кування:

I – осадка; II – висадка; III – витяжка; IV – прошивка; V – гнуття; VI – закручування; VII – рубка.

Ковальське зварювання - операція з'єднання шматків сталі, нагрітих до пластичного стану, із застосуванням зовнішнього тиску. У зв'язку з розвитком нових видів зварювання ця операція застосовується рідко.

Розробка технологічного процесу вільного кування

Розробка технологічного процесу вільного кування складається з таких етапів:

1. Проектування поковки.
2. Розрахунок розмірів і маси заготовки для поковки.
3. Призначення ковальських переходів.
4. Вибір обладнання.
5. Визначення режимів нагрівання та охолодження.
6. Призначення термообробки для поковки.

Проектування поковки

Креслення поковки складають на підставі креслення готової деталі. При цьому встановлюються припуски на обробку різанням, допуски на кування і за необхідності напуски на поковку.

Припуском називають шар металу, наявний у поковці, який видаляється обробкою різанням для отримання необхідних розмірів за кресленням готової деталі. У шар припуску повинні увійти всі дефекти зовнішнього шару: закута окалина, знеуглецьований шар, затискачі, нерівності тощо.

Розміри готової деталі, збільшені з кожного боку на величину призначених за таблицями ГОСТ припусків на обробку, називаються **номінальними розмірами поковки**.

Напуск - це збільшення припуску, що спрощує конфігурацію поковки через неможливість або нерентабельність виготовлення поковки по контуру деталі.

Допуском називають допустиме відхилення розмірів поковки, обумовлене неможливістю виготовлення її з абсолютно точними розмірами. Допуск дорівнює різниці між найбільшим і найменшим розмірами поковки. Найбільший і найменший граничні розміри представляються на кресленні у вигляді відхилень (верхнього зі знаком + і нижнього зі знаком -) від номінального розміру поковки. Наприклад, розмір 100 ± 3 означає, що:

- номінальний розмір поковки 100 мм;
- верхнє відхилення +3 мм;
- нижнє відхилення -3 мм;
- найбільший граничний розмір поковки 103 мм; найменший граничний розмір поковки 97 мм; допуск 6 мм.

Припуски і допуски на поковки з вуглецевої та легированої сталі, що виготовляються вільним куванням на молотах, регламентовані ДСТУ 9182:2022, а на пресах – ДСТУ 2364-94.

У таблиці 3.1 наведено витяг із ДСТУ 9182:2022 щодо припусків і допусків для гладких поковок круглого, квадратного і прямокутного перерізу.

Таблиця 3.1 - Припуски (на дві сторони) і допуски на гладкі поковки

Довжина деталі, мм	Припуски і допуски деталей при діаметрі D або розмірі перерізу B × H, мм					
	До 50	Св. 50 до 70	Св. 70 до 90	Св. 90 до 120	Св. 120 до 200	Св. 200 до 360
До 250	5 ± 2	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 3	-	-
Св. 250 до 500	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	11 ± 3	14 ± 4
Св. 500 до 800	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	12 ± 3	15 ± 4
Св. 800 до 1200	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	13 ± 4	16 ± 4
Св. 1200 до 6000	-	-			19 ± 5	22 ± 6

Для поковок круглого і квадратного перерізів з уступами передбачені додаткові припуски (на неспіввісність) величиною 3...10 мм за різниці діаметрів (розмірів) найбільшого і розглянутого перерізу 40...180 мм. На загальну довжину поковки припуски і допуски беруть за таблицею 3.1 і збільшують у 2,5 раза.

Приклад креслення поковки круглого перерізу наведено на рисунку 3.23.

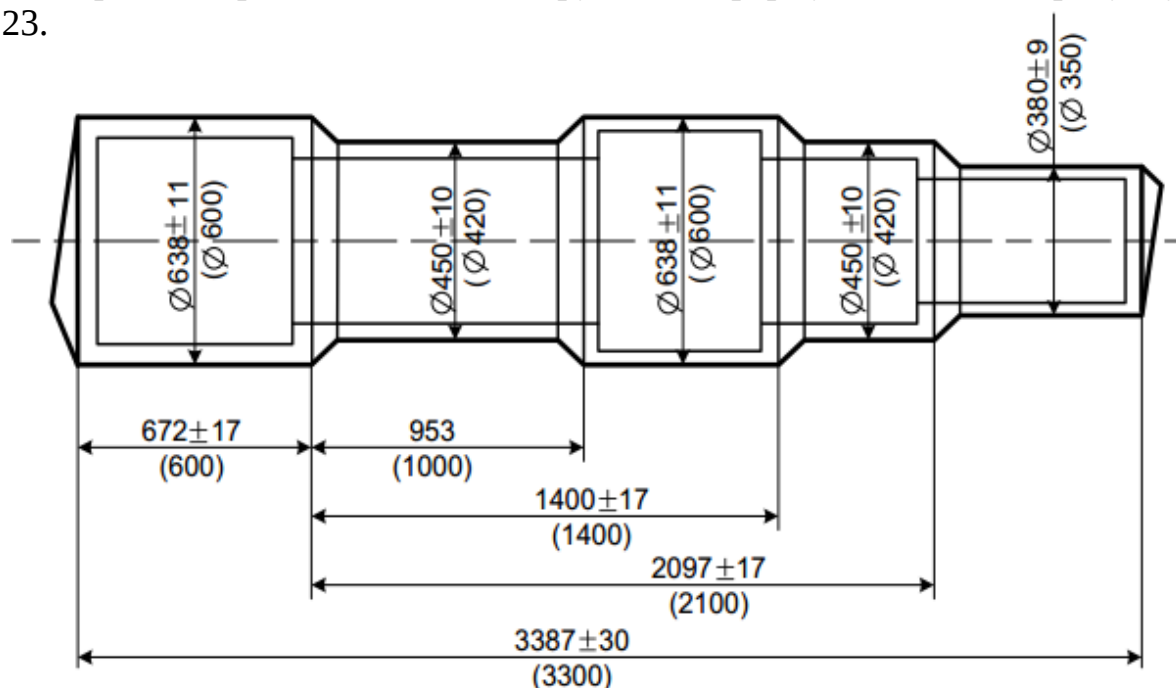


Рисунок 3.23 - Приклад креслення поковки круглого перерізу з уступами і виїмками

Тонкими лініями показано контур деталі, товстими - контур поковки. Розміри, що стоять над розмірною лінією, належать до розмірів поковки, а під розмірною лінією в дужках проставлено номінальні розміри деталі.

Розрахунок розмірів і маси заготовки

Масу вихідної заготовки при куванні з прокату визначають за формулою:

$$G_3 = G_{\Pi} + G_0, \quad (3.9)$$

де G_{Π} - маса поковки, кг;

G_0 - маса відходів на обсікання і чад, кг.

Якщо поковку обробляють різанням, то підрахунок маси металу проводять за номінальними розмірами поковки без урахування допусків. Якщо поковку механічно не обробляють, то підрахунок маси металу проводять з урахуванням максимальних значень допусків, тобто за максимальними розмірами поковки.

Масу поковки підраховують за формулою:

$$G_{\Pi} = V_{\Pi} \cdot \rho, \quad (3.10)$$

де V_{Π} - об'єм металу поковки, см³;

ρ - густина, що дорівнює для сталі 7,85 г/см³ ($7,85 \cdot 10^{-3}$ кг/м³).

Масу відходів на обсікання і угар беруть зазвичай у відсотках від маси поковки. Її значення становить 1,5...25 % (зубчасті колеса - 8...10 %; гладкі вали, бруски - 5...7 %; вали і вилки з уступами, болти - 7...10 %; гайкові ключі, шатуни - 15...18 % тощо).

Площу поперечного перерізу вихідної заготовки визначають з огляду на площу поперечного перерізу деталі, характер обробки і ступінь кування. Якщо основною операцією під час кування є витяжка, то площу поперечного перерізу вихідної заготовки F_3 знаходять так:

$$F_3 = F_{\Pi} \cdot K, \quad (3.11)$$

де F_{Π} - площа поперечного перерізу поковки, см²;

K - ступінь уковки, що дорівнює для прокату 1,3...1,5; для злитка - 1,5...2.

Для операції осадження висота вихідної заготовки має бути не менше трьох її діаметрів.

Довжину вихідної заготовки L_3 , см, можна визначити з формули :

$$L_3 = \frac{V_{\Pi} - V_0}{F_3} = \frac{V_3}{F_3}, \quad (3.12)$$

де V_0 - об'єм відходів, см^3 ;
 V_3 - об'єм заготовки, см^3 .

Для полегшення розрахунків об'єми складних деталей розбивають на об'єми елементарних фігур.

Призначення ковальських переходів

Під час розроблення технології кування необхідно прагнути до найменшого числа переходів, до мінімуму відходів металу й отримання деталі з високими механічними властивостями. Для створення високих механічних властивостей поковки важливе значення має усунення в ній дендритної (дерезовидної) структури, одержуваної у виливках, тобто роздроблення її до дрібнозернистої будови. Тому під час кування низки деталей (шестерні, вали, осі, інструмент тощо) для роздроблення дендритної структури застосовують багаторазове обтиснення поковки в поздовжньому і поперечному напрямках.

Вибір обладнання

Кувальні молоти працюють за принципом ударної дії, за якого потужність удару визначається головним чином масою падаючих частин молота. Метал деформується за рахунок енергії, накопиченої падаючими (рухомими) частинами молота до моменту їхнього зіткнення із заготівлею.

До номінальної маси падаючих частин молота входять маси баби, штока, поршня, верхнього бойка та інших, пов'язаних із ними деталей. Потужність молота прийнято виражати масою падаючих частин у тоннах (т) і кілограмах (кг).

Орієнтовні дані для вибору кувальних молотів залежно від форми і розміру заготовки наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Дані для вибору маси падаючих частин кувальних молотів

Маса падаючих частин молота, кг	Максимальний перетин заготовки - сторона квадрата або діаметр вихідної заготовки, мм	Приблизна маса поковок, кг	
		гладких	фасонних
50	40	До 8	До 1,5
80	50	8...12	1.5...2
160	65	12...15	2...5
250	75	15...35	5...8
400	100	35...60	8...18
630	125	60...120	18...30
1000	160	120...125	30...70

Визначення режиму нагрівання і режиму охолодження

У таблиці 3.3 наведено температурні інтервали кування для низки марок конструкційних вуглецевих і легованих сталей.

Кожен метал і сплав має свій строго рекомендований температурний інтервал гарячого оброблення тиском, який визначається за відповідною довідковою літературою.

Для максимального підвищення пластичності температура початку кування має бути якомога вищою, але такою, що не спричиняє перепалу і перегріву.

Температурний інтервал кування вуглецевих сталей залежить від їхнього хімічного складу і може бути визначений за діаграмою стану Fe-C.

Температуру початку кування можна визначити за формулами:

$$t_{\Pi} = a \cdot t_{\Pi\text{Л}} \quad \text{або} \quad t_{\Pi} = t_{\text{C}} - (150 \dots 200 \text{ }^{\circ}\text{C}), \quad (3.13)$$

де a - коефіцієнт зниження температури $a = 0,8-0,9$;

t_{Π} - початкова температура обробки тиском, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\Pi\text{Л}}$ - температура плавлення (визначається за діаграмою стану), $^{\circ}\text{C}$;

t_{C} - температура лінії солідус, яка визначається за діаграмою Fe-C, $^{\circ}\text{C}$.

Кінцеву температуру обробки тиском вуглецевих сталей, яка також залежить від сталей, що також залежить від вмісту вуглецю, визначають за температурою рекристалізації заданого сплаву:

$$t_{\text{рек}} = 100 \cdot (9,1 - 1,1 \cdot \text{C}), \quad (3.14)$$

де $t_{\text{рек}}$ - температура рекристалізації, $^{\circ}\text{C}$;

C - вміст вуглецю у відсотках.

Температура закінчення кування має бути вищою (на $50 \dots 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$) за температуру рекристалізації.

Таблиця 3.3 - Температурні інтервали кування конструкційних матеріалів

Марка сталі	Інтервал температур кування, $^{\circ}\text{C}$
10, 15	1280...750
20, 25, 30, 35	1250...800
40 – 60, 15Г – 60Г	1200...800
40ХС, 25ХГС, 25ХГСА	1150...830
20Х, 30Х, 50Х, 30ХА	1200...800
У10, У12, У13	1100...850
Сплави алюмінію	470...350
Сплави міді	900...750
Сплави титану	1100...900

Нагрівати заготовку слід рівномірно, щоб уникнути різкого перепаду температур у зовнішніх і внутрішніх її шарах, що може призвести до утворення тріщин. Нагрівання до температур 800...850 °С ведеться повільно, а потім швидше.

Час нагрівання заготовок у полум'яних печах визначають за формулою М. М. Доброхотова:

$$\tau = \alpha \cdot k \cdot D_3 \sqrt{D_3}, \quad (3.15)$$

де τ - повна тривалість нагрівання, год;

D_3 - діаметр або сторона квадрата заготовки, м;

k - коефіцієнт, що залежить від марки сталі, для вуглецевих і низьколегованих сталей $k = 10$, високовуглецевих і високолегованих сталей $k = 20$;

α - коефіцієнт, що залежить від способу укладання заготовки на поду печі (рисунк 3.24).

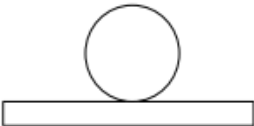
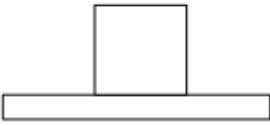
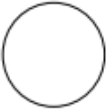
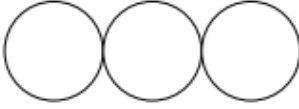
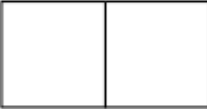
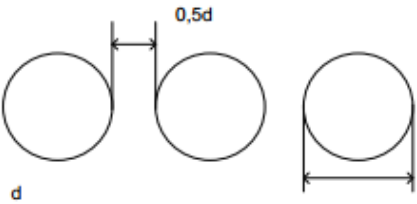
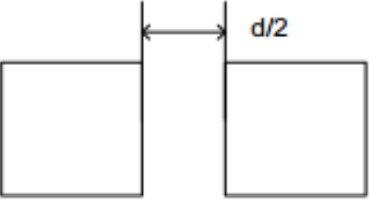
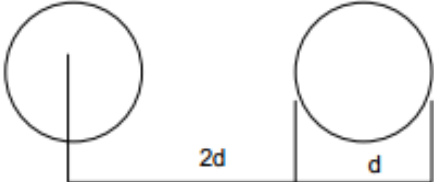
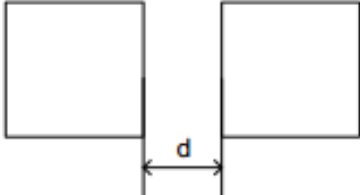
Розташування заготовок	α	Розташування заготовок	α
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		2

Рисунок 3.24 – Вплив способу розміщення заготовок на поду печі на тривалість нагрівання (коефіцієнт α)

Охолодження поковок після кування має бути рівномірним і не швидким, інакше можливе утворення тріщин.

Не можна ставити поковки на чавунні плити, а також залишати на протязі. Поковки охолоджують на повітрі, в ящиках або колодязях на повітрі або в засипці сухим піском разом з піччю. Чим більше легована сталь і чим більші розміри поковки, тим повільніше охолодження.

Термообробка поковок застосовується для усунення в них грубозернистої будови, наклепу, внутрішніх напруг і підготовки їх до механічної обробки. Для цієї мети поковки в низці випадків піддають відпалу або нормалізації.

ЗАВДАННЯ СТУДЕНТАМ

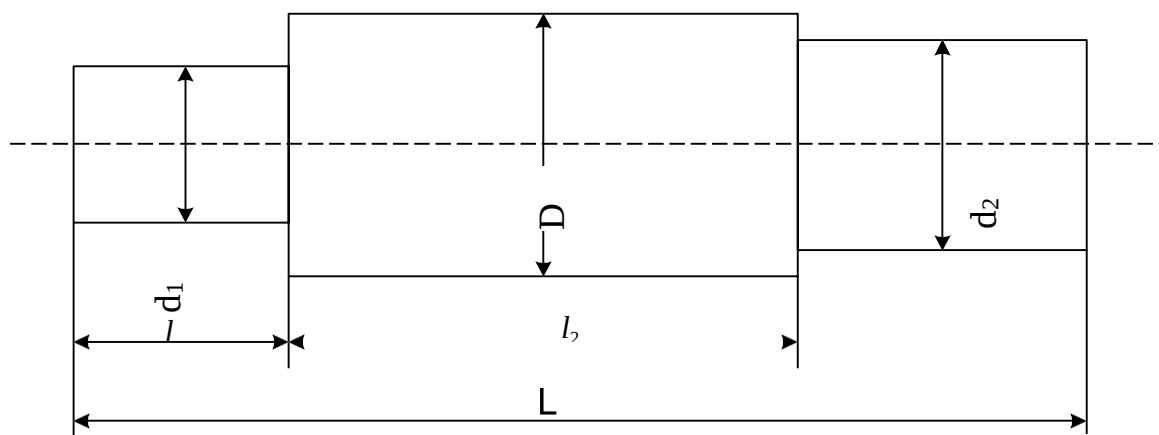


Рисунок 3.25 - Ескіз готової обробленої деталі

Таблиця 3.4 - Перелік індивідуальних завдань студентам

Вариант	d_1	d_2	D	L	l_1	l_2	D_3
1	15	15	25	90	30	30	20
2	15	20	30	90	30	30	25
3	25	20	25	100	35	40	40
4	25	20	40	100	40	35	50
5	30	25	45	100	45	40	50
6	30	25	55	120	50	30	50
7	20	15	25	80	25	35	30
8	20	20	60	110	40	40	50
9	20	20	60	110	30	40	50
10	40	40	70	110	50	50	60
11	40	40	60	110	20	60	60
12	40	40	60	110	60	20	65
13	20	20	40	110	50	20	65
14	40	40	70	110	30	30	65

Таблиця 3.5 - Обладнання та інструменти вільного кування

№ п/п	Найменування обладнання та інструменту	Ескіз	Призначення

Таблиця 3.6 - Ковальські переходи, необхідні для виготовлення поковки

№ п/п	Найменування операцій кування	Ескіз	Інструмент

Таблиця 3.7 - Технологічна карта на виготовлення поковки

Ескіз деталі	Ескіз поковки	Ескіз заготовки	Марка сталі	
			Маса поковки	
			Маса заготовки	
			Маса деталі	
			Маса відходів	

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Відповіді на контрольні запитання.
3. Розрахунок технологічних параметрів.
4. Заповнити таблиці 3.5 – 3.7.

Контрольні питання

1. Що називається вільним куванням?
2. Перелічіть основні операції вільного кування.
3. Яке обладнання та інструмент використовуються під час вільного ручного та машинного кування?
4. Чому при виготовленні поковок на кресленнях проставляють два розміри?
5. Чим визначаються межі температурного інтервалу кування?
6. Які чинники, що впливають на тривалість нагрівання, враховує формула М. М. Доброхотова?
7. Яка обробка металів тиском називається холодною?

8. Яка обробка металів тиском називається гарячою?
9. Що називається пластичною обробкою металів?
10. Як змінюються структура і властивості металів після холодної обробки металів?
11. Як змінюються структура і властивості металів після гарячої обробки металів?
12. Що таке наклеп?
13. Які чинники, що впливають на пластичність металів?
14. Що таке перегрів сталі?
15. Що таке перепал сталі?
16. Як впливає температура нагрівання на пластичність металів?
17. Назвіть типи нагрівальних пристроїв, що застосовуються в обробці металів тиском.
18. Що розуміють під швидкістю нагрівання металу?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 3

1. Процес, що призводить до підвищення пластичності під час гарячої обробки тиском:

- а) високий ступінь деформації;
- б) наклеп;
- в) змінний хімічний склад;
- г) рекристалізація.

2. Процес, за якого в тілі, що деформується, за температур 100...400 °С відбувається часткове зняття внутрішніх напружень, і пластичність зростає:

- а) повернення;
- б) наклеп;
- в) відпуск;
- г) рекристалізація.

3. Нагрівальна піч, що має однакову температуру по всьому робочому простору:

- а) вагранка;
- б) домна;
- в) камерна піч;
- г) методична піч.

4. Вид прокатки, за якого отримують безшовні труби:

- а) поперечна прокатка;
- б) поперечно-гвинтова прокатка;
- в) поздовжня прокатка.

5. Способи обробки металів тиском, за допомогою яких можна отримати профіль постійного перерізу (труба, дріт, рейка, куточок, тавр тощо):

- а) кування, листова прокатка, листове штампування;
- б) гаряче об'ємне штампування, лиття під тиском;
- в) лиття в оболонкові форми, прокатка, гаряче об'ємне штампування;
- г) прокатка, пресування, волочіння.

6. Деформація, за якої після зняття навантаження атоми повертаються у вихідне положення, і форма тіла повністю відновлюється, - це деформація:

- а) гаряча;
- б) пластична;
- в) пружна;
- г) холодна.

7. Деформація, за якої атоми зміщуються в нові місця стійкої рівноваги, і після зняття навантаження форма тіла не відновлюється, - це деформація:

- а) необоротна;
- б) оборотна;
- в) пластична;
- г) пружна.

8. Методи холодної обробки тиском:

- а) кування та пресування;
- б) волочіння і видавлювання;
- в) прокатка труб і профілів;
- г) прокатка і зворотне пресування.

9. Властивість, значення якої збільшується під час рекристалізації:

- а) пластичність;
- б) міцність;
- в) твердість;
- г) ударна крихкість.

10. Процес, під час якого відбувається знеміцнення металу, звільнення його від викривлень кристалічної решітки та внутрішніх напружень:

- а) повернення;
- б) наклеп;
- в) відпал;
- г) рекристалізація.

11. Зміцнення металу під час холодної деформації:

- а) повернення;
- б) загартування;
- в) наклеп;
- г) рекристалізація.

12. Фактор, від якого залежить температурний інтервал обробки тиском сталі:

- а) вид печі;
- б) застосовуване паливо;
- в) вартість електроенергії;
- г) хімічний склад сталі.

13. Метод гарячої обробки металів тиском:

- а) волочіння;
- б) видавлювання;
- в) низькотемпературна термомеханічна обробка;
- г) прокатка.

14. Інструмент, що використовується під час прокатки металів і сплавів:

- а) валок;
- б) матриця;
- в) пуансон;
- г) поршень.

15. Інструмент, що використовується під час волочіння металів і сплавів:

- а) валок;
- б) матриця;
- в) молот;
- г) прес.

16. Процес протягування металу через отвір, розмір якого менший за переріз вихідної заготовки:

- а) волочіння;
- б) пресування;
- в) прокатка;
- г) штампування.

17. Структура сталі, за якої відбувається її обробка тиском:

- а) аустеніт;
- б) ледебурит;
- в) ферит;
- г) цементит.

18. Непоправний брак під час обробки металів тиском, спричинений окисленням меж зерен аустеніту:

- а) наклеп;
- б) перегрів;
- в) перепал;
- г) рекристалізація.

19. Виправний брак під час обробки металів тиском, спричинений укрупненням меж зерен аустеніту:

- а) наклеп;
- б) перегрів;
- в) перепал;
- г) рекристалізація.

20. Продукція, яку отримують під час поздовжньої прокатки:

- а) листовий прокат;
- б) періодичний прокат;
- в) безшовні труби;
- г) кульки для шарикопідшипників.

21. Процес видавлювання металу із замкнутого об'єму через вихідний отвір (вічко матриці):

- а) волочіння;
- б) пресування;
- в) прокатка;
- г) штампування.

22. Область температур, за яких проводять гарячу обробку металів тиском, перебуває:

- а) вище за температуру рекристалізації і нижче лінії солідус;
- б) нижче температури рекристалізації;
- в) вище лінії ліквідус;
- г) нижче лінії АС1.

23. Область температур, за яких проводять холодну обробку металів тиском, перебуває:

- а) вище за температуру рекристалізації;
- б) нижче температури рекристалізації;
- в) вище лінії ліквідус;
- г) вище лінії солідус.

24. Процес обробки металів тиском, за якого метал тече вільно в напрямках, не обмежених поверхнями штампа:

- а) волочіння;

- б) пресування;
- в) прокатка;
- г) вільне кування.

25. Інструмент машинного вільного кування, який діє на заготовку динамічно:

- а) валок;
- б) матриця;
- в) молот;
- г) прес.

26. Інструмент машинного вільного кування, який діє на заготовку статично:

- а) валок;
- б) матриця;
- в) молот;
- г) прес.

27. Інструмент, що використовується під час пресування:

- а) прес-штемпель;
- б) прес-пап'є;
- в) прес-штамп;
- г) молот.

28. Матеріал, з якого виготовляють штампи для гарячого штампування:

- а) алмаз;
- б) високоміцний чавун;
- в) інструментальна легована сталь;
- г) інструментальна вуглецева сталь.

29. Вид обробки тиском, за допомогою якого виготовляють кузови автомобілів:

- а) листове штампування;
- б) вільне кування;
- в) волочіння;
- г) прокатка.

30. Методи обробки металів тиском, за допомогою яких можна отримати профіль постійного перерізу (труба, дріт, рейка, куточок, тавр тощо):

- а) кування, листова прокатка, листове штампування;
- б) гаряче об'ємне штампування, лиття під тиском;
- в) лиття в оболонкові форми, прокатка, гаряче об'ємне штампування;
- г) прокатка, пресування, волочіння.

МОДУЛЬ 2 ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

ТЕМА 4. ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

План

- 4.1 Електричне дугове зварювання плавленням
- 4.2 Зварні з'єднання і шви
- 4.3 Металургійні процеси під час зварювання
- 4.4 Вольт-амперна характеристика зварювальної дуги
- 4.5 Джерела живлення зварювальної дуги

Серед великого розмаїття виробничих способів гарячого оброблення металів і сплавів, зварювання є одним із найпоширеніших як у машинобудуванні, так і сільськогосподарському ремонтному виробництві.

З давніх-давен людство намагалось з'єднати фрагменти металевих виробів та зливки металів природного походження. Це дозволяло збільшити їхні розміри, створювати предмети складної форми, а також виправляти дефекти, отримані у процесі лиття. Але через численні технологічні обмеження процес був недосконалим. На допомогу приходила фізична сила та один з небагатьох відомих на той час процесів обробки металів тиском - кування (холодне та високотемпературне) Також виконувалось ливарне зварювання: занурення деталей, які необхідно з'єднати, у розплавлений метал. Після цього, майстри чекали, поки конструкція затвердіє. Такі з'єднання не можна було назвати міцними та надійними [11,13].

Але сталь усе сильніше проникала у різні сфери життя та економіки, тому перед вченими та технологами все частіше поставали теоретичні і практичні питання обробки та з'єднання металів.

Під час виготовлення металевих предметів побуту, знарядь праці та зброї зварювання металів застосовували ще у VIII-XI століттях нашої ери. Цей спосіб з'єднання металів називають тепер горновим або ковальським зварюванням.

Поява електрозварювання, без якого немислиме машинобудування і ремонтне виробництво, пов'язана з відкриттям професором фізики Васи́лем Володи́мировичем Петро́вим у 1802 році явища електричної дуги. В.В. Петров ще в той час вказав на можливість застосування електричної дуги для розплавлення металів.

Через 80 років, у 1882 році, російський винахідник Микола Миколайович Бенардос застосував електричну дугу для зварювання металів із використанням вугільного електрода.

Майже одночасно з Бенардосом над цією проблемою працював інший російський винахідник інженер-металург Микола Гаврилович Славянов, який 1888 року розробив спосіб дугового зварювання металевим електродом.

У 1906 році швед Оскар Чельберг вдосконалив винахід Слав'янова. Він запатентував зварювальний електрод, який був покритий флюсом. Це спеціальний матеріал, який захищає місце зварювання від окиснення і накопичування шкідливих домішок. Його винахід дійшов до наших днів практично без змін.

У 1904 році молодий вчений Євгеній Патон, який народився у Франції та закінчив Дрезденський технологічний університет, отримав пропозицію створити кафедру будівництва мостів на базі Київського політехнічного інституту. У ті роки мостобудування було нерозривно пов'язане з металургією та іншими суміжними процесами. Тому у 1930-х Патон захопився електрозварюванням. З часом кафедра, яку він очолив, еволюціонувала в Інститут електрозварювання при Академії Наук. Євгеній Патон був його керівником з моменту заснування у 1934 році і до своєї смерті у 1953 р.

Саме Київський інститут електрозварювання став одним з світових центрів вивчення зварювання. Зроблені тут відкриття і винаходи знайшли практичне застосування у багатьох сферах промисловості та економіки.

Наприклад, під час Другої світової війни інститут зробив значний внесок у обороноздатність СРСР, запропонувавши технологію зварювання спеціальних сталей для танкових башт, які до того були клепані або суцільнолиті.

Але головним винаходом Євгенія Патона став розвиток ідей Бенардоса і Чельберга - швидкісне автоматичне зварювання під флюсом, яке було названим "методом Патона" Для цього були створені механізовані самохідні апарати - зварювальні трактори. Вони рухаються безпосередньо по поверхні зварювальних виробів та переміщують електричну дугу вздовж зварного шва, подають флюс та забезпечують інші допоміжні процеси без участі людини. Найбільш активний період розвитку автоматичного зварювання припав на 1959-1965 р.р. На сьогодні воно використовується у багатьох галузях промисловості: для зварювання листового металу, труб, корпусів техніки, побутових виробів та багато іншого.

Нині немає такої галузі промисловості, машинобудування або будівництва, в якій не застосовується зварювання, а в низці галузей воно стало провідним технологічним процесом.

Зварюванням називається процес отримання нероз'ємного з'єднання деталей машин, конструкцій і споруд за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між частинами, що зварюються, за умови їхнього місцевого або загального нагрівання, пластичної деформації або за спільної дії того й іншого.

Зварювання застосовується для з'єднання однорідних і різнорідних металів та їхніх сплавів, металів з деякими неметалевими матеріалами, а також пластмас.

Зварювання є економічно вигідним, високопродуктивним і значною

мірою механізованим технологічним процесом. Фізична сутність процесу зварювання полягає в утворенні міцних зв'язків між атомами і молекулами на поверхні з'єднуваних заготовок. Міжатомні, міжіонні, міжмолекулярні зв'язки утворюються в результаті спільної кристалізації (після розплавлення) або в результаті місцевої пластичної деформації у поєднанні з рекристалізацією або в результаті дифузії.

Необхідними умовами для створення міжатомних і міжмолекулярних зв'язків є температура, час контакту і якість поверхні. Тому потрібне введення певної енергії для активації стану поверхні. Ця енергія повідомляється у вигляді теплоти, пружнопластичної деформації, іонного, електронного та інших видів опромінення. У результаті поверхневі атоми металів утворюють спільні для з'єднуваних заготовок кристалічні решітки, а на поверхні пластмас відбувається об'єднання частин молекулярних ланцюгів.

Існує понад 60 видів зварювання, які класифікуються за фізичними, технічними та технологічними ознаками.

Залежно від форми енергії, використовуваної для утворення зварного з'єднання, розрізняють три класи зварювання:

- ♦ термічний;
- ♦ термомеханічний;
- ♦ механічний.

До **термічного класу** належать види зварювання плавленням із використанням теплової енергії, а саме:

- дугове;
- електрошлакове;
- електронно-променеве;
- плазмове;
- індукційне;
- газове тощо.

До **термомеханічного класу** належать види зварювання, що здійснюються з використанням теплової енергії та тиску:

- контактне;
- дифузійне;
- індукційно-пресове;
- газопресове;
- шлакопресове;
- термітнопресове тощо.

До **механічного класу** належать види зварювання, що здійснюються з використанням механічної енергії та тиску:

- холодне;
- вибухом;
- ультразвукове;
- тертям тощо.

4.1 Електричне дугове зварювання плавленням

З усіх перерахованих вище видів зварювання розглянемо докладно найбільш поширений - це **дугове зварювання**.

Дуговим зварюванням називається зварювання плавленням, під час якого нагрівання зварюваних крайок здійснюється теплотою електричної дуги (рисунок 4.1) [13].

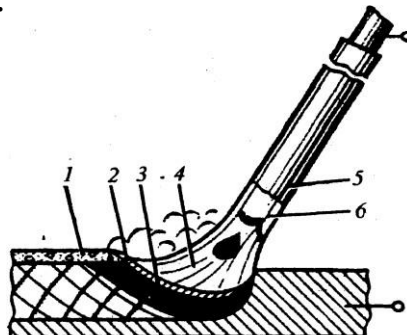


Рисунок 4.1 – Схема дугового електричного зварювання металевим електродом:

1 - затверділий шлак; 2 - розплавлений шлак; 3 - зварювальна ванна; 4 - дуга;

5 - електродне покриття; 6 - металевий стрижень.

Ручним дуговим зварюванням можна зварювати сталі, чавун, мідь і мідні сплави. Природно, що для кожного металу і його сплавів необхідно застосовувати відповідні електродні дроти і покриття.

Ручне дугове зварювання застосовується головним чином в конструкціях, що мають короткі і переривчасті шви, шви складної конфігурації, тобто там, де важко або не вигідно застосовувати автоматичні методи зварювання. Позитивною стороною ручного зварювання є можливість проводити зварювання в будь-якому просторовому положенні, що особливо важливо для зварювання в монтажних умовах.

Зварювальна дуга являє собою стійкий електричний розряд у сильно іонізованій суміші газів і парів матеріалів, що використовуються під час зварювання. Електричний розряд у газовому середовищі - це електричний струм, що проходить через газове середовище завдяки наявності в ньому вільних електронів та іонів, здатних переміщатися під дією прикладеного електричного поля.

У усталеній зварювальній дузі (рисунок 4.2) розрізняють три зони:

- 1 - катодну;
- 2 - стовп дуги;
- 3 - анодну.

Катодна зона довжиною 10-4 мм розташована біля розпеченого торця електрода (катода). Анодна зона розташована біля позитивного електрода (анода), тобто безпосередньо біля зварювальної ванни.

Фізичні явища, які протікають у цих трьох зонах, за своєю природою різко відрізняються між собою.

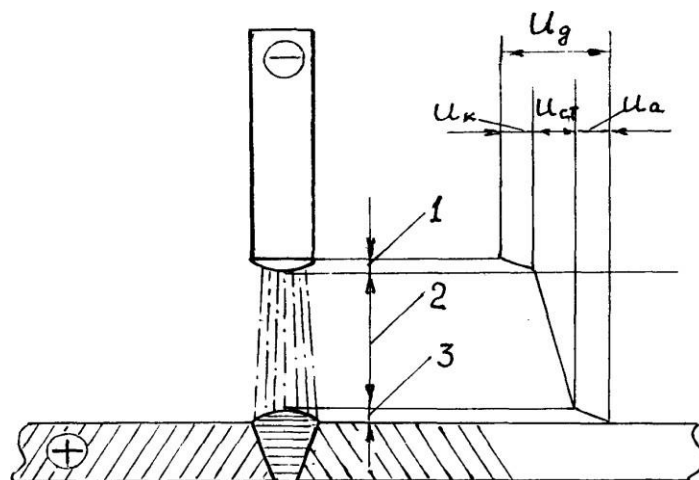


Рисунок 4.2 - Схема горіння зварювальної дуги

На поверхні катода й анода утворюються активні катодні й анодні плями, через які проходить увесь струм зварювальної дуги, тому активні плями найбільш нагріті. Висока температура катодної плями є неодмінною умовою існування дугового розряду. З катодної плями вилітає потік вільних електронів, що здійснюють іонізацію дугового проміжку. Щільність струму на катодній плямі сягає 60...70 А/мм².

До катода назустріч потоку електронів спрямовується потік позитивно заряджених іонів, які бомбардують його і віддають свою енергію, спричиняючи нагрівання катода до 2500...3000 °С. Активна катодна пляма безперервно переміщається по торцю електрода, блукає, викликаючи просторову зміну стовпа дуги.

До анодної плями спрямовуються і віддають свою енергію потоки електронів, розжарюючи її до 3000...4000 °С.

Стовп дуги, розташований між катодною і анодною зонами, складається з розпечених та іонізованих частинок. Температура стовпа дуги досягає 6000...7000 °С. Стовп дуги в цілому не має заряду. Він нейтральний. У кожному даному перерізі стовпа дуги одночасно перебувають рівні кількості позитивно і негативно заряджених частинок.

Напруга дуги являє собою суму падінь напруг у катодній, анодній областях і в стовпі дуги:

$$U_d = U_k + U_{ст} + U_a, \quad (4.1)$$

Для дуги з електродом, що плавиться, дотримуються умови:

$$U_k > U_a; \quad U_k + U_a > U_{ст},$$

Для усталеної зварювальної дуги напруга може бути визначена за формулою:

$$U_d = \alpha + \beta I_d, \quad (4.2)$$

де α - коефіцієнт, що за своєю фізичною сутністю становить суму падінь напруг у катодній і анодній зонах, приблизно дорівнює 10...12 В;

β коефіцієнт, що виражає середнє падіння напруги на одиницю довжини дуги, що дорівнює 2,0...3,0 В/мм;

I_d - довжина дуги, мм.

При $I_d = 2...4$ мм дуга коротка, $I_d = 4...6$ мм - дуга нормальна, понад 6 мм - дуга довга.

Довжиною дуги називають відстань між торцем електрода і поверхнею зварювальної ванни.

Довжина дуги і сила зварювального струму є основними найсуттєвішими параметрами, що визначають якість зварного з'єднання. Довжина дуги орієнтовно має перебувати в межах:

$$l_d = (0,5...1,1) \cdot d_e, \quad (4.3)$$

де d_e - діаметр електрода, мм.

Середнє значення довжини дуги можна визначити з виразу:

$$l_d \approx 0,5 \cdot (d_e + 2), \quad (4.4)$$

Діаметр електрода залежить здебільшого від товщини зварюваних крайок S (мм) і виду зварного з'єднання. Діаметр електрода можна вибрати за табличними даними з довідників зі зварювання або визначити за формулою:

$$d_e = \frac{1}{2} \cdot S + 1, \quad (4.5)$$

Якщо за розрахунком діаметр електрода виходить понад 6 мм, то обмежуються $d_e = 6$ мм.

Під час зварювання кутових і таврових з'єднань діаметр електрода визначається залежно від катета шва.

Розрахунок зварювального струму при ручному дуговому зварюванні проводять за діаметром електрода і допустимою густиною струму:

$$I_{зв} = F_e \cdot i = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot i, \quad (4.6)$$

де F_e - площа поперечного перерізу електрода, мм²;
 i - допустима густина струму, А/мм².

Допустима густина струму залежить від діаметра електрода і виду покриття. Чим більше d_e , тим менша допустима густина струму (i), оскільки при збільшенні d_e погіршуються умови охолодження.

Залежність допустимої густини струму від виду електродного покриття і діаметра електрода наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Залежність допустимої густини струму від виду електродного покриття і діаметра електрода

Вид покриття	Допустима густина струму i , А/мм ² , за різних величин діаметра електрода d_e , мм			
	$d_e = 3$	$d_e = 4$	$d_e = 5$	$d_e = 6$
Кисле, рутилове	14...20	11...16	10...13	9...12
Основне	13...18	10...14	9...12	8...12

Для наближених розрахунків зварювальний струм визначають за формулою:

$$I_{зв} = k \cdot d_e, \quad (4.7)$$

де k - коефіцієнт густини струму, що приймається залежно від d_e .

Таблиця 4.2 – Залежність коефіцієнта густини струму від величини діаметра електрода

d_e , мм	1,6...2,0	3...4	5...6
k , А / мм	25...30	30...45	45...60

Як зазначалося вище, в процесі горіння дуги катод і анод нагріваються до різних температур, тобто температура анода може бути на 1000 °С вищою за температуру катода. Цей фактор необхідно враховувати під час призначення конкретного технологічного режиму зварювання. Наприклад, під час зварювання високолегованих сталей необхідно враховувати їхню низьку теплопровідність і електропровідність. Перегрів під час зварювання може викликати не тільки викривлення, а й міжкристалічну корозію. Тому зварювання таких сталей рекомендується проводити на постійному струмі зворотної полярності. Полярність називається *прямою*, якщо електрод є катодом (-), а виріб анодом (+). За *зворотної* полярності виріб з'єднується з мінусовою клемою джерела живлення, а електрод - з плюсовою.

4.2 Зварні з'єднання і шви

Зварним з'єднанням називають елемент зварної конструкції, що складається з двох або декількох деталей, і зварного шва, що з'єднує ці деталі.

До зварного з'єднання входять зварний шов, прилегла до нього зона основного металу зі структурними та іншими змінами внаслідок теплового впливу зварювання (зона термічного впливу), а також ділянка основного металу, що примикає до цієї зони.

Зварний шов являє собою ділянку з'єднання, що утворилася в результаті кристалізації зварювальної ванни. Утворення зварного з'єднання з впливом концентрованої теплової енергії супроводжується складними фізико-хімічними процесами, що визначають структуру і механічні властивості зварного шва.

За формою сполучення елементів, що зварюються, зварні з'єднання можуть бути:

- ◆ стиковими;
- ◆ кутовими.
- ◆ напускні;
- ◆ тавровими;

Стикові з'єднання є найпоширенішими і застосовуються в зварних конструкціях з листового металу і під час стикування куточків, швелерів, двотаврів і труб (рисунок 4.3а).

Під час стикових з'єднань торці або кромки деталей, що з'єднуються, розташовані так, що поверхня однієї деталі є продовженням поверхні іншої деталі.

Кутові з'єднання здійснюють при розташуванні елементів, що зварюються, під прямим або довільним кутом, і зварювання виконують по крайках цих елементів з одного або з обох боків (рисунок 4.3б). Кутові з'єднання застосовують під час зварювання різних коробчастих виробів, резервуарів і ємностей з металу товщиною 1...100 мм.

Напускні з'єднання здійснюються взаємним перекриттям крайок зварюваних виробів. Перекриття має бути в 3...5 разів більшим за товщину елементів, що зварюються (рисунок 4.3в). При цьому не потрібне спеціальне оброблення крайок, крім відрізки. З'єднання внапуск менш міцні при змінних і ударних навантаженнях, ніж стикові. Їх не рекомендується застосовувати при товщині металу понад 10...12 мм.

Тавровими називають з'єднання (рисунок 4.3г), за яких торець одного елемента примикає до поверхні іншого елемента зварної конструкції під деяким кутом (найчастіше під прямим). Їх конструюють для металів товщиною 2...120 мм. Такі з'єднання широко застосовують під час дугового зварювання балок, колон, стійок, каркасів ферм та інших конструкцій.

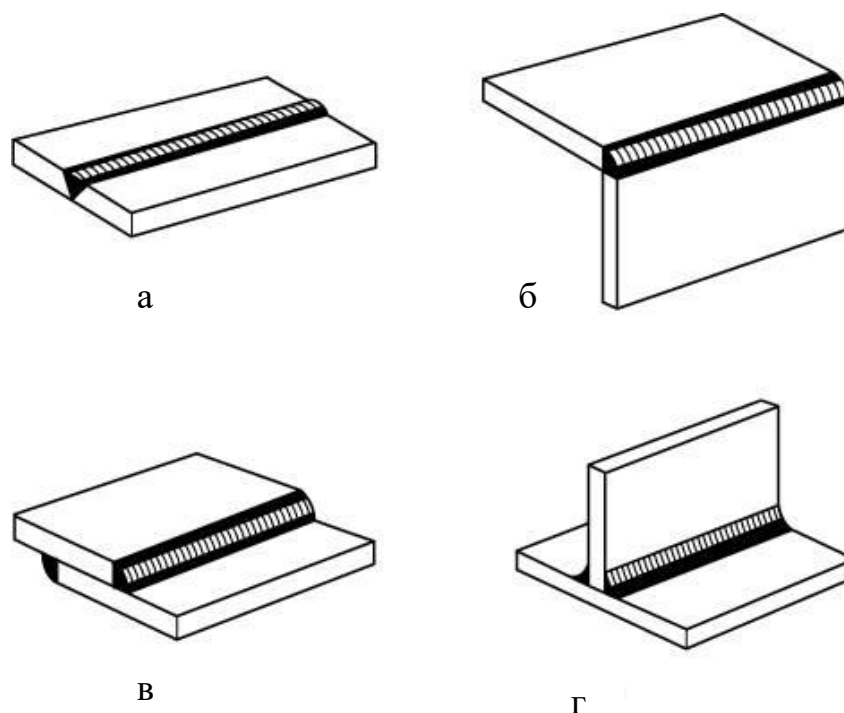


Рисунок 4.3 – Основні види зварних з'єднань:
а – стикове; б – кутове; в – напускне; г – таврове.

Зварні шви поділяють за формою поперечного перерізу на стикові та кутові. За допомогою стикових швів утворюють здебільшого стикові з'єднання, кутові шви застосовують у таврових, кутових і напускних з'єднаннях. Різновидом цих типів є шви пробочні та прорізні, що виконуються в напускних з'єднаннях.

Пробочні шви в плані (вид зверху) зазвичай мають круглу форму і утворюються в результаті повного проплавлення верхнього і часткового проплавлення нижнього листів. Іноді у верхньому аркуші попередньо просвердлюють отвори, через які проводять проплавлення зварюваних аркушів, і утворюються пробочні шви, нерідко звані електрозаклепками.

Прорізні шви, зазвичай подовженої форми, отримують шляхом приварювання верхнього (накриваючого) листа до нижнього кутовим швом по периметру прорізу. В окремих випадках проріз може заповнюватися повністю.

Крім того, зварні шви розрізняють за низкою інших ознак:

► 1. За формою зовнішньої поверхні стикові шви можуть бути *плоскими* (нормальні) і *опуклими* (посилені), а кутові шви можуть бути ще й *увігнутими* (ослаблені).

► 2. За виконанням швів у просторі розрізняють такі шви: *нижні*, які виконують горизонтально на горизонтальній поверхні; *вертикальні*, які виконують вертикально на вертикальній поверхні від низу до верху або зверху вниз; *горизонтальні*, які виконують по горизонталі на вертикальній

поверхні; стельові, які виконують при розташуванні зварювальника під виробом і зварюванні як би по стелі.

Проміжні положення відносять до одного з вищевказаних відповідно до схеми, наведеної на рисунку 4.4.

► 3. Для попереднього закріплення деталей під час складання конструкцій застосовують ще *прихватки*. За довжиною вони можуть бути від кількох міліметрів до 3...4 см залежно від товщини деталей, що закріплюються: що товстіші деталі, то довгими мають бути прихватки.

► 4. За методом заповнення перерізу шва розрізняють *одношарові* та *багатопрохідні*.

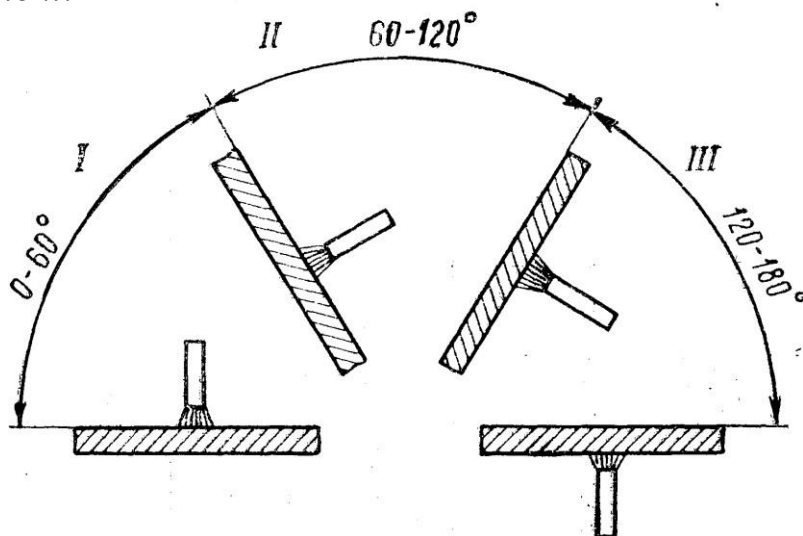


Рисунок 4.4 - Схема просторового розташування швів:

I - нижнє; II - вертикальне; III - стельове

Прохід - частина перерізу шва, що виконується за одноразове переміщення електрода вздовж шва.

Шар - частина перерізу шва, обмежена двома площинами і складається з одного або декількох проходів. На рисунку 4.5 показані багатошаровий (а) і багатопрохідний (б) шви. Багатошаровий шов складається з чотирьох шарів, багатопрохідний шов має також чотири шари, але шари III і IV виконані за два і три проходи відповідно.

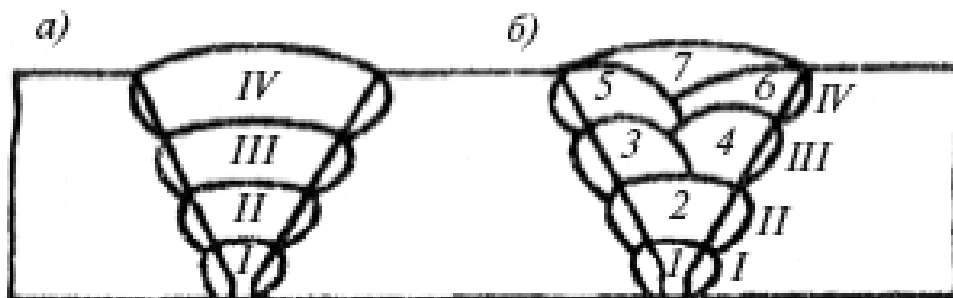


Рисунок 4.5 – Способи заповнення швів за перерізом:

а - багатошаровий; б - багатопрохідний

Існує кілька способів оброблення крайок зварюваних виробів (рисунок 4.6).

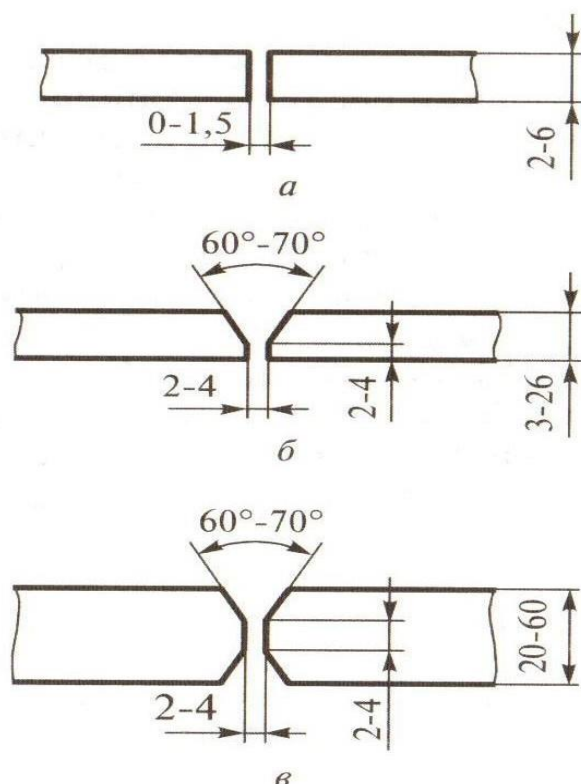


Рисунок 4.6 – Конструктивні елементи оброблення крайок

Форму оброблення крайок і їхнє збирання під зварювання характеризують чотири основні конструктивні елементи: зазор b , притуплення c , кут скосу кромки β , кут оброблення крайок α , що дорівнює або $2 \cdot \beta$.

На рисунку 4.7 наведено рекомендовані величини конструктивних елементів оброблення крайок за різних типів зварних з'єднань.

З'єднання стикове без оброблення крайок (рисунок 4.7а) рекомендується для товщини металу не більше 3 мм. Наявність зазору забезпечує повне проплавлення. Зазор b за товщини металу $S = 1 \dots 2$ мм має дорівнювати 0...1 мм, а за $S = 3$ мм, $b = 0 \dots 1,5$ мм.

З'єднання стикові з V-подібним обробленням крайок (рисунок 4.7б) рекомендуються для товщини 3...21 мм. Якщо товщина більша (до 30 мм) або необхідно зменшити кутові деформації і площу перерізу шва, то застосовують стикове з'єднання з Х-подібним обробленням крайок (рисунок 4.7в).

При цьому необхідно мати на увазі, що зварювання такого з'єднання вимагає доступу до нього з двох боків.

З кутових з'єднань (рисунок 4.7г, д, е) з'єднання типу г рекомендується для товщини не більше ніж 8 мм, з'єднання типу д - для товщини не більше ніж 26 мм. Для великих товщин рекомендується з'єднання типу е.

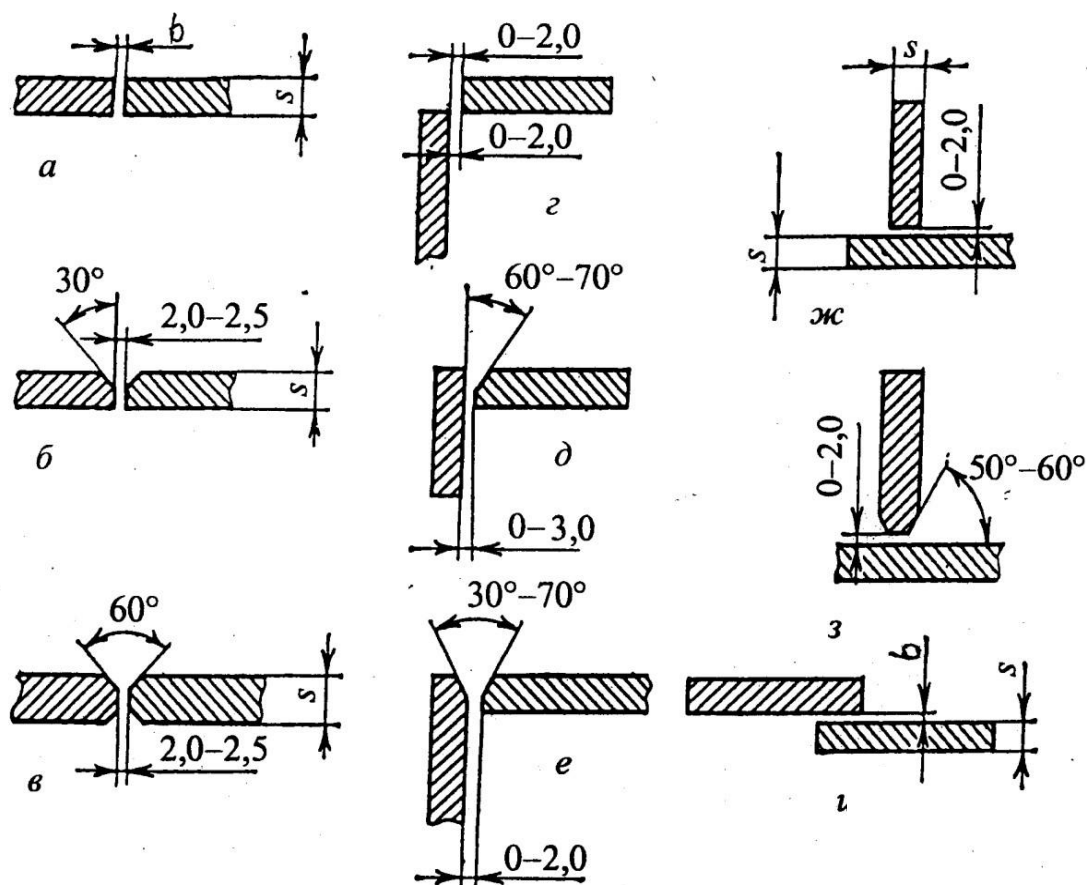


Рисунок 4.7 – Типи зварних з'єднань під час ручного дугового зварювання

Таврове з'єднання зазначеного виду (рисунок 4.7ж) рекомендується для товщини не більше 5...6 мм. У разі великої товщини на вертикальній стінці знімають двосторонні фаски (рисунок 4.7з).

З'єднання напускне (рисунок 4.7і) застосовується при $s = 2...6$ мм. Зазор b допускається від 0 до 4 мм. На відміну від стикового з'єднання, напускне полегшує складання зварних вузлів, проте через неспіввісність деталей, що з'єднуються, під час роботи в таких з'єднаннях виникає згинальний момент, що знижує міцність з'єднання, особливо з високоміцних матеріалів. Напукне з'єднання нераціонально, як з точки зору зменшення витрати металу, так і зниження маси конструкції. При застосуванні напускного з'єднання, так само як таврового і кутового, що мають підвищену жорсткість, більша ймовірність утворення тріщин під час зварювання.

Під час оброблення шва величина зазору і кута оброблення залежить від товщини виробів, що зварюються, виду зварного з'єднання, визначають якість шва і кількість необхідного металу для заповнення оброблення, а отже, продуктивність зварювання.

Наприклад, Х-подібне оброблення крайок порівняно з V-подібним дає змогу зменшити об'єм наплавленого металу в 1,6-1,7 рази.

Зменшується час на обробку крайок. Але в цьому разі виникає необхідність вести зварювання зі зворотного боку шва в незручному стельовому положенні або кантувати зварювані вироби.

4.3 Металургійні процеси під час зварювання

У рідкому металі зварювальної ванни протікають процеси, властиві звичайній металургії.

Під час зварювання відбувається низка складних фізико-хімічних процесів, що визначають якість зварювального з'єднання.

До фізичних процесів відносять процеси, які, змінюючи фізичні властивості речовини, не змінюють її будови і не призводять до зміни хімічних властивостей. Це нагрівання, плавлення, кристалізація, деформація тощо.

Хімічні процеси змінюють будову елементарних частинок, у результаті утворюються нові речовини з новими фізичними та хімічними властивостями.

Під час зварювання фізичні та хімічні процеси протікають одночасно.

Хімічні реакції взаємодії розплавленого металу з газами і засобами захисту називаються **зварювальними металургійними реакціями** (процесами). Характерними умовами протікання металургійних реакцій під час зварювання є: висока температура, відносно малий об'єм розплавленого металу, висока швидкість нагріву і швидкість охолодження, безперервне переміщення зварювальної ванни та інтенсивне перемішування металу, короткочасність усього процесу.

Середня температура крапель електродного металу становить 2200...2700 °С, температура зварювальної ванни також значно перевищує температуру плавлення металу, що зварюється. Висока температура сприяє високій швидкості протікання хімічних реакцій. Метал зварювальної ванни взаємодіє з газами, шлаками та іншими металами, що входять до складу електродних покриттів. Газове середовище при дуговому зварюванні складається з суміші N_2 , O_2 , H_2 , CO_2 , CO і парів металу та шлаку.

У зоні високих температур відбувається розпад молекул газів (дисоціація). Молекулярні кисень, азот і водень розпадаються і переходять в атомарний стан:



Активність газів в атомарному стані різко підвищується.

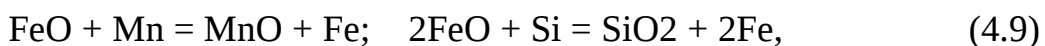
Кисень розчиняється в рідкому металі і при досягненні межі розчинності відбувається хімічна взаємодія з металом і утворення оксидів. Оксиди заліза Fe_3O_4 , FeO знижують міцнісні та пластичні властивості. Кисень також вступає в хімічну взаємодію з іншими металами, що входять до складу сталі, такими, як легувальні елементи.

Азот також розчиняється в металі й утворює хімічні сполуки - нітриди Fe_2N , Fe_4N , які підвищують крихкість сталі. Водень не утворює із залізом хімічних сполук, але розчиняється в рідкому металі, що призводить до утворення пір, мікротріщин як у металі шва, так і в зоні термічного впливу (навколо шовної області).

Окис кисню не розчиняється в металі шва, але в процесі кристалізації виділяється і утворює пори.

Основним способом боротьби зі шкідливим впливом газів є якісний захист зварювальної ванни від впливу повітря і застосування розкислювачів, що містяться в електродних покриттях і флюсах. Електродні покриття і флюси здійснюють металургійну обробку розплавленого металу - розкислення і легування.

Характерними реакціями розкислення є реакції з використанням Mn і Si:



Отримані в результаті цих реакцій оксиди марганцю і кремнію переходять у шлак.

У металі, що зварюється, і в матеріалах, які використовуються під час зварювання (електроди, покриття), завжди знаходяться шкідливі домішки (S і P), які є причиною гарячих тріщин і високої крихкості зварних швів у холодному стані. Сірка утворює із залізом неорганічну сполуку - сульфід заліза FeS , який із залізом утворює, зі свого боку, легкоплавку евтектику ($\text{Fe} + \text{FeS}$) з температурою плавлення 988°C , що спричиняє гарячі тріщини. Сульфід заліза видаляють зі зварювальної ванни марганцем:



Сульфід марганцю, що утворюється в результаті реакції, переходить у шлак.

4.4 Вольт-амперна характеристика зварювальної дуги

Залежність напруги дуги від сили струму в зварювальному ланцюзі називається *статичною вольт-амперною характеристикою* (рисунок 4.8).

Вольт-амперна характеристика має три області:

- ♦ I – падаючу;
- ♦ II – жорстку;
- ♦ III - зростаючу.

Електричні властивості дуги в цих трьох областях різко відрізняються між собою.

В області I зі збільшенням струму напруга зменшується. Це пояснюється тим, що під час підвищення струму збільшуються площі

катодної та анодної плям, збільшується площа поперечного перерізу стовпа дуги і збільшується його електропровідність. Тому для більшої сили струму в зварювальному ланцюзі потрібна менша напруга.

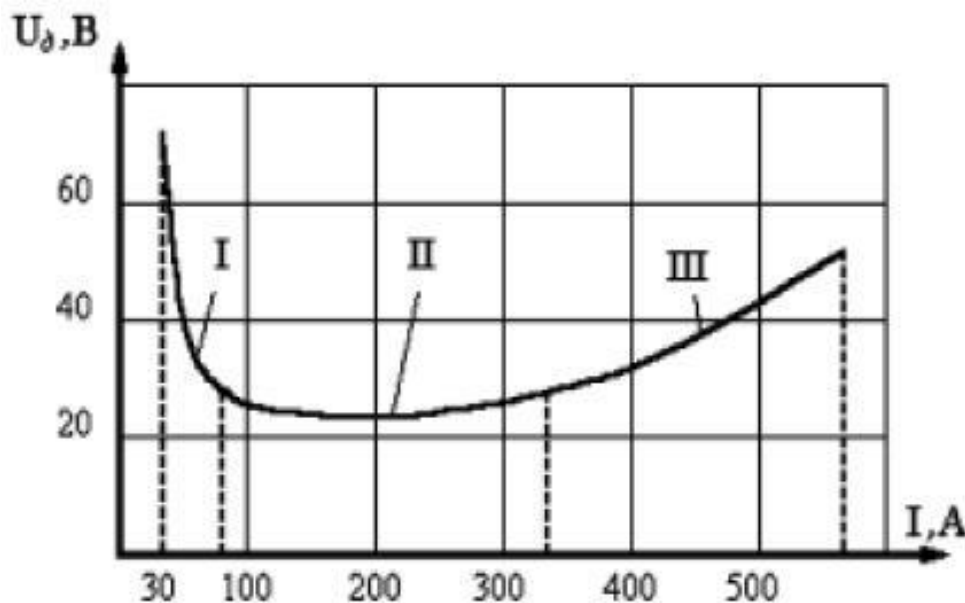


Рисунок 4.8 – Статична вольтамперна характеристика дуги постійної довжини

В області II під час збільшення струму напруга залишається постійною, оскільки переріз стовпа дуги і площі катодної та анодної плям збільшуються прямо пропорційно до струму.

В області III збільшення струму спричиняє зростання напруги через обмежений перетин електрода, тобто площа катодної плями зрівнялася з площею поперечного перерізу електрода, і електропровідність стовпа дуги стає постійною. У цьому випадку сила струму в зварювальному ланцюзі прямо пропорційна напрузі дуги, що відповідає закону Ома.

На практиці найбільше застосування знаходить дуга з жорсткою і зростаючою характеристиками. Дуга з падаючою характеристикою малостійка і знаходить обмежене застосування. В останньому випадку для підтримання горіння дуги необхідне постійне включення в зварювальний ланцюг осцилятора.

Ручне дугове зварювання, автоматичне під флюсом і зварювання в середовищі захисних газів проводяться дугою з жорсткою характеристикою. При цьому спостерігається крупнокрапельне перенесення електродного металу в зварювальну ванну. Автоматичне зварювання під флюсом за підвищеної густини струму проводять дугою зі зростаючою характеристикою, яка забезпечує дрібнокраплинне або струминне перенесення електродного металу. Слід зазначити, що під час зварювання плавким електродом довжина дуги внаслідок краплинного перенесення металу весь час змінюється, тому струм і напруга дуги також не є постійними.

4.5 Джерела живлення зварювальної дуги

Для забезпечення стійкості горіння дуги *джерела живлення* для дугового зварювання повинні задовольняти таким вимогам:

► 1. Мати напругу холостого ходу (напруга на затискачах джерела живлення при розімкненому зварювальному ланцюзі), достатню для легкого збудження дуги і стійкого її горіння, але не перевищувати норм безпеки праці, тобто не більш як 80 В для змінного і 110 В для постійного струму.

► 2. Мати достатню потужність для виконання зварювальних робіт.

► 3. Забезпечувати струм короткого замикання, що не перевищує встановлених значень:

$$1,25 < \frac{I_{к.з.}}{I_d} < 2,0, \quad (4.11)$$

де $I_{к.з.}$ - струм короткого замикання, А;

I_d - струм дуги, А.

Зазвичай струм короткого замикання не повинен перевищувати зварювальний струм більш ніж на 50 %. Ця вимога необхідна для запобігання обмоток джерела живлення від перегрівання і пошкодження. При цьому джерело живлення повинно витримувати тривалі короткі замикання зварювального кола без перегрівання і пошкодження обмоток.

► 4. Час відновлення робочої напруги від 0 до 30 В після кожного короткого замикання не повинен перевищувати 0,05 с, тобто джерела живлення повинні мати хороші динамічні властивості.

► 5. Джерело живлення повинно мати пристрій для плавного регулювання сили зварювального струму. Найпоширенішим способом налаштування режиму зварювання є комбіноване регулювання. Воно полягає в тому, що весь діапазон регулювання за струмом розбивається на низку ступенів (грубе регулювання), а в межах кожного ступеня здійснюється плавне регулювання.

► 6. Мати задану зовнішню характеристику.

Зовнішньою характеристикою джерела живлення називається залежність між напругою на вихідних клеммах і струмом у зварювальному ланцюзі (рисунок 4. 9). Зовнішні характеристики можуть бути таких видів:

- 1 – падаюча;
- 2 – похило падаюча;
- 3 – жорстка;
- 4 - зростаюча.

Джерела живлення з відповідною зовнішньою характеристикою вибирають залежно від вольт-амперної характеристики зварювальної дуги. Режиму ручного дугового зварювання відповідають ділянки I і II вольт-амперної характеристики (див. рисунок 4.8). Тому зовнішня

характеристика має бути падаючою. Чим більша крутизна падіння в робочій зоні, то менші коливання сили струму при зміні довжини дуги. За такого співвідношення напруга холостого ходу завжди буде більшою за напругу дуги ($U_{xx} > U_d$), що полегшує запалювання дуги, особливо під час зварювання на змінному струмі.

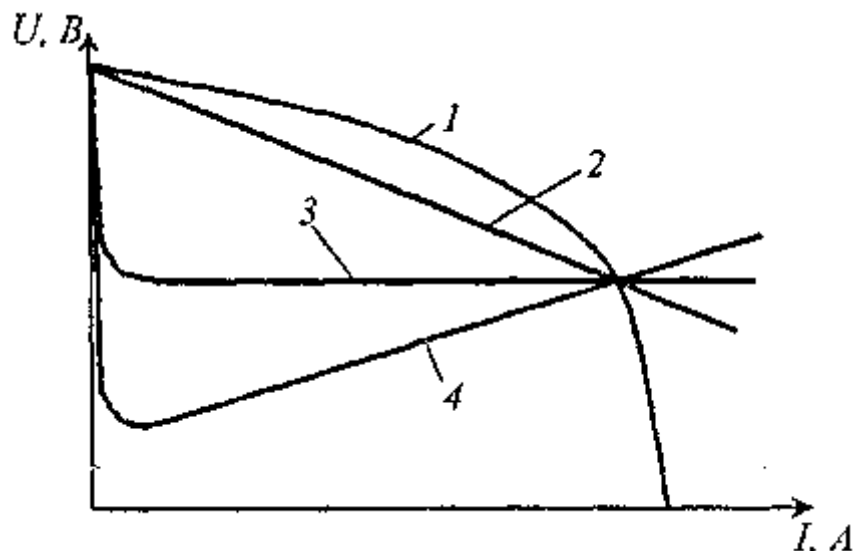


Рисунок 4.9 – Зовнішні характеристики джерел живлення

Для живлення дуги зі зростаючою вольт-амперної характеристикою (зварювання в захисному газі, зварювання під флюсом тощо) використовують джерела живлення зі зростаючою зовнішньою характеристикою.

Джерела живлення класифікуються за такими ознаками:

- 1. За родом струму - джерела живлення змінного і постійного струму.
- 2. За зовнішньою характеристикою: падаюча, похило падаюча, жорстка і зростаюча.
- 3. За кількістю постів – одно постові та багато постові.
- 4. За характером приводу - джерела живлення з електричним приводом і незалежним приводом (двигун внутрішнього згоряння ДВЗ).
- 5. За способом монтажу - стаціонарні та пересувні, для автономного зварювання під флюсом, у середовищі захисних газів, електрошлакового зварювання тощо.

Джерелами живлення змінного струму є зварювальні **трансформатори**. Це спеціальні понижувальні трансформатори, що мають необхідну зовнішню характеристику, забезпечують живлення дуги і регулювання сили зварювального струму. Трансформатори з падаючою характеристикою використовуються для ручного дугового зварювання. Трансформатори з жорсткою і зростаючою характеристикою використовують для електрошлакового зварювання.

До джерел живлення постійного струму належать:

- ♦ 1. Зварювальні перетворювачі з електричним приводом.
- ♦ 2. Зварювальні генератори з незалежним приводом (ДВЗ).
- ♦ 3. Напівприводні зварювальні випрямлячі (кремнієві, селенові).

Кожен *трансформатор* має сердечник-магнітопровід із листової трансформаторної сталі, на якому розміщено дві обмотки: первинну і вторинну (рухому або нерухому).

Змінний струм із мережі, проходячи через первинну обмотку, намагнічує сердечник, створюючи в ньому змінний магнітний потік, який, перетинаючи витки вторинної обмотки, індукуює в ній змінний струм.

Напруга індукованого струму залежить від числа витків вторинної обмотки: що менше витків, то менша напруга і навпаки.

Силу вторинного струму регулюють зміною відстані між первинною і вторинною обмотками або магнітним полем за нерухомої вторинної обмотки.

Джерела живлення змінного струму завдяки своїм техніко-економічним показникам мають перевагу перед джерелами живлення постійного струму: простіші в експлуатації, довговічніші, мають вищий ККД.

Джерела живлення постійного струму краще в технічному відношенні: дуга горить стійкіше, кращі умови для зварювання в різних просторових положеннях.

Зварювальний перетворювач складається зі статора з магнітними полюсами і якоря (ротора) з обмоткою і колектором. Якір обертається в магнітному полі, створюваному полюсами статора. Обмотка якоря перетинає магнітні лінії полюсів статора, і в її витках виникає змінний струм, який за допомогою колектора перетворюється на постійний. Вугільними (графітовими) щитками струм знімається з колектора і підводиться до вихідних клем. Зварювальний генератор має аналогічну будову і відрізняється від перетворювача тільки приводом.

Зварювальні випрямлячі складаються зі знижувального трансформатора і блоку напівпровідникових випрямлячів, виконуються вони за трифазною схемою. Зварювальні випрямлячі мають свої переваги, як порівняти з перетворювачами і генераторами: не мають обертових частин, працюють безшумно, вирізняються вищою надійністю і довговічністю.

Основними технічними характеристиками випрямляча є: зовнішня характеристика, напруга холостого ходу і показник режиму роботи, тобто *тривалість навантаження* (ТН) за час циклу:

$$ТН, \% = \frac{t_{ч.з.}}{t_{ч.з.} + t_{ч.п.}} \cdot 100, \quad (4.12)$$

де $t_{ч.з.}$ - час зварювання;

$t_{ч.п.}$ - час пауз;

$(t_{\text{ч.з.}} + t_{\text{ч.п.}})$ - час циклу.

Кожне джерело живлення розраховане на певне навантаження, за якого він працює, не перегріваючись вище допустимих температур. Чим більше ТН, тим важчий режим роботи.

Промисловість випускає джерела живлення з такими показниками режиму роботи:

ТН = 20, 35, 60, 65 % - одно постові джерела живлення;

ТН = 100 % - для багато постових джерел живлення.

У разі механізованого зварювання в технічному паспорті ДЖ (джерело живлення замість ТН (тривалість навантаження) вказується показник режиму роботи ТВ - тривалість увімкнення.

Різниця між ТН і ТВ полягає в тому, що в першому випадку ДЖ під час пауз не відключається від мережі та при розімкненому зварювальному ланцюзі працює на холостому ході, а в другому випадку (ТВ) джерело живлення автоматично відключається від мережі.

Нижче наведено схеми, описи, коротку будову і технічні характеристики деяких джерел живлення.

На рисунку 4.10 наведено зовнішній вигляд зварювального апарата італійського виробництва моделі GAMMA 3250.

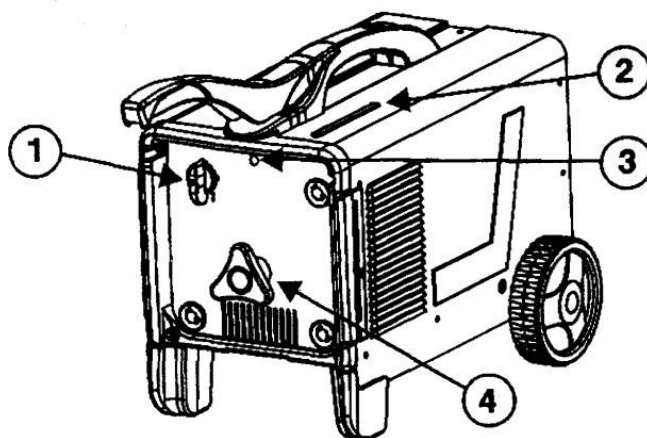


Рисунок 4.10 – Зварювальний апарат GAMMA 3250:

- 1 - головний вимикач; 2 - градуйована шкала; 3 - лампа термостата;
4 - регулювання сили зварювального струму

Апарати цієї моделі мають дві модифікації: варіант АС - складаються з однофазного трансформатора з падаючою характеристикою і призначені для зварювання змінним струмом електродами з покриттям (типу Е43R); варіант АС/DC - є генераторами змішаного струму (постійного і змінного), який обирають за допомогою відповідних клем, підходять для дугового зварювання електродами з різними видами покриття (рутиловими, кислими, лужними).

Для ввімкнення зварювального апарата необхідно натиснути на

головний вимикач 1. Інтенсивність зварювального струму, що виробляється, регулюється за допомогою магнітного шунта, керованого вручну обертанням спеціального гвинта 4. Величину заданого струму видно на градуйованій в амперах шкалі 2. Зварювальний апарат захищений від термічних навантажень автоматичним захистом (термостат з автоматичним відновленням). Коли обмотка досягає гранично встановленої температури, захист відключає ланцюг живлення і вмикається жовта лампа 3 на передній панелі. Після охолодження протягом декількох хвилин захист автоматично відновлюється, вмикається ланцюг живлення, жовта лампа гасне. Зварювальний апарат готовий до подальшої роботи.

Під час зварювання на апараті варіанта AC/DC клеми змінного струму використовуються переважно для електродів з рутиловим перекриттям (ці електроди широко поширені й універсальні).

Клеми постійного струму використовуються під час зварювання електродами з лужним покриттям або електродами для нержавіючої сталі, при цьому кабель електродотримача приєднується до плюсової клеми (зворотна полярність).

Під час зварювання на постійному струмі електродами з кислим або рутиловим покриттям використовується пряма полярність.

Сила зварювального струму вибирається залежно від діаметра електрода (таблиця 4.3) і просторового положення шва.

Таблиця 4.3 – Залежність сили струму від діаметра електрода

Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	
	мінімальний	максимальний
1,6	25	50
2,0	40	80
2,5	60	110
3,0	80	160
4,0	120	200
5,0	150	250
6,0	200	350

Під час зварювання в нижньому положенні приймається максимальне значення сили струму, під час зварювання вертикальних і стельових швів - мінімальне.

На рисунку 4.11 показано зовнішній вигляд джерела живлення серії «ПТОН» (надалі напівавтомат), призначеного для проведення зварювальних робіт у середовищі вуглекислого газу.

Напівавтомати серії «ПТОН» можуть використовуватися як для побутових, так і для виробничих цілей, головним чином під час ремонту автомобілів для кузовних робіт, а також під час виготовлення, монтажу та ремонту обладнання і трубопроводів різного призначення.

Напіваавтомати дають змогу зварювати конструкції з нержавіючої сталі за умови використання нержавіючого зварювального дроту.

Додатковий режим - використання напіваавтомата як пусковий пристрій і пристрій для очищення поверхні металу від корозії та покриттів, а також для прогрівання поверхні металу перед рихтуванням.

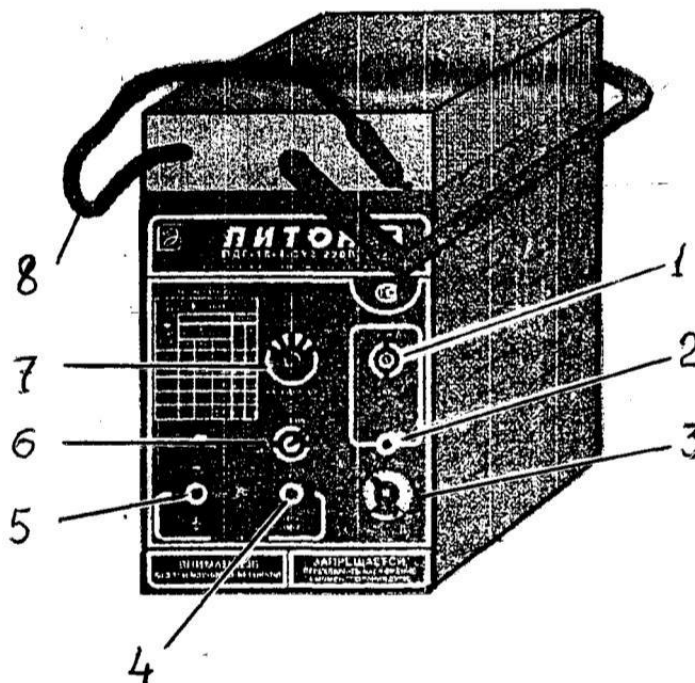


Рисунок 4.11 – Джерело живлення для напіваавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу:

- 1 - тумблер увімкнення мережевої напруги; 2 - індикатор наявності мережевої напруги; 3 - перемикач плавного регулювання швидкості подавання зварювального дроту; 4 - клема «+12 В» для підключення до плюсової клеми акумулятора автомобіля або до тримача вугільного електрода; 5 - клема «-» для підключення до мінусової клеми акумулятора або клеми (земля) кабелю до зварюваного виробу;
- 6 - перемикач режимів: «СО₂ зварювання» - зварювання в середовищі вуглекислого газу і «+12 В прогрівання» - прогрівання і пуск двигуна; 7 - ступінчастий перемикач величини зварювальної напруги (у режимі «+12 В прогрівання» - перемикач пускового струму і струму, що прогріває); 8 - зварювальний рукав із пальником.

Напіваавтомат призначений для експлуатації в закритих приміщеннях в умовах помірного клімату:

- ♦ температура навколишнього повітря від -10 °С до +40°С;
- ♦ вологість навколишнього повітря не більше 98 %.

Напіваавтомат не допускається використовувати в середовищі, насиченому пилом, у вибухонебезпечному середовищі, а також у середовищі, яке містить їдкі пари і гази, що руйнують метал та ізоляцію.

Напіваавтомат має два режими роботи:

♦ основний: режим «CO₂ зварювання» - зварювання в середовищі вуглекислого газу;

♦ додатковий: режим «+12 В прогрів» - пуск двигуна і прогрів поверхні металу.

Постійний струм для зварювання утворюється в результаті випрямлення напруги з вторинної обмотки силового трансформатора.

У режимі «CO₂ зварювання» під час натискання на кнопку пальника подається зварювальна напруга, і вмикається механізм подавання зварювального дроту, при цьому швидкість подавання регулюється транзисторним стабілізатором.

Швидкість подачі дроту і зварювальну напругу вибирають відповідно до товщини зварюваного виробу.

У режимі «+12 В прогрів» вмикається силова напруга, водночас механізм подачі зварювального пальника відключається.

Напівавтомат має тепловий захист від перевантаження. При досягненні гранично допустимої температури трансформатора відбувається автоматичне відключення від мережі.

Напівавтомати для зварювання металу різної товщини випускаються таких модифікацій:

Пітон 1 - ПДГ-12-1,3 УЗ, 220 В: від 0,5 мм до 2 мм і струмом до 120 А;

Пітон 2 - ПДГ-15-1,3 УЗ, 220 В від 0,5 мм до 4 мм і струмом до 150 А;

Пітон 3 - ПДГ-18-1,3 УЗ, 220 В від 0,5 мм до 5 мм і струмом до 180 А.

Пітон 4 - ПДГ-20-1,3 УЗ, 220 В від 0,5 мм до 6 мм і струмом до 200 А.

Технічні характеристики напівавтоматів різних модифікацій наведено в таблиці 4.4.

На рисунках 4.12 і 4.13 наведено габаритні параметри і принципову електричну схему зварювального трансформатора ТДМ-250У2.

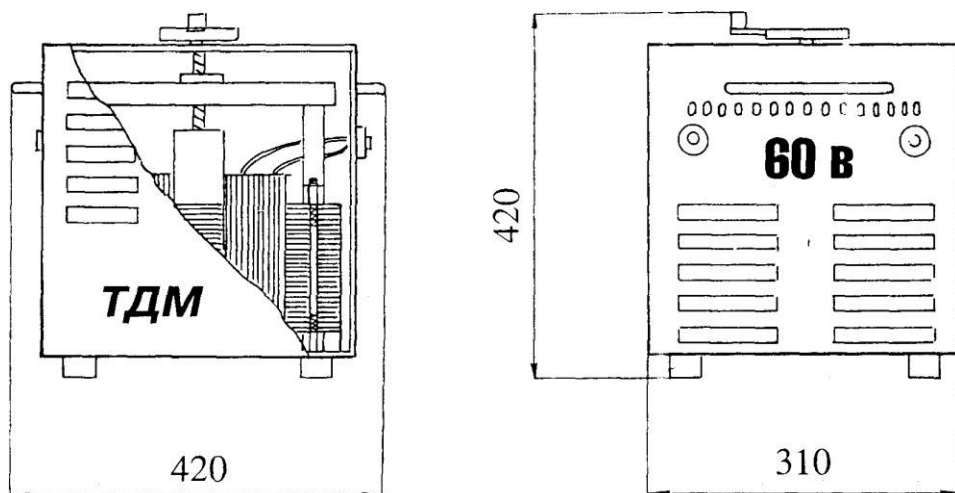


Рисунок 4.12 – Габаритні параметри трансформатора ТДМ-250 У2

Трансформатор являє собою переносну установку з природною вентиляцією, що забезпечує перетворення напруги силової мережі в напругу, необхідну для процесу дугового зварювання.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики напівавтоматів

Параметр	Величина			
	Пітон 1	Пітон 2	Пітон 3	Пітон 4
Напруга живильної мережі, В	220			
Режим «СО ₂ зварювання»				
Максимальна споживана потужність, кВт, не більше	4	4,5	5	5,5
Тривалість навантаження: за максимального струму, % струмі ≤ 100 А, %	30 40	30 60	20 80	20 100
Межі регулювання зварювального струму, А	50...120	50...150	50...180	50...200
Напруга холостого ходу, В	20...30	20...30	22...32	22...32
Швидкість подачі дроту, м/хв	0...10	0...10	0...12	0...12
Застосовуваний зварювальний дріт, мм	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0; 1,2	0,8; 1,0; 1,2
Ємність котушки для зварювального дроту, кг, не менше	5	5	5	5
Режим «+12 В прогрів»				
Максимальний струм: під час пуску, А під час прогрівання, А	200 100	250 100	300 100	320 100
Межі регулювання струму під час прогрівання, А	50...120	50...150	50...180	50...200
Напруга холостого ходу, В	9...14	9...14	9...15	9...15
Габарити, мм, не більше	40x260x375			
Маса, кг, не більше	28	30	32	33

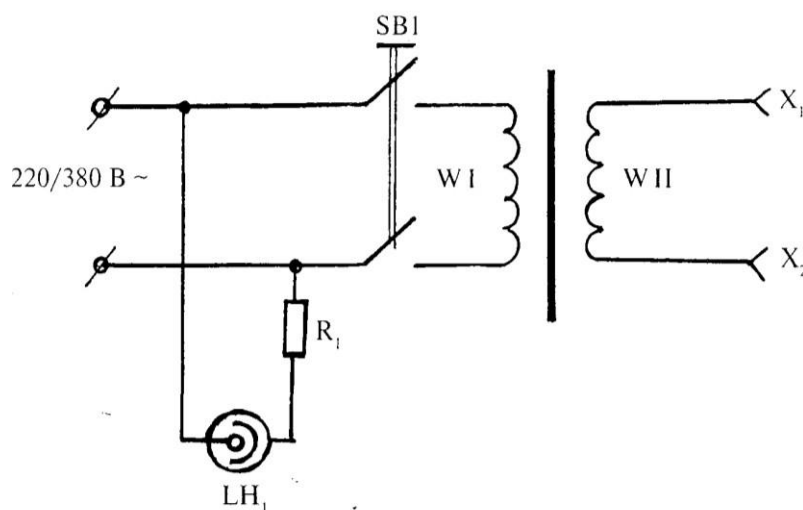


Рисунок 4.13 – Принципова електрична схема ТДМ-250У2

У методичних вказівках до практичного заняття наведено принципову схему трансформатора ТДМ-317 з рухомою первинною обмоткою. Регулювання зварювального струму за такої схеми здійснюється зміною відстані між первинною і вторинною обмотками.

Регулювання струму в трансформаторі ТДМ-250У2 здійснюється за допомогою магнітного шунтування при нерухомих мідних обмотках, що забезпечує його високу надійність і довговічність.

Цей трансформатор передбачає два варіанти напруги мережі: 220 В або 380 В.

Трансформатор складається з магнітопроводу, сердечника, трансформаторних обмоток (первинної та вторинної), магнітного шунта, регулювального гвинта і кожуха.

Обмотки трансформатора мають по дві котушки, розташованих попарно на загальних стрижнях магнітопроводу. Котушки обмоток виконані з ізолюваного мідного дроту марки ПСДТ і нерухомо закріплені на магнітопроводі. Обмотки від сердечника магнітопроводу ізолювані склопластиком і просочені електротехнічним лаком.

Сердечник трансформатора зібраний з листів електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм і виконаний у вигляді безшпилькової конструкції.

Струм зварювання регулюється шляхом обертання рукоятки, розташованої на верхній кришці трансформатора. Стрілка покажчика величини зварювального струму розташована на лицьовій стінці трансформатора.

Для зручності переміщення трансформатор забезпечений двома ручками, розташованими на бічних панелях.

У таблиці 4.5 представлена технічна характеристика трансформатора ТДМ-250У2.

Таблиця 4.5 – Технічна характеристика трансформатора ТДМ-250 У2

№ п/п	Параметр	Норма
1	Номінальна напруга мережі живлення, В	220 / 380
2	Номінальний зварювальний струм, А	250
3	Межі регулювання зварювального струму, А	40...250
4	Номінальна тривалість навантаження (ТН), при циклі зварювання 5 хв, не менше, %: при струмі 250 А при струмі 200 А при струмі 100 А	40 60 100
5	Номінальна вторинна напруга під навантаженням, В	32
6	Напруга холостого ходу, В не більше	65
7	Спосіб регулювання зварювального струму	Плавний
8	Споживана потужність, кВт, не більше	9
9	Габаритні розміри, мм, не менше	420x310x420
10	Маса, кг	49

Контрольні питання

- 4.1 Яка класифікація видів зварювання?
- 4.2 Яка сутність процесу зварювання за М.М. Бенардосом?
- 4.3 Яка сутність процесу зварювання за М.Г. Славяновим?
- 4.4 Назвіть типи зварних з'єднань.
- 4.5 Перелічіть види зварних швів.
- 4.6 Охарактеризуйте вольтамперну характеристику зварювальної дуги.
- 4.7 Перелічіть вимоги, що висуваються до джерел живлення зварювальної дуги.
- 4.8 Які основні принципи регулювання сили зварювального струму?
- 4.9 Перелічіть джерела живлення зварювального струму.
- 4.10 Охарактеризуйте зовнішню характеристику джерел живлення.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Мета заняття: вивчити обладнання та оснащення для електричного дугового зварювання, ознайомитися з основами технології розрахунку основних параметрів режиму зварювання, набути навичок визначення якості зварного шва.

Порядок роботи

1. Ознайомитися з обладнанням електричного дугового зварювання.
2. Відповісти на контрольні запитання.
3. Візуально або за допомогою лупи визначити якість зразків зварних з'єднань, описати виявлені дефекти.
4. Отримати у викладача індивідуальне завдання (див. таблицю 4.8) і виконати розрахунки з визначення діаметра електроду і сили зварювального струму для конкретних умов зварювання.

Теоретичні відомості

Зварюванням називається процес отримання нероз'ємних з'єднань за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між частинами, що зварюються, під час їхнього місцевого (спільного) нагрівання або пластичної деформації чи спільної дії того й іншого.

Залежно від виду енергії, застосовуваної під час зварювання, розрізняють три класи зварювання:

- ♦ термічне;
- ♦ термомеханічне;
- ♦ механічне.

Найбільшого поширення в машинобудуванні та ремонтному виробництві набули термічний і термомеханічний класи зварювання.

До **термічного класу** належать види зварювання, що здійснюються плавленням з використанням теплової енергії електричної дуги, газового полум'я, променевих джерел енергії тощо.

До **термомеханічного класу** зварювання належать види зварювання, під час яких використовуються теплова енергія і тиск: контактне, дифузійне, газопресове тощо.

До **механічного класу** належать види зварювання, що здійснюються з використанням механічної енергії: зварювання тиском, вибухом, тертям, ультразвукове зварювання тощо.

Утворення зварного з'єднання супроводжується складними хімічними та фізичними процесами. Під час нагрівання в металі відбуваються структурні та фазові перетворення: розчинення вторинних фаз, поліморфні перетворення (перехід низькотемпературної модифікації у високотемпературну), плавлення.

Під час охолодження структурні та фазові перетворення відбуваються у зворотному порядку: кристалізація, поліморфні перетворення, випадання вторинних фаз (карбідів тощо). Крім названих перетворень, у металі в низькотемпературній ділянці під час зварювання відбуваються структурні зміни, що спричиняють знезміцнення основного металу, наприклад, рекристалізація тощо.

Зварне з'єднання під час зварювання плавленням (рисунок 4.14а)

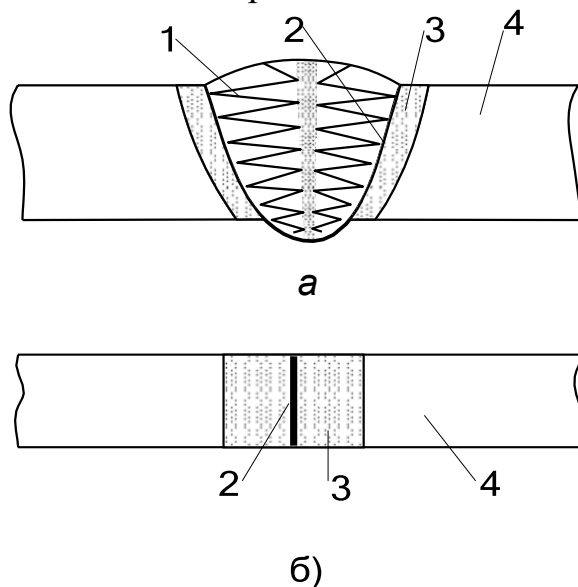


Рисунок 4.14 – Схема зварного з'єднання:

а - при зварюванні плавленням; б - при зварюванні тиском;

1 - зварний шов; 2 - зона оплавлення (зчеплення); 3 - зона термічного (термомеханічного) впливу; 4 - основний метал

містить зварний шов 1, тобто ділянку зварного з'єднання, яка утворилася в результаті кристалізації зварювальної ванни; зону оплавлення 2, де

розташовані частково оплавлені зерна на кордоні шва й основного металу; зону термічного впливу 3, тобто ділянку металу, структура та властивості якого змінилися в результаті нагріву; основний метал 4, який не змінив властивостей під час зварювання.

З'єднання, виконане зварюванням тиском (рисунок 4.14б), зварного шва не має і складається із зони з'єднання 2, де утворилися міжатомні зв'язки зварюваних частин, зони термомеханічного впливу 3, основного металу 4.

Зварні з'єднання можуть бути стиковими, кутовими, внапуск і тавровими (рисунок 4.15).

Під час зварювання внапуск зварювані елементи і вироби накладаються один на одного з перекриттям, що дорівнює 3...5 товщини пластин. При цьому не потрібна підготовка крайок. Кутові та таврові з'єднання також не завжди вимагають підготовки крайок. Під час стикового зварювання характер підготовки крайок залежить від товщини елементів, що зварюються (рисунок 4.16).

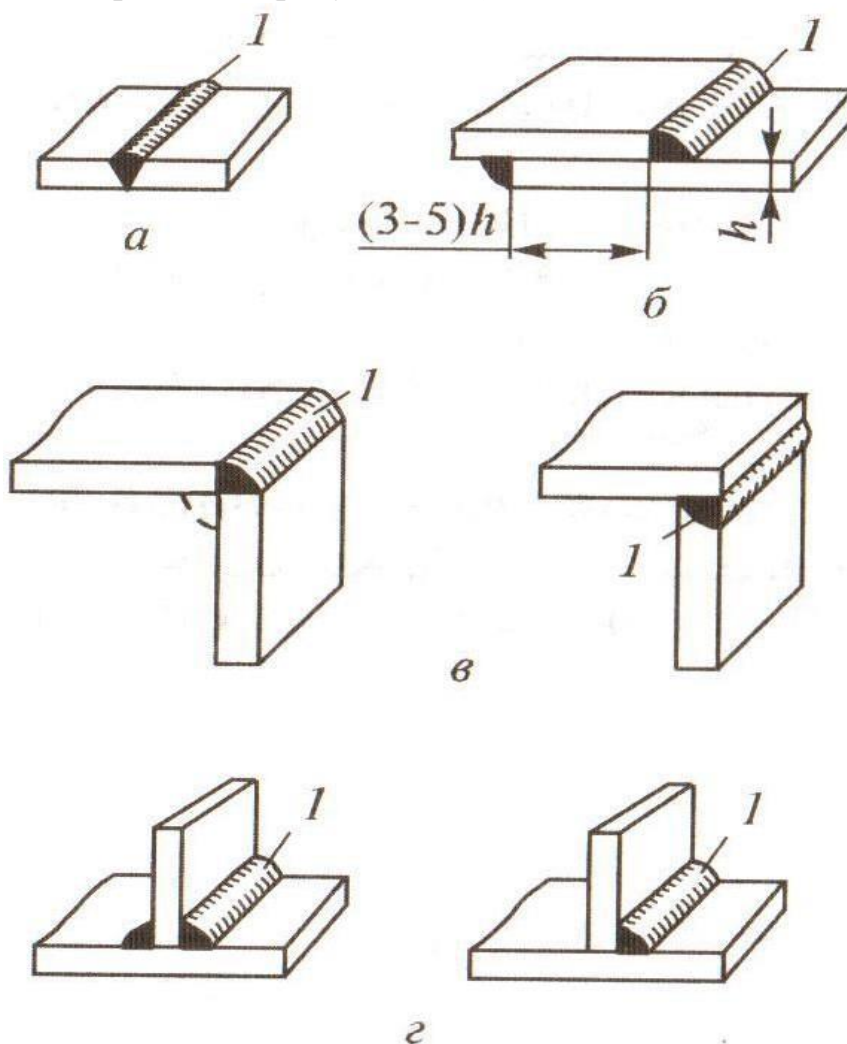


Рисунок 4.15 – Види зварних з'єднань:

а - стикове; б - внапуск; в - кутове; г - таврове; 1 - зварний шов

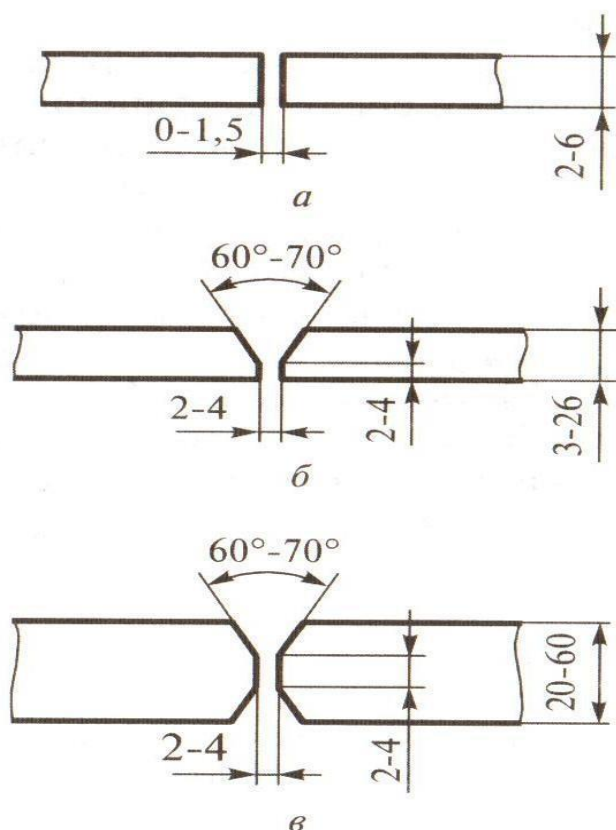


Рисунок 4.16 – Способи підготовки кромки для стикових з'єднань під час дугового електрозварювання:
а - без скосу кромки; б - кромки V-подібні; в - кромки X-подібні

Ділянка зварного з'єднання, що утворилася в результаті кристалізації металу зварювальної ванни, називається зварним швом.

► Зварні шви класифікують за такими ознаками:

1. За видом зварного з'єднання - стикові, при зварюванні стикового з'єднання, та кутові, при зварюванні кутового, таврового і з'єднання внапуск.

2. За положенням у просторі - нижні, вертикальні, горизонтальні у вертикальній площині, стельові.

3. Залежно від протяжності - короткі (250...300 мм), середні (350...1000 мм) і довгі (понад 1000 мм).

4. За формою зовнішньої поверхні - плоскі (нормальні), опуклі (посилені) і увігнуті (ослаблені).

5. За методом заповнення перерізу шва - однопрохідні (одношарові), багатошарові та багатопрохідні.

Крім того, шви можуть бути безперервними, переривчастими, односторонніми і двосторонніми.

У процесі утворення зварного з'єднання в металі шва і зоні термічного впливу можуть виникати дефекти, тобто відхилення від встановлених норм і вимог, що призводять до зниження міцності, експлуатаційної надійності, а також погіршення зовнішнього вигляду

виробу. Дефекти зварних з'єднань розрізняють за причинами виникнення та місцем їхнього розташування (рисунок 4.17).

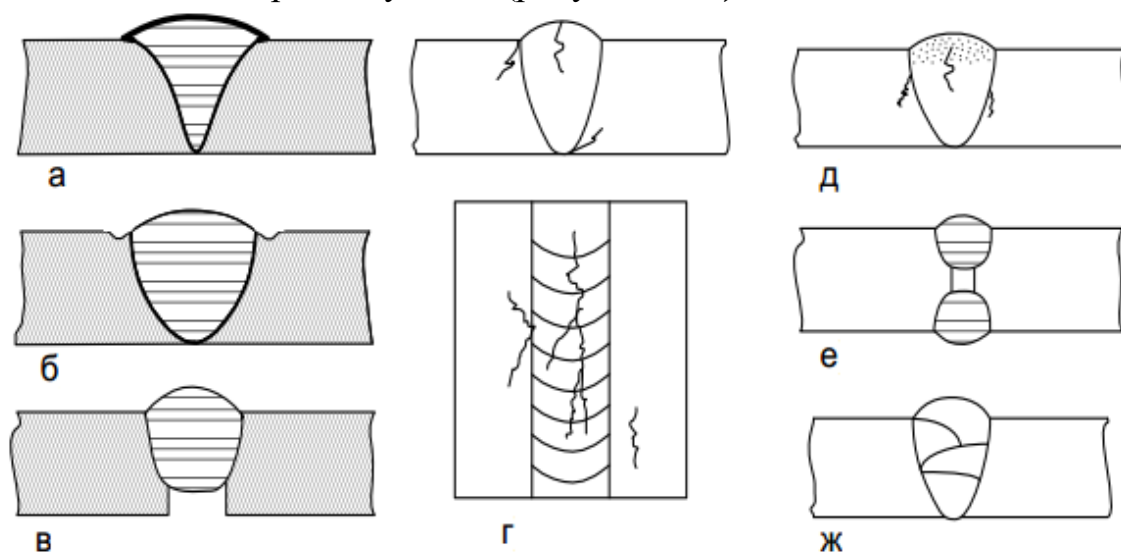


Рисунок 4.17 – Види дефектів зварних з'єднань: а - наплив; б - підріз; в - непровар; г - зовнішні тріщини, пори; д - внутрішні тріщини і пори; е - внутрішній непровар; ж - шлакові відкладення

Методи контролю зварних швів ділять на:

- ♦ руйнівні;
- ♦ неруйнівні.

До руйнівних методів контролю належать: механічні випробування, металографічні дослідження, спеціальні випробування з метою отримання характеристик зварних з'єднань.

До неруйнівних методів належать: зовнішній огляд; магнітний, електромагнітний, люмінесцентний - для виявлення поверхневих дефектів; радіаційний, ультразвуковий, магнітографічний - для виявлення прихованих і внутрішніх дефектів; контроль на непроникність гідравлічним випробуванням, стисненням повітрям, вакуумуванням тощо.

Контролю зовнішнім оглядом піддаються всі зварювальні конструкції. Зовнішній огляд проводять неозброєним оком або лупою. Розміри швів і дефектів визначають вимірвальним інструментом, шаблонами.

Класифікація та сутність дугового зварювання

Дуговим зварюванням називається зварювання плавленням, під час якого нагрівання зварюваних крайок здійснюється теплотою електричної дуги.

Найпоширенішими видами дугового зварювання, що застосовуються в сільськогосподарському ремонтному виробництві, є:

- ручне;
- під шаром флюсу;
- у середовищі захисних газів.

Ручне дугове зварювання може виконуватися двома способами: електродом, що не плавиться (рисунок 4.18а - метод Бенардоса М.М.), та плавлячим електродом (рисунок 4.18б - метод Славянова М.Г.).

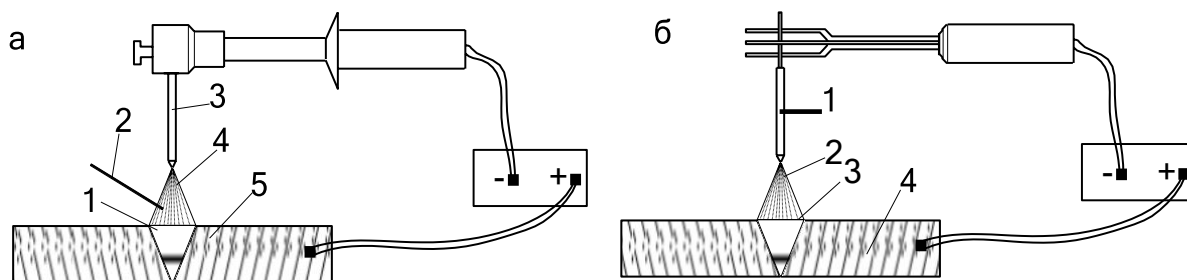


Рисунок 4.18 – Схема електричного дугового зварювання:
а - метод Бенардоса М.М.; б - метод Славянова М.Г.

У першому випадку зварювальна дуга 4 збуджується між вугільним або графітовим електродом 3 і виробом 5. Зварювальна ванна 1 формується завдяки розплавленим кромкам виробу і присадного матеріалу 2. Цей спосіб використовується здебільшого під час зварювання кольорових металів і сплавів, а також під час наплавлення твердих сплавів.

Другий спосіб є більш поширеним. Дуга 2 збуджується між плавким електродом 1 і виробом 4. Зварювальна ванна 3 формується з електродного металу і розплавлених кромки виробу.

Автоматичне зварювання під флюсом (рисунок 4.19) - це дугове зварювання, у якому механізовано основні рухи (показано стрілками), які виконує зварювальник у ручному зварюванні, - подавання електрода 1 у зону дуги 6 і переміщення його уздовж зварюваних крайок виробу 5.

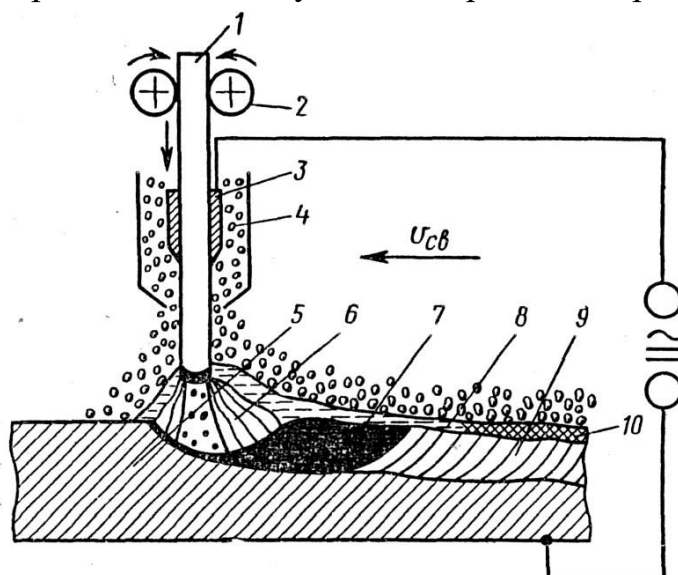


Рисунок 4.19 – Схема автоматичного зварювання під флюсом:
1 - електродний дріт; 2 - механізм подавання дроту; 3 - струмопровід; 4 - флюс; 5 - виріб, що зварюється; 6 - зварювальна дуга; 7 - зварювальна ванна; 8 - шлакова ванна; 9 - зварний шов; 10 - шлакова кірка.

При напіваавтоматичному зварюванні механізовано подачу електрода в зону дуги, а переміщення його вздовж шва здійснюється вручну.

Зварювальна дуга збуджується і горить між кінцем голого (без покриття) електродного дроту 1 і виробом 5 під шаром гранульованого флюсу 4 товщиною 30...50 мм. Дріт подається в зону зварювання за допомогою механізму подачі 2, струм до електрода подається через струмопровід 3. Зварювальна ванна 7 складається з металу розплавлених кромки зварюваного виробу і металу електродного дроту. Зварювальна дуга 6 і зварювальна ванна 7 ізольовані від навколишнього середовища шаром флюсу, який, розплавляючись, утворює рідку шлакову ванну 8. Після переміщення зварювальної дуги відбувається формування зварного шва 9 внаслідок кристалізації металу зварювальної ванни. Температура плавлення флюсу нижча за температуру плавлення металу, тому шлакова ванна твердне пізніше, сповільнюючи охолодження металу шва та утворюючи шлакову кірку, яку легко видалити, 10. Повільне охолодження зварювальної ванни сприяє виходу на поверхню металу всіх розчинених газів і неметалевих включень, що дає можливість отримати чистий, щільний і однорідний за хімічним складом шов.

Розплавлений флюс не тільки надійно захищає зварювальну ванну від впливу кисню й азоту повітря, а й здійснює металургійну обробку, тобто розкислює і легує метал шва.

При цьому виді зварювання зварювальна дуга горить в ізольованому просторі, спостерігається менше виділення шкідливих газів, відпадає необхідність захисту обличчя та очей зварника.

Дугове зварювання в захисному газі виконується неплавким (вольфрамовим) (рисунк 4.20а) або плавким (рисунк 4.20б) електродом 3.

У першому випадку зварний шов формується за рахунок металу кромки виробу, що розплавляються. За необхідності в зону дуги подають присадний метал 4. У другому випадку електродний дріт 3, який подають у зону дуги, розплавляється і бере участь в утворенні зварного шва 1. Розплавлений метал захищають від окислення й азотування струменем захисного газу 2, що відтісняє атмосферне повітря із зони дуги.

Як захисні застосовують інертні й активні гази (водень, окис вуглецю або їхню суміш з азотом). Найбільшого застосування набули аргонодугове зварювання і зварювання в середовищі вуглекислого газу.

Коефіцієнт корисної дії зварювальної дуги

Зварювальна дуга являє собою стійкий електричний розряд у сильно іонізованій суміші газів, парів металу і матеріалів, які використовуються під час зварювання.

Електрична енергія, споживана дугою, в основному перетворюється на тепло. Теплову потужність дуги можна прийняти рівною тепловому еквіваленту Q (Дж/с) електричної енергії, нехтуючи теплом, що йде на хімічні реакції в дуговому проміжку, яке дещо змінює тепловий баланс дуги. Тепловий еквівалент електричної потужності можна визначити за

формулою

$$Q = k \cdot I_{C3} \cdot U_{C3}, \quad (4.13)$$

де k - коефіцієнт, що враховує вплив, який чиниться несинусоїдальністю кривих напруги і струму на потужність дуги змінного струму, приймається рівним 0,70...0,97 (за постійного струму $k = 1$);

I_{C3} - сила струму зварювання, А;

U_{C3} - напруга дуги, В.

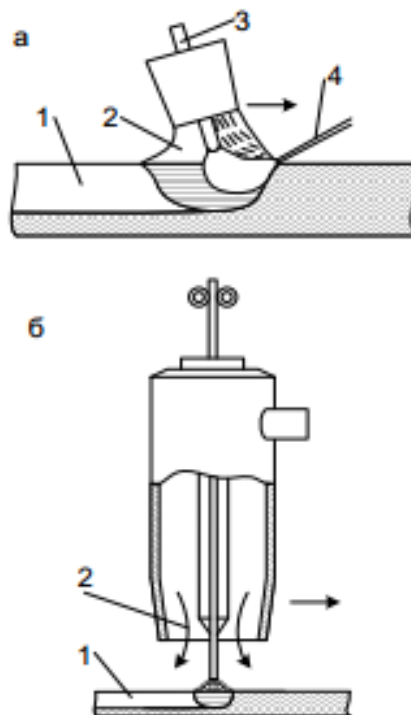


Рисунок 4.20 – Схеми дугового зварювання в захисному газі:

а - неплавким електродом; б - плавким електродом; 1 - зварний шов;
2 - захисний газ; 3 - електрод (електродний дріт); 4 - присадний метал

Не все тепло зварювальної дуги йде на нагрівання виробу: частина тепла витрачається на нагрівання нерозплавленої частини електрода, частина - на випромінювання в навколишній простір, певна кількість тепла втрачається з краплями електродного металу під час його розбризкування. Тому введено поняття ефективної теплової потужності дуги. Ефективна теплова потужність дуги - це кількість теплоти, введена в метал виробу за одиницю часу, що дорівнює:

$$Q_{\text{ЕФ}} = \frac{q_0}{t}, \quad (4.14)$$

де q_0 - кількість теплоти, введена в метал виробу, Дж;

t - час горіння дуги, с.

Втрати тепла дуги на випромінювання, нагрівання електрода за рахунок проходження зварювального струму для різних способів зварювання будуть різними.

Величиною, що характеризує тепло, яке витрачається на нагрівання і плавлення основного та електродного металів, є коефіцієнт корисної дії дуги, який являє собою відношення ефективної теплової потужності дуги до теплового еквівалента її електричної потужності, тобто:

$$\eta = \frac{Q_{\text{ЕФ}}}{Q}, \quad (4.15)$$

Ефективний ККД залежить від технологічних умов зварювання і перебуває в інтервалі від 0,5 (при ручному зварюванні) до 0,95 (при зварюванні під флюсом).

Зварювальне обладнання

Під час дугового електрозварювання застосовують такі джерела дуги: зварювальні генератори та перетворювачі постійного струму, зварювальні випрямлячі та зварювальні трансформатори. Усі джерела зварювального струму повинні забезпечувати можливість короткого замикання, надійність запалювання і горіння дуги, регулювання сили струму.

Основними джерелами живлення для зварювання на змінному струмі є зварювальні трансформатори. Їх поділяють на дві групи. До першої групи відносять трансформатори з нормальним магнітним розсіюванням і додатковою реактивною котушкою - дроселем. Дросель може мати з трансформатором як спільний, так і окремий магнітопровід. До другої групи відносять трансформатори з підвищеним магнітним розсіюванням. За способом регулювання індуктивного опору трансформатори другої групи можна розділити на три основні типи: з магнітними шунтами, з рухомими котушками і з витковим (ступінчастим) регулюванням.

На рисунку 4.21 показано принципову схему зварювального трансформатора ТДМ-317 з механічним регулюванням.

Цей трансформатор має підвищене магнітне розсіювання. На сердечнику 1 внизу розміщені нерухомі котушки 2 з первинною обмоткою, вгорі - рухомі котушки 3 з вторинною обмоткою. Первинна обмотка включена в силову мережу, а вторинна - у зварювальний ланцюг. Силу зварювального струму регулюють зміною відстані L між первинною і вторинною обмотками. У разі збільшення відстані L магнітний потік розсіюється, тобто не повністю йде по сердечнику 1, ЕРС самоіндукції та індуктивний опір збільшуються і, відповідно, зменшується струм у зварювальному ланцюзі. Зі збільшенням зварювального струму (наприклад, під час замикання) магнітний потік розсіювання зростає, і у вторинній обмотці трансформатора збільшуються ЕРС самоіндукції та

індуктивний опір, що створює різке падіння напруги (круто спадаючу зовнішню характеристику джерела живлення).

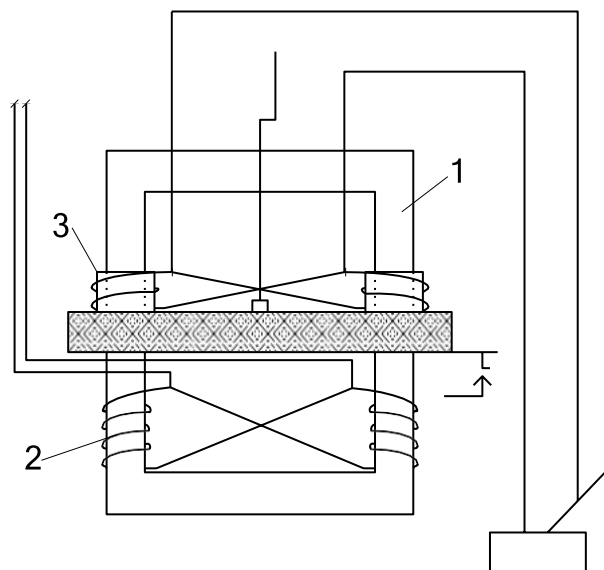


Рисунок 4.21 – Схема трансформатора ТДМ-317:
1 - сердечник; 2 - первинна обмотка; 3 - вторинна обмотка

Зварювальний апарат з окремим дроселем (рисунок 4.22) складається зі знижувального трансформатора (T_p) і дроселя (регулятора струму (D_p)). Трансформатор має сердечник (магнітопровід) 2, на якому розташовані первинна 1 і вторинна 3 обмотки. Послідовно із вторинною обмоткою в зварювальний ланцюг включена обмотка 4 дроселя. Сердечник дроселя складається з двох частин: нерухомої 5 з обмоткою 4 і рухомої 6. Змінюючи зазор a між нерухомою і рухомою частинами, змінюють індуктивний опір дроселя і тим самим струм у зварювальному ланцюзі.

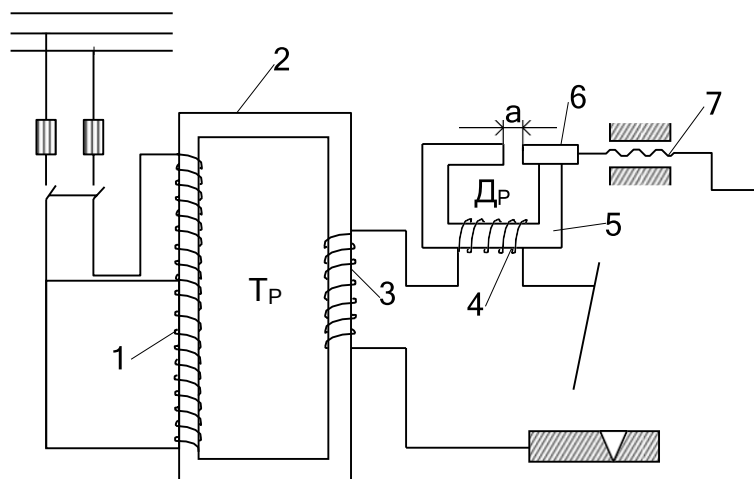


Рисунок 4.22 – Схема трансформатора з дроселем:
1 - первинна обмотка; 2 - сердечник; 3 - вторинна обмотка; 4 - обмотка дроселя; 5 - нерухома частина сердечника дроселя; 6 - рухома частина сердечника дроселя; 7 - регулятор струму.

Серед джерел постійного струму найбільшого застосування набули селенові та кремнієві випрямлячі, які мають низку переваг над генераторами та перетворювачами. Вони мають кращі енергетичні та динамічні показники, вищий ККД, прості в обслуговуванні та надійні в експлуатації.

На рисунку 4.23 наведено принципову схему зварювального випрямляча. Зварювальні випрямлячі монтують, як правило, за трифазною схемою.

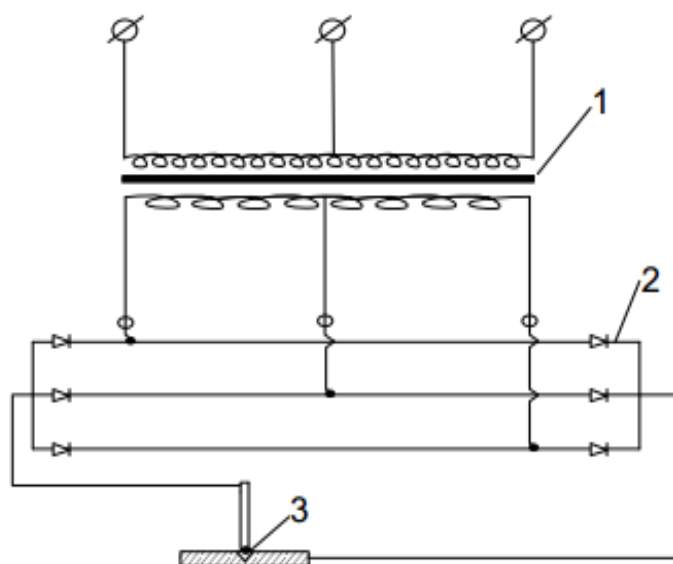


Рисунок 4.23 – Напівпровідниковий випрямляч:
1 - понижувальний трансформатор; 2 - блок напівпровідникових випрямлячів; 3 - зварювальна дуга

Параметри технологічного процесу зварювання

У процесі зварювання електроду повідомляються такі основні рухи:

1. Уздовж осі електрода в бік зварювальної ванни. Швидкість цього руху повинна відповідати швидкості плавлення електрода, щоб зберегти сталість довжини дуги.

2. Переміщення вздовж осі шва. Швидкість цього руху має бути оптимальною. За малої швидкості можливий перегрів і перепал металу, продуктивність зварювання зменшується. За великої швидкості не виключена можливість такого дефекту зварювання, як непровар.

3. Поперечні коливальні рухи, які сповільнюють охолодження металу, полегшують вихід газів із ванни і сприяють отриманню високої якості шва.

Довжина дуги значно впливає на якість зварювання. Орієнтовно довжину дуги розраховують за формулою:

$$l_e = (0,5 \dots 1,1) \cdot d_e, \quad (4.16)$$

де d_e - діаметр електрода, мм.

Середнє значення довжини дуги можна визначити з виразу:

$$l_d \approx 0,5 \cdot (d_e + 2), \quad (4.17)$$

Розрізняють дугу:

- коротку - 2...4 мм;
- середню - 4...6 мм;
- довгу $l = 6$ мм.

Коротка дуга забезпечує отримання високоякісного шва.

Основними параметрами режиму зварювання є діаметр електрода d_e і зварювальний струм I_{C3} .

Діаметр електрода залежить здебільшого від товщини зварюваних крайок S і виду зварного з'єднання.

Діаметр електрода можна вибрати за табличними даними з довідників або визначити за формулою:

$$d_e = \frac{1}{2} \cdot S + 1, \quad (4.18)$$

де S - товщина зварюваних крайок, мм.

Якщо за розрахунком діаметр електрода вийшов понад 6 мм, то обмежуються діаметром 6 мм.

Під час зварювання кутових і таврових з'єднань під час вибору діаметра електрода беруть до уваги розмір катета шва $K_{ш}$ (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 – Залежність діаметра електрода від катета шва

$K_{ш}$, мм	3...5	6...8	> 8
d_e , мм	3...4	4...5	6

Розрахунок зварювального струму при ручному дуговому зварюванні проводять за діаметром електрода і допустимою густиною струму. Для наближених розрахунків зварювальний струм визначають за формулою:

$$I_{C3} = K \cdot d_e, \quad (4.19)$$

де K - коефіцієнт густини струму, що приймається залежно від d_e , А/мм (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 – Залежність коефіцієнта густини струму від діаметра електрода

D_e , мм	1,6...2	3...4	5...6
k , А/мм	30	45	60

Під час зварювання вертикальних швів d_e не повинен перевищувати 5 мм, I_{C3} знижують на 15...20 %. Під час зварювання стельових швів d_e не повинен перевищувати 4 мм, I_{C3} знижують на 20...25 %.

Якщо товщина металу $S \leq 1,5 \cdot d_e$, то I_{C3} зменшують на 10...15 %.

Якщо товщина металу $S \geq 3 \cdot d_e$, то I_{C3} збільшують на 10...15 %.

Відомості про електроди

Електроди класифікують за такими ознаками: матеріалом, призначенням, товщиною покриття, видом покриття, властивостями металу шва, родом і полярністю струму, допустимим просторовим положенням.

За призначенням електроди поділяють на такі групи:

У - для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей;

Л - для зварювання легованих конструкційних сталей;

Т - для зварювання легованих теплостійких сталей;

В - для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями;

Н - для наплавлення поверхневих шарів.

За товщиною покриття залежно від відношення діаметра електрода D (мм) до діаметра стрижня d (мм):

М - з тонким покриттям $D / d < 1,2$;

С - із середнім покриттям $1,2 \leq D / d \leq 1,45$;

Д - з товстим покриттям $1,45 \leq D / d \leq 1,8$;

Г - з особливо товстим покриттям $D / d \geq 1,8$.

За видом покриття:

М - з кислим покриттям. Використовуються для зварювання як на постійному, так і на змінному струмі;

Б - з основним покриттям, для зварювання на постійному струмі зворотної полярності;

Ц - з целюлозним покриттям, основні компоненти якого створюють газове захисне середовище. Застосовуються для зварювання сталей малої товщини;

Р - з рутиловим покриттям, основний компонент рутил (TiO_2), для зварювання на постійному і змінному струмі. Забезпечують гарне формування швів у всіх просторових положеннях;

П - інші види покриттів;

Ж - покриття містить залізний порошок понад 20 %.

Загальне призначення електродних покриттів - забезпечення стабільності горіння зварювальної дуги та отримання металу шва із заданими властивостями (міцність, пластичність, ударна в'язкість, стійкість проти корозії, зносостійкість тощо).

Якісне електродне покриття повинне містити такі компоненти: іонізувальні, газоутворювальні, розкислювальні, шлакоутворювальні, легувальні та сполучні.

Промисловість випускає сотні різноманітних електродів. Для зварювання вуглецевих і легованих сталей випускається 9 типів електродів: E38, E42, E42A, E46, E46A, E50, E50A, E55, E60.

Для зварювання легованих конструкційних сталей - 5 типів: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Цифра після літери Е вказує гарантовану межу міцності металу шва в кг/мм², буква А вказує, що метал шва має підвищену пластичність.

Кожному типу електродів відповідає кілька марок.

Умовні позначення електродів

Електроди, поряд з позначеннями за типом (E42, Э46, Э50 та ін) і марки (ОЗС-4, АНО-4, ТМЛ-1У та ін) мають універсальне умовне позначення у вигляді дробу, яке дає повні відомості про характеристики електрода.

Для прикладу розглянемо електрод ОЗС-23, має позначення:

$$\frac{\text{Э42} - \text{ОЗС} - 23 - \emptyset - \text{УД}}{\text{Е410} - \text{Р23}}$$

в якому:

Е42 – тип електрода;

ОЗС-23 – марка електрода;

Ø – знак діаметра;

У – для зварювання вуглецевих і низьковуглецевих конструкційних сталей;

Д – з товстим покриттям; крім цього, можуть бути позначення:

Е – для ручного дугового зварювання; позначення для інших видів зварювання:

410 – група індексів, що вказують характеристики металу шва і наплавленого металу;

Р – вид покриття електрода (рутиловое);

2 – позначення допустимих просторових положень зварювання або наплавлення;

3 – позначення роду струму, полярності, номінальної напруги холостого ходу джерела змінного струму.

Зміст звіту

До звіту необхідно включити: письмові відповіді на контрольні запитання, основні принципові схеми видів зварювання, джерел живлення зварювальної дуги. Візуально визначити якість зразків зварних з'єднань, описати виявлені дефекти. За завданням викладача виконати розрахунки з визначення діаметра електрода і сили зварювального струму для конкретних умов зварювання.

Таблиця 4.8 - Перелік індивідуальних завдань студентам

Варіант	Конкретні умови зварювання
1	Кутове з'єднання з катетом шва 6 мм, шов вертикальний
2	Стикове з'єднання в нижньому положенні при товщині металу 5 мм
3	Стикове з'єднання в нижньому положенні при товщині металу 20 мм
4	Стикове з'єднання при товщині металу 15 мм, шов вертикальний
5	Нахлесточне з'єднання в нижньому положенні при товщині металу 6 мм
6	Стикове з'єднання з товщиною металу 8 мм, шов стельовий
7	Стикове з'єднання з товщиною металу 10 мм, шов вертикальний
8	Стикове з'єднання в нижньому положенні при товщині металу 1 мм
9	Стикове з'єднання в нижньому положенні при товщині металу 3 мм
10	Кутове з'єднання з катетом шва 8 мм, шов стельовий
11	Стикове з'єднання з товщиною металу 10 мм, шов стельовий
12	Напускне з'єднання з товщиною металу 10 мм, шов вертикальний
13	Стикове з'єднання з товщиною металу 2 мм, шов вертикальний
14	Таврове з'єднання в нижньому положенні з катетом шва 5 мм
15	Стикове з'єднання з товщиною металу 1 мм, шов вертикальний
16	Напускне з'єднання з товщиною металу 8 мм, шов стельовий
17	Стикове з'єднання з товщиною металу 3 мм, шов вертикальний
18	Таврове з'єднання з катетом шва 10 мм, шов стельовий
19	Кутове з'єднання з катетом шва 12 мм, шов вертикальний

Контрольні питання

1. Що таке зварювання?
2. Чим відрізняється ручне дугове зварювання від напівавтоматичного й автоматичного?
3. Які Ви знаєте джерела змінного струму?
4. Які Ви знаєте джерела постійного струму?
5. Які фізичні та хімічні процеси протікають під час утворення зварного з'єднання?
6. Які бувають дефекти в зварних з'єднаннях?
7. Що таке зварювальна дуга?
8. Які основні види руху електрода в процесі зварювання?
9. Назвіть ознаки класифікації зварних швів.
10. Яке призначення електродних покриттів?

11. Які компоненти повинні входити до якісного електродного покриття?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 4

1. Позначення електродів із тонким покриттям:

- а) Г;
- б) Д;
- в) М;
- г) С.

2. Позначення електродів із кислим покриттям:

- а) А;
- б) Б;
- в) Р;
- г) Ц.

3. Позначення електродів із середнім покриттям:

- а) Г;
- б) Д;
- в) М;
- г) С.

4. Позначення електродів з основним покриттям:

- а) А;
- б) Б;
- в) Ж;
- г) Р.

5. Позначення електродів з товстим покриттям:

- а) Г;
- б) Д;
- в) М;
- г) С.

6. Позначення електродів з рутиловим покриттям:

- а) А;
- б) Б;
- в) Р;
- г) Ц.

7. Позначення електродів з особливо товстим покриттям:

- а) Г;
- б) Д;

- в) М;
- г) С.

8. Позначення електродів із целюлозним покриттям:

- а) А;
- б) Б;
- в) Р;
- г) Ц.

9. Зварювання плавленням, за якого нагрівання зварюваних крайок здійснюється теплотою електричної дуги:

- а) дугове зварювання;
- б) дифузійне;
- в) контактне;
- г) ультразвукове.

10. Зварювання, яке належить до термомеханічного класу:

- а) дифузійне;
- б) плазмове;
- в) ультразвукове;
- г) електрошлакове.

11. Зварювання, яке належить до термічного класу:

- а) дифузійне;
- б) вибухом;
- в) контактне;
- г) плазмове.

12. Зварювання, яке належить до механічного класу:

- а) газове;
- б) індукційне;
- в) ультразвукове;
- г) електронно-променеве.

13. Вид з'єднання, за якого торець одного елемента примикає до поверхні іншого елемента зварної конструкції під деяким кутом (найчастіше під прямим):

- а) напускне;
- б) стикове;
- в) таврове;
- г) кутове.

14. Вид з'єднання, яке застосовують у зварних конструкціях із листового металу і під час стикування куточків, швелерів, двотаврів і

труб:

- а) напускне;
- б) стикове;
- в) таврове;
- г) кутове.

15. Вид з'єднання, яке здійснюється взаємним перекриттям крайок зварюваних виробів:

- а) напускне;
- б) стикове;
- в) таврове;
- г) кутове.

16. Вид з'єднання, яке широко застосовують під час дугового зварювання балок, колон, стійок, каркасів ферм та інших конструкцій:

- а) напускне;
- б) стикове;
- в) таврове;
- г) кутове.

17. Вид з'єднання, яке застосовують під час зварювання різних коробчастих виробів, резервуарів і ємностей із металу товщиною 1...100 мм:

- а) напускне;
- б) стикове;
- в) таврове;
- г) кутове.

18. Процес видалення з рідкої зварювальної ванни оксидів:

- а) легування;
- б) окислення;
- в) розкислення;
- г) рафінування.

19. Процес підвищення механічних властивостей зварного шва і поповнення вигорілих під час зварювання елементів основного металу:

- а) легування;
- б) окислення;
- в) розкислення;
- г) рафінування.

20 Процес очищення зварного шва від сірки та фосфору:

- а) легування;
- б) окислення;
- в) розкислення;
- г) рафінування.

21. Основний недолік автоматичного зварювання під флюсом:

- а) низька продуктивність;
- б) обмежена маневреність;
- в) погана якість зварного шва;
- г) підвищена витрата електроенергії.

22. Електрод, який застосовується в дуговому зварюванні за Бенардосом:

- а) біметалічний;
- б) металевий;
- в) комбінований;
- г) вугільний.

23. Електрод, який застосовується в дуговому зварюванні за Славяновим:

- а) біметалічний;
- б) металевий;
- в) комбінований;
- г) вугільний.

24. Як класифікують сталі за групами зварюваності?

- а) добре зварювані
- б) задовільно зварювані
- в) обмежено зварювані
- г) погано зварювані

25. Що означають літери і цифри в типах електродів - E48; E60; E50A; E70?

- а) E48 - електрод з опором металу шва на розрив 480 МПа
- б) E60 - електрод з опором металу шва на розрив 600 МПа
- в) E50A - електрод з опором металу шва на розрив 500 МПа, знижений вміст сірки і фосфору.
- г) E70 - електрод з опором металу шва на розрив 700 МПа

ТЕМА 5. ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО (продовження)

План

- 5.1 Автоматичне зварювання під флюсом
- 5.2 Плазмове зварювання та різання металів і сплавів
- 5.3 Газове зварювання та різання металів і сплавів

5.1 Автоматичне зварювання під флюсом

Зварювання під флюсом - це дугове зварювання, за якого електрична дуга горить під шаром зварювального флюсу, що забезпечує захист зварювальної ванни від повітря [1,2,3].

Основне застосування знаходить зварювання під флюсом одним вертикально розташованим електродним дротом суцільного перерізу (рисунок 5.1).

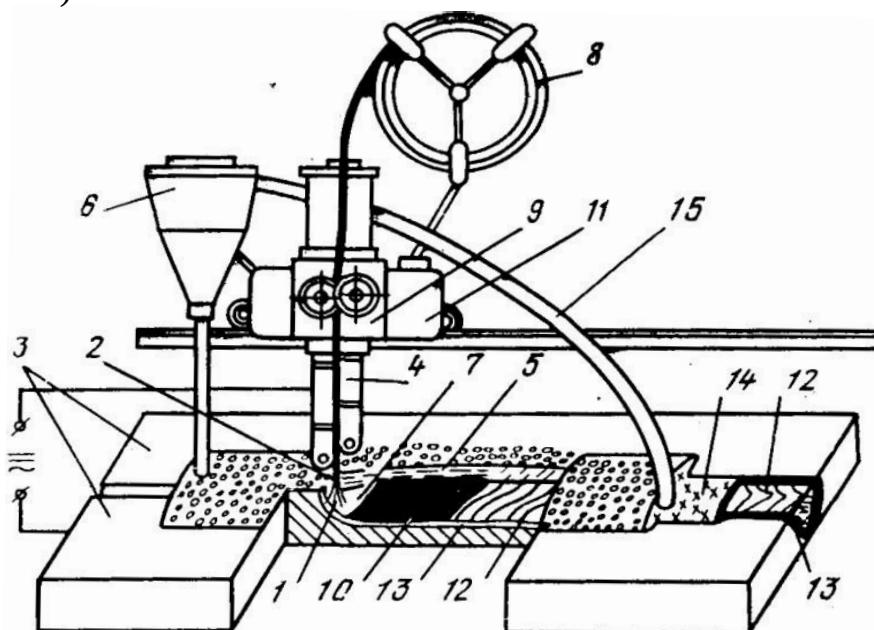


Рисунок 5.1 – Схема автоматичного зварювання під шаром флюсу:

- 1 - електрична дуга; 2 - електродний дріт; 3 - основний метал;
- 4 - мундштук; 5 - шар флюсу; 6 - флюс-апарат; 7 - прошарок рідкого шлаку;
- 8 - бухта електродного дроту; 9 - зварювальна голівка; 10 - зварювальна ванна;
- 11 - візок для переміщення зварювальної голівки; 12 - зварений шов;
- 13 - зона термічного впливу; 14 - шлакова кірка; 15 - шланг для повернення флюсу до флюс-апарату.

Електрична дуга 1 збуджується і горить між кінцем голого електродного дроту 2 і зварюваним виробом 3 під шаром флюсу, що подається з бункера флюс-апарата 6. Під дією теплової дуги плавиться основний метал і електродний дріт, а також частина флюсу, що знаходиться в зоні горіння дуги. Розплавлений флюс, внаслідок значно меншої густини, спливає на поверхню рідкого металу і покриває його

щільним шаром 5. Зварювальна дуга горить в ізолюваному просторі, склепінням якого є прошарок 7 з рідкого шлаку.

Розплавлений флюс 5, що має нижчу температуру плавлення, ніж метал, твердне пізніше, сповільнюючи охолодження металу шва 12.

Повільне охолодження і кристалізація на поверхню шва під флюсом сприяє виходу на поверхню металу всіх механічних включень і розчинених газів, що дає змогу отримати чистий, щільний і однорідний за хімічним складом шов.

Режим автоматичного зварювання під флюсом визначається силою струму, напрямком і довжиною дуги. Сила зварювального струму перебуває в межах 1000...1200 А, що неможливо за відкритої дуги. Зварювання ведуть короткою дугою. Сучасні апарати підтримують відхилення довжини дуги в межах $\pm 0,2...0,3$ мм. Напруга коливається в межах 18...55 В.

Підведення струму до електричного дроту й орієнтацію його кінця щодо зварюваних крайок здійснюють мундштуком 4. Основними компонентами, що входять до складу флюсу, є марганцева руда, кварцовий пісок, крейда, плавиковий шпат (CaF_2), глинозем, феросплави.

Для автоматичного зварювання застосовують плавлені та не плавлені флюси. Плавлені флюси отримують плавленням компонентів. Не плавлені флюси являють собою механічні суміші подрібнених компонентів. Величина гранул флюсу перебуває в межах 0,3...3,0 мм. Більш ніж на 70 % флюси складаються з SiO_2 і MnO .

За характером шлаку 14, що утворюється, розрізняють кислі й основні флюси, а за призначенням - для зварювання вуглецевих сталей, легованих сталей, кольорових металів, для наплавлення поверхневих шарів. Найбільше застосування знайшли флюси марок АН-348А, ОСЦ-45, АВ-5 та інші, в яких основою служать оксиди марганцю і кремнію. Додатково у флюси додають компоненти для підвищення рідини шлаків (CaF_2), стабілізації горіння дуги (CaO , MgO) і легувальні елементи. Наплавлений і невикористаний у процесі зварювання шар флюсу пневматичним шлангом 15 подається в бункер флюс-апарата 6.

Розплавлений флюс не тільки захищає зварювальну ванну 10 від впливу азоту і кисню повітря, а й здійснює металургійну обробку металу, тобто розкислює і легує метал шва. Наприклад, марганець не тільки відновлює оксиди заліза, а й утворює сульфід MnS , видаляє сірку з металу шва в шлак.

Під час зварювання під шаром флюсу використовують джерела живлення змінного і постійного струму з падаючою характеристикою:

- ◆ трансформатори ТДФ-1001, ТДФ-1601, ТШС - 1000-3;
- ◆ перетворювачі ПСО-300, ПСГ-50
- ◆ випрямлячі ВДУ-1001, ВДУ-504 та ін.

Зварювання під флюсом має такі *переваги*:

1. Висока продуктивність зварювання, що перевищує в 5-10 разів ручне дугове зварювання. Це досягається використанням більшої сили зварювального струму (1000...1200А), що неможливо при відкритій дузі.
2. Висока якість зварного шва, внаслідок хорошого захисту зварювальної ванни від повітря, розкислення і легування металу шва, а також повільного охолодження.
3. Економія електродного металу. Втрати металу на чад, розбризкування і недогарки при ручному зварюванні становлять 20...30 %, при зварюванні під флюсом ці втрати не перевищують 2...5 %.
4. Економія електроенергії за рахунок повного використання теплоти дуги. Витрати на електроенергію зменшуються на 30...40 %.
5. Поліпшення умов праці, оскільки дуга закрита шаром шлаку і флюсу, горить в ізольованому просторі, виділення газів значно знижено. Відпадає необхідність у використанні захисних щитків і примусової вентиляції.

До *недоліків* зварювання під флюсом належать:

1. Висока початкова вартість обладнання для зварювання під флюсом.
2. Складність корекції положення дуги щодо кромek деталей.
3. Невидимість зони зварювання створює підвищені вимоги до якості підготовчих операцій.
4. Флюс є джерелом пилу.

5.2 Плазмове зварювання та різання металів і сплавів

Під час плазмового зварювання джерелом енергії для нагріву металу слугує плазма, яка являє собою значно іонізований і нагрітий газ.

Плазма - це суміш електрично нейтральних молекул газу і електрично заряджених частинок, негативних електронів і позитивних іонів.

Наявність електрично заряджених частинок робить плазму чутливою до впливу електричних полів.

Плазма відрізняється від звичайного газу низкою властивостей та особливостей, які, своєю чергою, дають змогу її вважати четвертим (після твердого, рідкого та газоподібного) агрегатним станом речовини. Зокрема, для плазми характерна активна взаємодія з електричними та магнітними полями, зумовлена її високою електричною провідністю. Плазма є найпоширенішим станом речовини в космосі. Сонце, зірки і деякі міжзоряні хмари, що мають високу температуру, складаються з плазми.

Технологічно струмінь плазми близький до газозварювального полум'я, але має вищу температуру.

Плазмовим струменем або факелом можна здійснювати різні види обробки: зварювання, різання, напильовання, паяння, термообробку металів тощо. Плазмою можна обробляти як метали, так і неметалеві матеріали -

скло, кераміку та інші полімери.

Плазма може бути отримана різними способами, найпростіший і найпоширеніший - це нагрівання газу в дуговому розряді. Для отримання плазми співвісно стовпу дуги (рисунок 5.2), що горить між катодом і анодом у вузькому каналі мідного сопла 3 спеціального плазмового пальника, що водо-охолоджується, пропускають потік газу (чистий аргон, суміш аргону (20%) і гелію (80%); суміш аргону (50%) і водню (50%); суміш аргону (50%) і азоту (50%)).

Канал електрично ізолюваний від сопла й електрода. При збільшенні сили струму стовп дуги в обмеженому просторі сопла розширюватися не може. Газ, проходячи через сопло, стискає стовп дуги, іонізується і виходить із сопла у вигляді струменя, що яскраво світиться, тобто плазми з температурою до 30000 °С.

Практично весь газ, що проходить крізь стовп стиснутої дуги, іонізується і перетворюється на плазму.

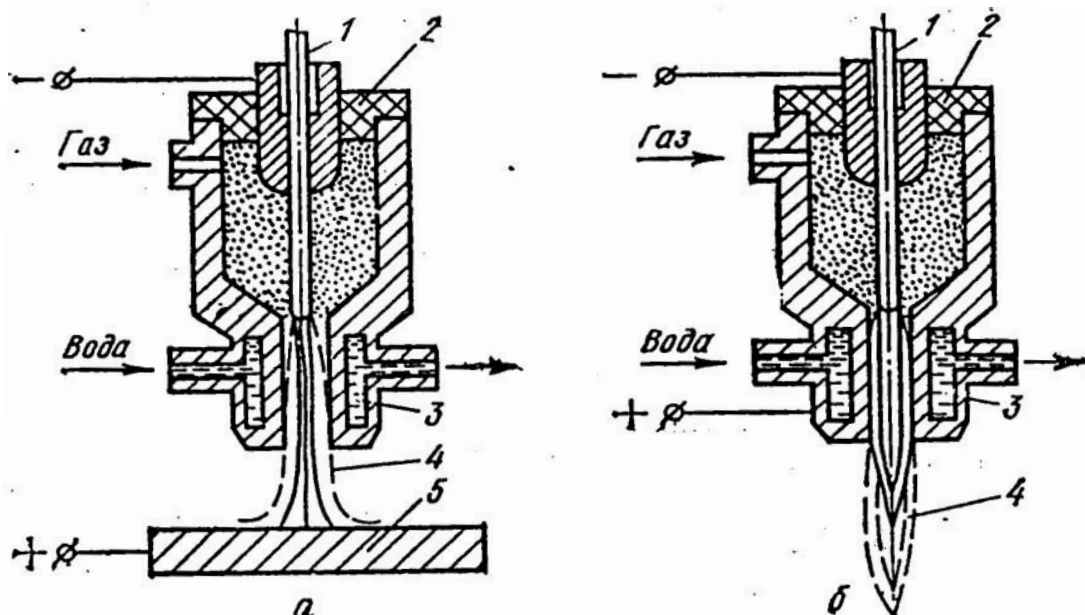


Рисунок 5.2 – Схеми дугових плазмових пальників:

а - прямої дії; б - непрямої дії; 1 - вольфрамовий електрод; 2 - втулка ізоляційна; 3 - сопло; 4 - плазмовий струмінь; 5 - виріб.

Розрізняють плазмову дугу прямої та непрямої дії. Дуга 4 прямої дії (рисунок 5.2а) горить між вольфрамовим електродом 1 (катодом) і виробом 5 (анодом). Дуга непрямої дії (рисунок 5.2б) горить між вольфрамовим електродом 1 і мідним соплом 3 пальника. Іонізований газовий потік видувається із сопла пальника у вигляді яскравого концентрованого полум'я 4. Плазмовою дугою зварюють вуглецеві та леговані сталі, неіржавіючі сталі, тугоплавкі та кольорові метали, а також неметалеві матеріали.

Іншим способом отримання плазми є пропускання потоку газу через індуктор, що живиться струмами високої частоти. Газ нагрівається до високих температур вихровими струмами, що виникають у потоці газу, який переходить у стан плазми.

Технологія плазмового зварювання та різання металів і сплавів плазмотроном «Мультиплаз 2500»

Плазмотрон призначений для різання різних конструкційних матеріалів (металевих і неметалевих), для зварювання і паяння чорних і кольорових металів і сплавів, а також для наплавлення поверхневих шарів. У технологічному і функціональному відношенні застосування плазмотрона поєднує два види зварювання - електричне дугове і газокисневе.

Технологія проведення зварювальних робіт з використанням плазмотрона в режимі «плазмового зварювання» аналогічна з технологією звичайного газового зварювання. Відмінність полягає в тому, що для отримання високотемпературного факела необхідні електрика і вода, а не газові балони або ацетиленовий генератор. При плазмовому зварюванні або пайці застосовуються ті ж присадки, флюси і припої, що і при звичайному газовому зварюванні.

Технічна характеристика плазмотрона

Напруга мережі живлення (однофазна) - 220 В

Частота струму - 50 Гц

Споживана потужність (не більше) - 2500 Вт

Габаритні розміри блока живлення - 325x170x115, мм

Маса блока живлення - 5,5 кг

Маса плазмового пальника - 0,7 кг

Температура полум'я - 8000 °С

Витрата робочої рідини (вода або вода-спирт) - 0,25 л/год

Напруга холостого ходу - 48 В.

Блок живлення інверторного типу з примусово-повітряним охолодженням виконує функції стабілізатора струму і має похило падаючу вихідну характеристику. Стійка стабілізація струму електричної дуги в плазмовому пальнику за номінальної напруги мережі (220В) здійснюється в діапазоні вихідних напруг від 80 до 220 вольт.

Плазмовий пальник виконаний у формі пістолета (рисунок 5.4). Пальник приєднується до блока живлення за допомогою електричного кабелю. Блок живлення підключається до однофазної мережі через заземлену розетку.

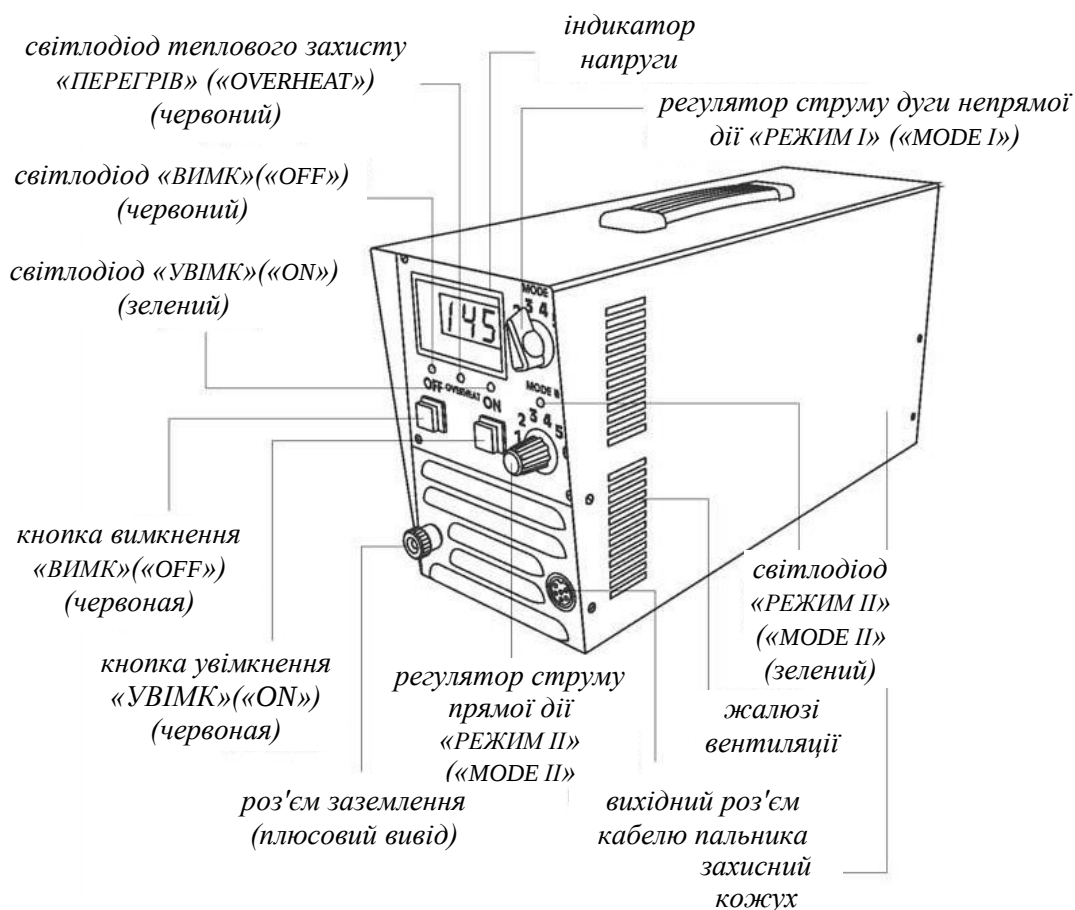


Рисунок 5.3 – Блок живлення плазмотрона «Мультиплаз 2500»

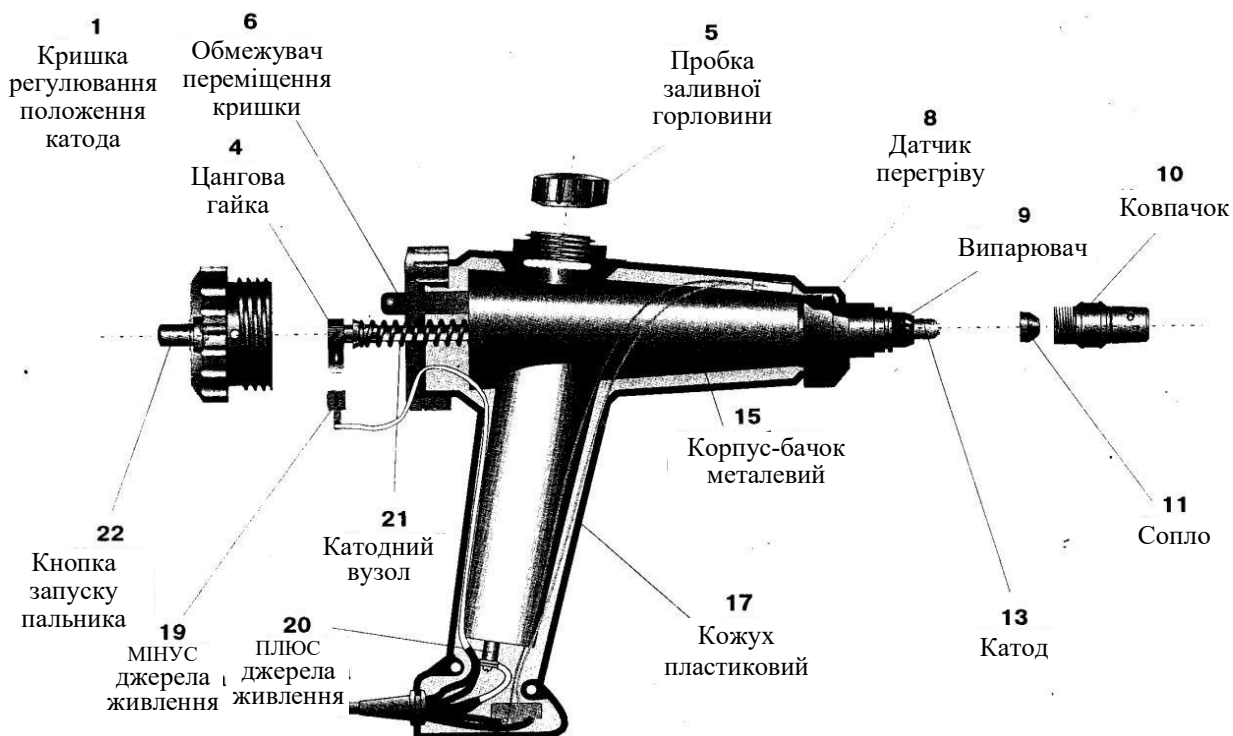


Рисунок 5.4 – Плазмовий пальник плазмотрона «Мультиплаз 2500»

Усі вузли плазмового пальника розташовуються в пластмасовому корпусі, що складається з двох боковин 17.

Металевий корпус-бочок 15 заповнений волого-поглинаючим матеріалом. Рухомий катодний вузол 21, на який через контакт 19 подається негативна напруга, складається з катодотримача, в передню частину якого угвинчується змінний катод 13. Сопло-анод 11 і катод 13 утворюють розрядну камеру, всередині якої за рахунок енергії електричної дуги пари робочої рідини нагріваються до температури утворення плазми.

Запуск плазмового пальника, попередньо заправленого робочою рідиною, здійснюється в такій послідовності:

1. Встановити перемикач РЕЖИМ I (MODE I) в положення 5.
2. Обертаючи кришку механізму керування катодом, встановити вільний хід пускової кнопки близько 3 мм.
3. Натиснути кнопку ON на панелі блока живлення, після чого має загорітися світлодіод над кнопкою ON, а показання індикатора мають перебувати в межах від 200 до 350 В.

Протягом 5 секунд після натискання кнопки ON натиснути до упору пускову кнопку пальника і відразу відпустити її. Показання індикатора повинні встановитися в межах від 30 до 70 В. Через кілька секунд після натискання пускової кнопки з сопла пальника з'являється факел, а напруга збільшується до 120...140 В. Після прогрівання пальника факел стає коротшим (20...30 мм) і набуває помаранчевого або фіолетового відтінку, що свідчить про те, що пальник готовий до роботи. Під час натискання на кнопку рухомий катодний вузол переміщається вперед і впирається наконечником-катодом у сопло-анод, тобто відбувається коротке замикання. Під час відпускання кнопки катодний вузол під дією поворотної пружини відходить від сопла-анода, і в розриві виникає електрична дуга.

Під дією теплової енергії дуги робоча рідина перетворюється на пару, яка під тиском спрямовується до вихідного отвору в соплі-аноді.

У вузькому перетині вихідного отвору пара обтискає електричну дугу з усіх боків і центрує її, не даючи замкнутися на бічні стінки. Під час взаємодії з електричною дугою частина водяної пари перетворюється на плазму, температура якої досягає 8000 °С.

У плазмотроні реалізовано два види робіт:

Режим «непрямої» дуги, в якому дуга горить між катодом і соплом-анодом. Такий режим називається «плазмовим».

Режим «прямої» дуги, в якому дуга горить між катодом і виробом. Такий режим називається «плазмово-дуговим».

Увімкнення «плазмово-дугового» режиму здійснюється потенціометром «РЕЖИМ II (MODE II)», яким і регулюється сила струму в цьому режимі.

Сила струму в плазмовому режимі регулюється перемикачем «РЕЖИМ I (MODE I)».

Робота в режимі різання

Як робоча рідина під час різання використовується вода. Для різання застосовується сопло з діаметром отвору від 1,0 до 1,1 мм. У «плазмовому» режимі забезпечується різання як металевих, так і неметалевих матеріалів. У «плазмово-дуговому» режимі здійснюється різання тільки металів (електропровідних матеріалів).

Робота в режимі зварювання

Як робоча рідина під час зварювання і паяння використовується 45 %-ва суміш води зі спиртом. При зварюванні застосовується сопло з діаметром отвору від 2,0 до 2,3 мм. Можна використовувати сопла, що виробили свій ресурс, для різання. Для цього потрібно просвердлити і зробити фаску діаметром 3,0 мм.

Зварювання проводять як у «плазмовому», так і в «плазмово-дуговому» режимах. Під час зварювання в «плазмовому» режимі потенціометр «MODE II» встановлюється в крайнє ліве положення.

Під час зварювання в обох режимах використовується зварювальний дріт Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-10ГС, Св-12ГС тощо.

Під час зварювання алюмінію використовують флюси Ф-34А, ФА-40, АФ-4А і відповідні присадочні матеріали.

У таблицях 5.1 і 5.2 наведено технологічні параметри за різних режимів зварювання.

Границі напруги встановлюються за допомогою керування катодом.

Таблиця 5.1 – Зварювання в «плазмово-дуговому» режимі

Товщина листа, мм	Положення вимикача		Границі напруги, В
	MODE I	MODE II	
2,0...3,0	3	4	140...160
3,0...4,0	3	5	140...160
4,0...5,0	3	6	140...160
5,0...10,0	4	max	140...160

Таблиця 5.2 – Зварювання в «плазмовому» режимі

Товщина листа, мм	MODE I	Межі напруги, В
До 0,8	1	160...180
0,8...1,2	2	160...180
1,2...2,0	3	160...180
2,0...3,0	4	160...180
3,0...4,0	5	160...180
4,0...6,0	6	160...180

Техніка безпеки під час роботи на портативному плазмотроні «Мультиплаз 2500»

1. Під час роботи в «плазмовому» режимі в обов'язковому порядку застосовують захисні окуляри з темним склом, а під час роботи в

«плазмово-дуговому» режимі - маску зварювальника.

2. Забороняється використовувати апарат без заземлення мережевої розетки.

3. Не вмикати пальник поблизу легкозаймистих предметів і рідин.

4. Не проводити зварювання, різання, пайку або нагрівання відкритим полум'ям посудин і трубопроводів, заповнених горючими або отруйними речовинами.

5. Не розбирати пальник без вимкнення блока живлення.

6. Не заливати робочу рідину в увімкнений пальник.

7. Не опускати пальник у воду при увімкненій напрузі.

8. Особам, які не досягли 18-річного віку, забороняється робота з плазмотроном.

9. Забороняється зварювання, різання і паяння пофарбованих і оцинкованих металів у непровітрюваних приміщеннях.

10. Забороняється застосування присадного дроту катодного тримача і без рукавичок зварника.

11. Забороняється експлуатація плазмотрона в приміщеннях з металевою або сирою підлогою без застосування ізолюючого килимка для ніг.

12. Обробляти пальником свіжопофарбовані конструкції.

13. Працювати в одязі з плямами горючих речовин.

14. Працювати з предметами, заповненими небезпечними речовинами, льодом, а також такими, що перебувають під тиском або електричною напругою.

15. Працювати з пофарбованими та оцинкованими матеріалами, з флюсами в непровітрюваному приміщенні.

16. Порушувати «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) і вимоги стандартів системи безпеки праці за ДСТУ 2456-94.

17. Користуватися мережевою розеткою без заземлення.

18. Працювати на металевій і сирій підлозі без ізолюючого килимка для ніг.

19. Встановлювати блок живлення і пальник, що працює, на поверхню з нахилом більше 10° без фіксаторів від перекидання.

20. Працювати в запорошених приміщеннях і приміщеннях, де ведеться абразивна обробка металів.

3.3 Газове зварювання та різання металів і сплавів

Газовим зварюванням називається зварювання плавленням, під час якого нагрівання кромek частин, що з'єднуються, і присадного матеріалу здійснюється теплотою згоряння горючих газів у кисні.

Газове зварювання класифікується за видом застосовуваного пального газу (ацетилено-кисневе, воднево-кисневе, газово-кисневе, бензино-кисневе, пропан-бутано-кисневе та ін.).

Найбільшого застосування набуло *ацетилено-кисневе* газове зварювання.

Зварювальний пост (рисунок 5.5) повинен бути оснащений таким обладнанням і пристосуваннями:

1. Ацетиленовий генератор або балон із горючим газом.
2. Кисневий балон.
3. Редуктори (кисневий і для горючого газу).
4. Зварювальний пальник із набором змінних наконечників.
5. Шланг для подачі горючого газу і кисню в пальник.
6. Зварювальний стіл.
7. Присадковий матеріал.
8. Пристосування для складання зварюваних виробів (струбцини, лещата тощо).
9. Комплект інструментів.
10. Окуляри із захисними стеклами.
11. Спецодяг для зварника.
12. Протипожежне обладнання.

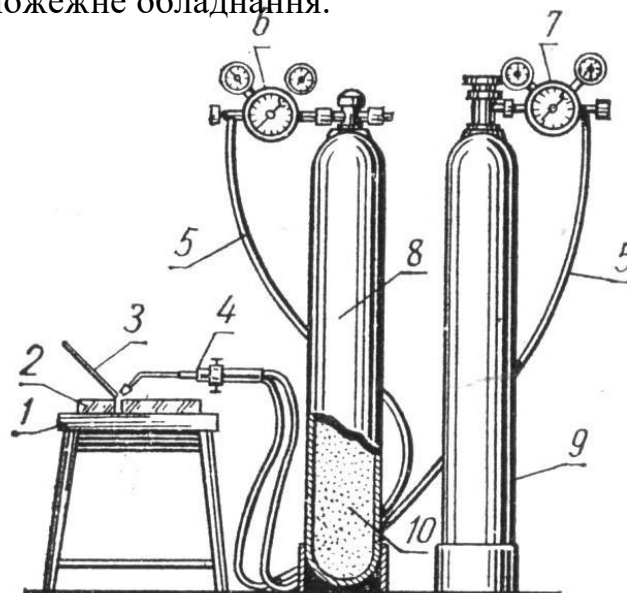


Рисунок 5.5 – Пост газового зварювання:

- 1 - стіл; 2 - деталі, що зварюються; 3 - присадний матеріал; 4 - пальник;
 5 - шланги; 6 - ацетиленовий редуктор; 7 - кисневий редуктор;
 8 - ацетиленовий балон; 9 - кисневий балон; 10 - пориста маса

Порівняно з електричним, газове зварювання менш продуктивне, але має і свої переваги. Газове зварювання широко застосовується при виготовленні та ремонті виробів з тонколистової сталі (1 ... 3 мм); під час монтажу труб малого і середнього діаметру; під час зварювання виробів з кольорових металів і сплавів; під час наплавлення твердих сплавів на сталеві і чавунні деталі.

Затребуваність газового зварювання зумовлена низкою причин, головними з яких є висока мобільність і автономність, можливість

одержання зварних з'єднань практично всіх марок сталей, кольорових металів і сплавів, відносна дешевизна газового обладнання.

Як зазначалося вище, найширшого застосування набуло ацетилено-кисневе газове зварювання, оскільки температура полум'я при спалюванні ацетилену в кисні становить 3150 °С, бензину - 2600 °С, гасу - 2500 °С, водню - 2100 °С, пропан-бутанової суміші - 2400 °С, природного газу - 2000 °С.

Розглянемо компоненти ацетилено-кисневого полум'я.

Кисень є найпоширенішим у природі хімічним елементом, це газ без кольору і запаху, не горить, але активно підтримує горіння. Густина кисню за нормальних умов становить 1,33 кг/м³, він трохи важчий за повітря, густина якого - 1,29 кг/м³.

Отримують кисень із повітря, яке переводять у рідкий стан, потім поступово підвищують температуру і при -195,8 °С випаровують азот. Температура кипіння (випаровування) кисню на 13 °С вища, тобто -182,9 °С.

Рідкий кисень очищають, потім за допомогою газифікаторів або насосів із випаровувачами перетворюють на газ, який збирається в газгольдері, звідки його компресором накачують у балони під тиском до 15 МПа. Для зварювання та різання технічний кисень випускають трьох сортів: 1-й - з чистотою не менше 99,7 %, 2-й - не менше 95,5 %, 3-й - не менше 99,2 % за об'ємом.

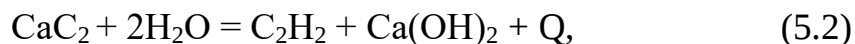
Чистота кисню має велике значення для кисневого різання. Чим чистіший кисень, тим вища швидкість різку, чистіші кромки і менша витрата кисню.

Ацетилен отримують під час взаємодії карбіду кальцію з водою. Він являє собою хімічну сполуку вуглецю з воднем (C₂H₂), безбарвний газ із характерним запахом, густина ацетилену становить 1,09 кг/м³. Карбід кальцію - це хімічна сполука кальцію з вуглецем. Його отримують сплавленням коксу з негашеним вапном в електричних дугових печах за температури 1900...2300 °С:



Реакція ендотермічна, йде з поглинанням тепла. Розплавлений карбід кальцію зливають з печі в спеціальні виливниці, в яких він остигає і твердне, після чого його дроблять і сортують на шматки від 2 до 80 мм. Карбід кальцію дуже активно вступає в реакцію з водою, реагуючи навіть із парами води, що насичують повітря. Тому його зберігають і транспортують у герметично закритих сталевих барабанах, що містять 50...130 кг карбіду.

Реакція розкладання карбіду кальцію у воді з утворенням газоподібного ацетилену і гашеного вапна протікає бурхливо, має екзотермічний характер, йде зі значним виділенням тепла:



При розкладанні 1 кг карбіду кальцію залежно від його сорту і грануляції утворюється 230...300 літрів ацетилену. Слід зазначити, що дрібний і пилоподібний карбід кальцію (шматки менше ніж 2 мм) забороняється застосовувати в ацетиленових генераторах, внаслідок миттєвого розкладання і гарантованого вибуху.

Ацетилен вибухонебезпечний, він утворює вибухонебезпечні суміші з повітрям і киснем у широкому діапазоні концентрацій. Найбільш вибухонебезпечні суміші, що містять 7...13 % ацетилену. Вибухонебезпечність ацетилену знижується при розчиненні в рідині. Він дуже добре розчиняється в ацетоні, за нормальних умов в одному об'ємі технічного ацетону розчиняється понад 20 об'ємів ацетилену. Тому споживачеві ацетилен поставляють у сталевих балонах, заповнених просоченою ацетоном масою, під тиском 1,9 мПа.

Газові балони, вентилі та редуктори

Балони для газів (пального і кисню) виготовляють зі сталевих безшовних труб. Вони являють собою циліндричну посудину з опуклим днищем і вузькою горловиною. Для додання балону стійкості в робочому (вертикальному) положенні на його нижню частину напресований черевик із квадратною основою. На горловину балона щільно насаджено кільце із зовнішнім різьбленням для нагвинчування запобіжного ковпака.

Горловина балона має конусний отвір із різьбленням, куди угвинчується вентиль - пристрій, що дає змогу наповнювати балон газом і регулювати його витрату. Для різних газів розроблено певну конструкцію запірного вентиля. Різне різьблення хвостовика унеможливило встановлення на балон вентиля, який не відповідає йому.

Вентиль кисневого балона виготовляють із латуні, оскільки вона має високу корозійну стійкість у середовищі кисню. Випускають вентилі двох модифікацій (рисунок 5.6).

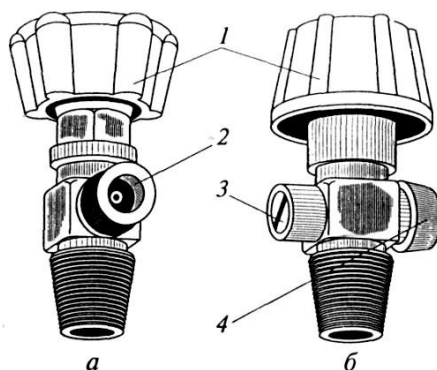


Рисунок 5.6 – Вентилі кисневих балонів:

1 - маховик; 2 - штуцер; 3 - мембрана; 4 - заглушка штуцера;
а - ВК-94; б - ВК-94М

Вентилі типу ВК-94 не мають розривної запобіжної мембрани. Вентиль типу ВК-94М - із розривною мембраною, що оберігає балон від розриву в разі підвищення тиску до значення понад 30 мПа. Перед роботою всі деталі кисневого вентиля мають бути ретельно знежирені, щоб уникнути самозаймання.

Вентиль ацетиленового балона виготовляють зі сталі (рисунок 5.7). Застосування сплавів міді з її вмістом понад 70 % є неприпустимим, оскільки під час контакту з ацетиленом виникає вибухонебезпечна ацетилениста мідь.

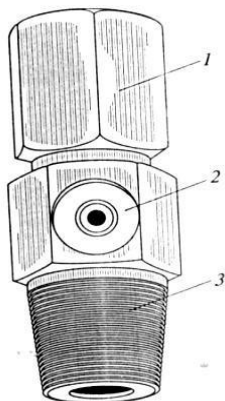


Рисунок 5.7 – Вентиль ацетиленового балона:

- 1 - штуцер для торцевого ключа; 2 - місце приєднання редуктора;
3 - хвостовик із конусною різьбою

Відмінною особливістю вентиля ацетиленового балона є відсутність маховика і штуцера. У корпусі вентиля є бічна канавка, в яку встановлюють штуцер ацетиленового редуктора, притискаючи його спеціальним хомутом через шкіряну прокладку. Така конструкція вентиля не допускає випадкового встановлення іншого редуктора, щоб уникнути утворення вибухонебезпечної суміші. Ще одна відмінна риса вентиля ацетиленового балона полягає в тому, що його відкриття, закривання і приєднання з його допомогою редуктора до балона здійснюється спеціальним торцевим ключем.

Вентиль кисневого балона використовується також для балонів з азотом, аргоном і вуглекислим газом.

Редуктори служать для зниження високого тиску газу, що надходить з балона, до робочого і для підтримки цього тиску постійним у процесі зварювання. У практиці застосовують різні типи редукторів. Газові редуктори класифікуються за такими ознаками:

- а) за призначенням – балонні, рампові, мережеві;
- б) за видом редукованого газу - ацетиленові, кисневі, метанові, пропан-бутанові;
- в) за схемою регулювання - одно- і двоступеневі, з пневматичним завданням робочого тиску.

г) за принципом дії - прямої та зворотної дії.

На рисунку 5.8 показано зовнішній вигляд кисневого, ацетиленового і пропанового редукторів.

В експлуатації зручніші зворотної дії, оскільки вони компактні та прості за конструкцією, надійні та безпечні в роботі.

Редуктори відрізняються один від одного забарвленням корпусу (ацетиленовий - білого кольору, кисневий - блакитного, пропановий - червоного) і приєднувальними пристроями для кріплення їх до балона. Кисневий і пропановий редуктори приєднують до балонів накидними гайками відповідно з правою і лівою різьбою. Ацетиленові редуктори кріплять до балонів хомутом з упорним гвинтом.

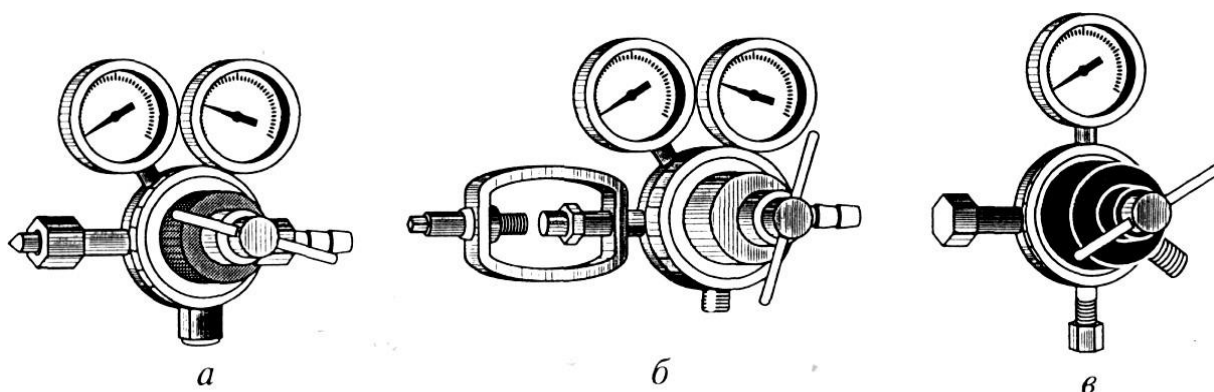


Рисунок 5.8 – Газові редуктори:
а - кисневий; б - ацетиленовий; в - пропановий

На рисунку 5.9 представлено схему одноступінчатого редуктора зворотної дії.

У конструкцію редуктора зворотної дії (рисунок 5.9а) входить камера 8 високого тиску, куди надходить стиснений газ із балона і тисне на редукційний клапан 9, який перешкоджає проходженню газу в камеру 13 низького тиску.

Для подачі газу в камеру 13 необхідно відкрити редуктор. Це здійснюється обертанням регулювального гвинта 2 за годинниковою стрілкою. Гвинт стискає натискну пружину 3, яка вигинає гумову мембрану 4 вгору. При цьому передавальний диск 5 зі штоком стискає пружину 7, піднімаючи клапан 9 і відкриваючи шлях газу в камеру низького тиску.

Регулювання тиску в камері 13 відбувається на виході з редуктора автоматично. Якщо відбір газу з редуктора зменшився, то тиск у цій камері підвищиться, натискна пружина стиснеться, мембрана випрямиться, а передавальний диск зі штоком опуститься, і редукційний клапан 9 під дією пружини 7 прикриє сидло 10, у такий спосіб зменшивши подачу газу в камеру низького тиску.

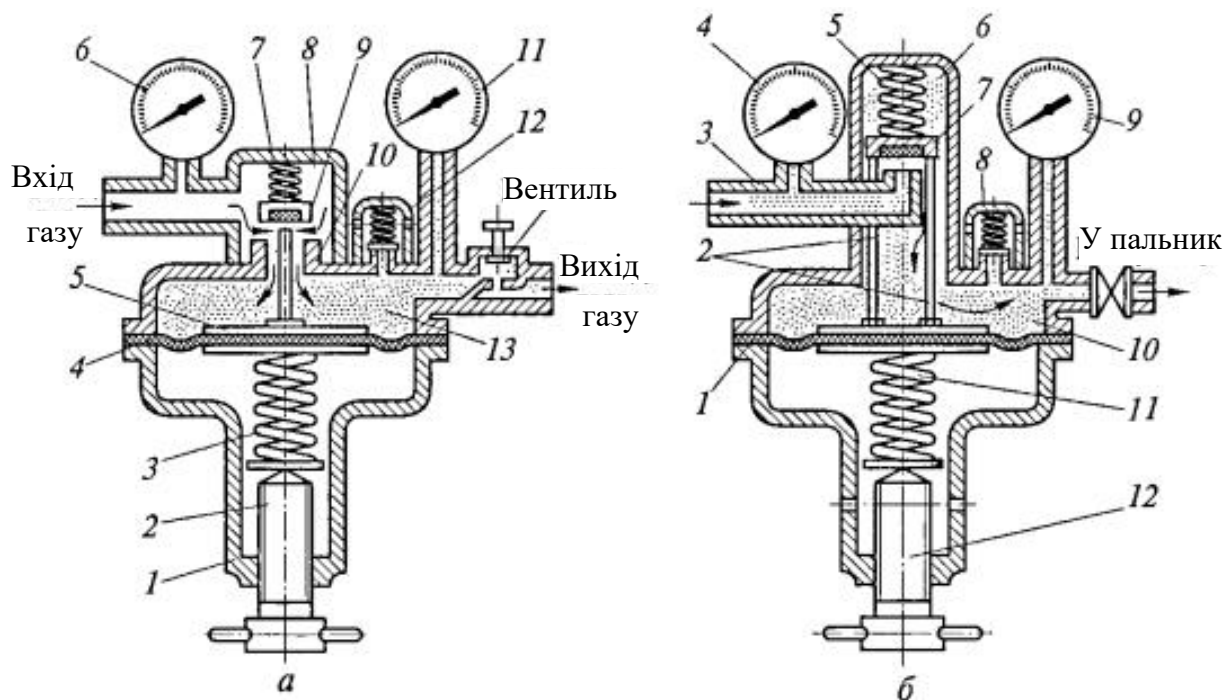


Рисунок 5.9 – Конструкції та принцип дії одноступеневих кисневих редукторів:

а - зворотної дії: 1 - кришка; 2 - регулювальний гвинт; 3 - натискна пружина; 4 - гнучка гумова мембрана; 5 - передавальний диск зі штоком; 6 - манометр камери високого тиску; 7 - пружина; 8 - камера високого тиску; 9 - редукційний клапан; 10 - сідло клапана; 11 - манометр камери низького тиску; 12 - запобіжний клапан; 13 - камера низького тиску;

б - прямої дії: 1 - мембрана; 2 - тяги; 3 - штуцер; 4 - манометр камери високого тиску; 5 - запірна пружина; 6 - камера високого тиску; 7 - редукційний клапан; 8 - запобіжний клапан; 9 - манометр камери низького тиску; 10 - камера низького тиску; 11 - натискна пружина; 12 - регулювальний гвинт.

При збільшенні відбору газу з редуктора процес автоматично повторюється в протилежному напрямку.

Якщо тиск у робочій камері перевищить допустимий, то спрацює запобіжний клапан 12 і відбудеться скидання газу в атмосферу.

На рисунку 5.9б наведено схему аналогічного за конструкцією і процесами, що відбуваються, редуктора прямої дії, що відрізняються лише тим, що підвищення тиску в камері 6 викликає не закриття клапаном 7 камери 10 низького тиску, а її відкриття.

Види газового полум'я

Основним інструментом газозварника є зварювальне полум'я. Воно утворюється під час згоряння горючого газу в кисні. Від співвідношення об'ємів кисню і горючого газу залежить зовнішній вигляд, температура і

характер впливу зварювального полум'я на розплавлений метал.

Зварювальне полум'я має три яскраво помітні області: ядро, відновлювальна зона, факел (рисунок 5.10).

У першій зоні відбувається екзотермічний процес розпаду ацетилену на складові частини. Ядро являє собою газову суміш ($2C + H_2 + O_2$) сильно нагрітого кисню і дисоційованого ацетилену, виділяється різким обрисом і яскравим світінням. Форма ядра нагадує форму циліндра з плавним заокругленням на кінці. Розміри ядра залежать від складу і витрати суміші та швидкості витікання. Діаметр мундштука пальника визначає діаметр ядра полум'я, а швидкість закінчення газової суміші - довжину. Залежно від довжини ядра зварювальне полум'я може бути «м'яким» або «жорстким». М'яке полум'я схильне до зворотних ударів і хлопків, жорстке здатне видувати розплавлений метал зі зварювальної ванни. Горіння починається на зовнішній оболонці ядра і триває в другій зоні.

У другій зоні відбувається перша стадія згоряння продуктів розпаду ацетилену за рахунок кисню, що надходить з балона. Вуглець згорає не повністю, а водень у цій зоні не окислюється. Друга зона помітно відрізняється від ядра за своїм зовнішнім темнішим кольором, складається вона з оксиду вуглецю і водню. Ця зона має найвищу температуру і називається відновлювальною, оскільки CO і H_2 розкислюють розплавлений метал, віджимаючи кисень від його оксидів.

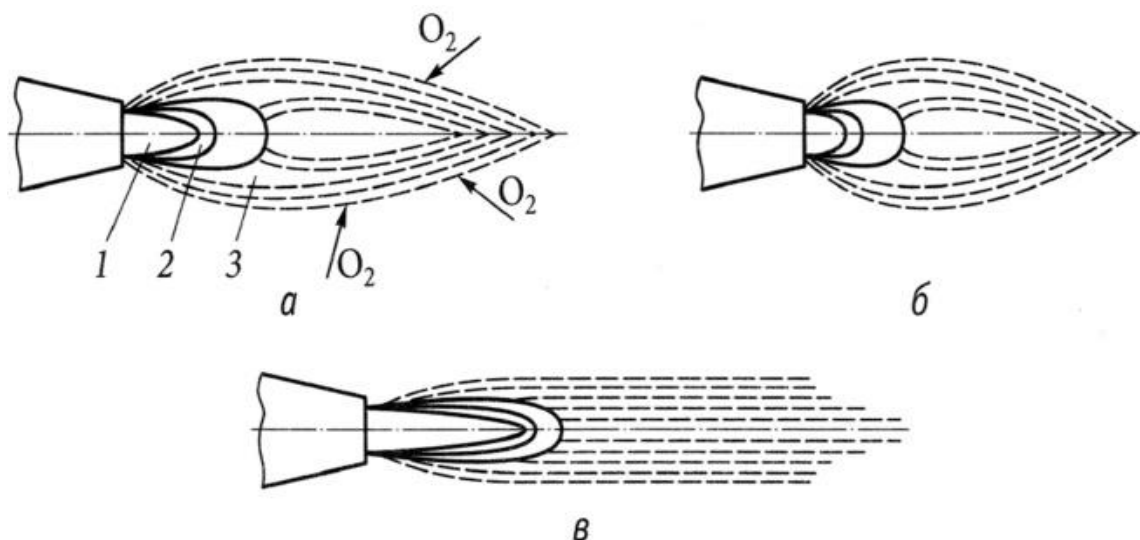


Рисунок 5.10 – Види зварювального полум'я:

а - нормальне; б - окислювальне; в - науглецьовувальне; 1 - ядро;
2 - відновлювальна зона; 3 – факел.

Третя зона - факел розташовується за відновлювальною зоною і складається з вуглекислого газу і парів води, які утворюються внаслідок згоряння оксиду вуглецю і водню, що надходять з другої зони, за рахунок кисню повітря.

Залежно від співвідношення об'ємів кисню й ацетилену, що

надходять у пальник, розрізняють три види зварювального полум'я: нормальне, окислювальне й науглецювальне (рисунки 5.10).

Нормальне зварювальне полум'я утворюється, коли в пальнику на один об'єм кисню припадає один об'єм ацетилену. У нормальному полум'ї яскраво виражені всі три зони. Ядро має різко окреслену форму, близьку до циліндра, з оболонкою, що яскраво світиться. Температура ядра досягає 1000 °С.

У відновлювальній зоні, що містить продукти неповного згоряння ацетилену, проводять зварювання. Температура цієї зони в точці, віддаленій на 3...6 мм від ядра, становить 3150 °С. Факел має температуру 1200...2500 °С.

Нормальним зварювальним полум'ям здійснюють зварювання сталей усіх марок міді, бронзи та алюмінію.

Окислювальне зварювальне полум'я отримують за надлишку кисню, коли в пальник подають на один об'єм ацетилену понад 1,3 об'єму кисню. Ядро такого полум'я має вкорочену, конусоподібну форму. Воно набуває менш різких обрисів і блідшого забарвлення, ніж у нормального полум'я. Протяжність відновлювальної зони зменшується порівняно з нормальним полум'ям. Факел має синювато-фіолетове забарвлення. Горіння супроводжується шумом, рівень якого залежить від тиску кисню. Температура окисного полум'я вища, ніж у нормального, однак під час зварювання таким полум'ям через надлишок кисню утворюються пористі та крихкі шви.

Окислювальне полум'я застосовують під час зварювання латуні та паяння твердими припоями.

Науглецювальне полум'я отримують за надлишку ацетилену, коли в пальнику на один об'єм ацетилену припадає не більше ніж 0,95 об'єму кисню. Ядро такого полум'я втрачає різкість обрисів, на його кінці з'являється зелений віночок, за наявності якого судять про надлишок ацетилену. Відновлювальна зона істотно світліша, ніж у нормального полум'я, і майже зливається з ядром. Факел набуває жовтого забарвлення. За значного надлишку ацетилену полум'я коптить. Температура науглецювального полум'я нижча, ніж у нормального й окислювального.

Злегка науглецювальним полум'ям зварюють чавун і здійснюють наплавлення твердих сплавів.

Під час здійснення газового зварювання (рисунки 5.11) кромки зварюваного виробу розплавляються у високотемпературній зоні зварювального полум'я.

Зварювальна ванна формується з розплавленого металу кромки, частин, що з'єднуються, і металу присадного дроту.

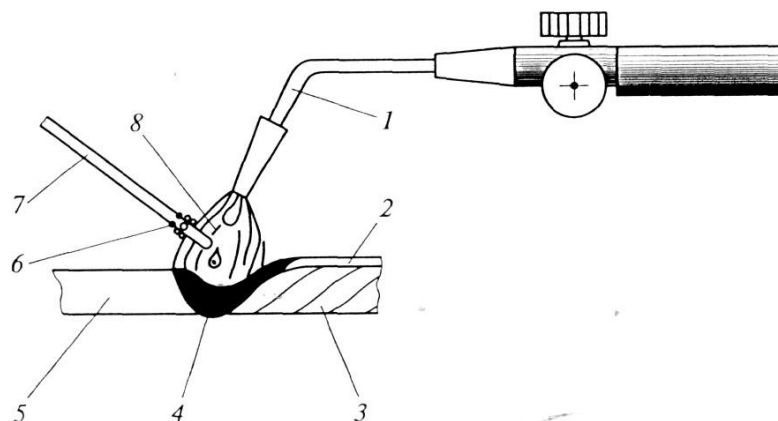


Рисунок 5.11 – Схема процесу газового зварювання:

1 - пальник; 2 - шлак; 3 - зварний шов; 4 - зварювальна ванна; 5 - виріб, що зварюється; 6 - флюс; 7 - присадний пруток; 8 - газове полум'я.

Під час газового зварювання відбуваються різноманітні процеси: механічні, пов'язані з нагріванням і розплавленням металу, формуванням шва, а також хімічні, зумовлені горінням, взаємодією флюсу і присадного матеріалу з розплавленим основним металом.

Контрольні питання

- 5.1 У чому полягає сутність зварювання під флюсом?
- 5.2 З яких вузлів складається автомат для зварювання під флюсом?
- 5.3 Які флюси використовують під час зварювання?
- 5.4 Яке основне призначення флюсу під час зварювання?
- 5.5 Назвіть основні компоненти, що входять до складу флюсу.
- 5.6 У чому полягає металургійна обробка флюсом зварювальної ванни?
- 5.7 Назвіть основні переваги зварювання під флюсом порівняно з ручним дуговим зварюванням.
- 5.8 Чому продуктивність зварювання під флюсом у кілька разів перевищує продуктивність ручного дугового зварювання?
- 5.9 Перелічіть недоліки автоматичного зварювання під флюсом.
- 5.10 Назвіть принципи автоматизації процесу зварювання.
- 5.11 Назвіть сутність плазмового зварювання.
- 5.12 Як горить плазмова дуга прямої дії?
- 5.13 Як горить плазмова дуга непрямої дії?
- 5.14 Поясніть загальну будову плазмотрона «Мультиплаз-2500».
- 5.15 Який механізм утворення плазмового факела?
- 5.16 У чому полягає плазмовий режим роботи плазмотрона «Мультиплаз-2500»?
- 5.17 У чому полягає плазмово-дуговий режим роботи плазмотрона «Мультиплаз-2500»?
- 5.18 З чого складається робоча рідина плазмотрона під час різання

металів?

5.19 З чого складається робоча рідина плазмотрона при зварюванні металів?

5.20 Перерахуйте основні вимоги до техніки безпеки під час роботи на плазмотроні «Мультиплаз-2500».

5.21 У чому полягає сутність газового зварювання?

5.22 Назвіть три зони газового полум'я.

5.23 Яка класифікація видів газового зварювання?

5.24 Назвіть найпоширеніший вид газового зварювання.

5.25 Що відбувається в першій зоні газового полум'я, і як називається ця зона?

5.26 Назвіть продукти згоряння ацетилену в другій зоні газового полум'я.

5.27 Назвіть продукти згоряння ацетилену в третій зоні газового полум'я.

5.28 Яке основне призначення газових редукторів?

5.29 З якого матеріалу виготовляють вентилі кисневого та ацетиленового балонів?

5.30 Який максимальний тиск кисню та ацетилену в повністю заправлених балонах?

5.31 Які види газових пальників знайшли найбільше застосування, їх конструктивна відмінність?

5.32 Конструктивна відмінність газового різаків від пальника.

5.33 Назвіть основні способи газового зварювання.

5.34 Як визначається діаметр присадного дроту?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

Мета заняття: вивчити обладнання та апаратуру для газового зварювання та різання, навчитися вибирати відповідні оптимальні технологічні параметри.

Порядок роботи

1. Ознайомитися з обладнанням газового зварювання та різання металів.

2. Описати сферу застосування газового зварювання, його переваги та недоліки.

3. Описати сферу застосування кисневого різання металу.

4. Накреслити й описати схему газозварювального поста.

5. Відповісти на контрольні запитання.

6. Визначити оптимальні режим газового зварювання та різання металів і сплавів.

7. Відповідно до варіанта завдання (таблиця 5.11) для газового зварювання маловуглецевої сталі в нижньому положенні описати технологію, підібрати режим зварювання, розрахувати повну витрату пального газу.

8. Результати занести в таблицю 5.10

Теоретичні відомості

Сутність процесу газового зварювання полягає в тому, що зварюваний і присадний метали розплавляють у полум'ї, яке отримують під час згоряння будь-якого горючого газу в суміші з киснем, зазвичай застосовують ацетилен. Порівняно з електродуговим зварюванням газове зварювання - процес малопродуктивний. Газове зварювання застосовують при виготовленні тонких сталевих виробів завтовшки до 5 мм, зварюванні кольорових металів та їхніх сплавів, виправленні дефектів у чавунних і бронзових виливках, а також при різних ремонтних роботах [1,2,3].

Усі горючі газу, що містять вуглеводень, утворюють зварювальне полум'я, яке має три яскраво помітні зони: ядро, відновлювальну зону і факел (рисунок 5.12).

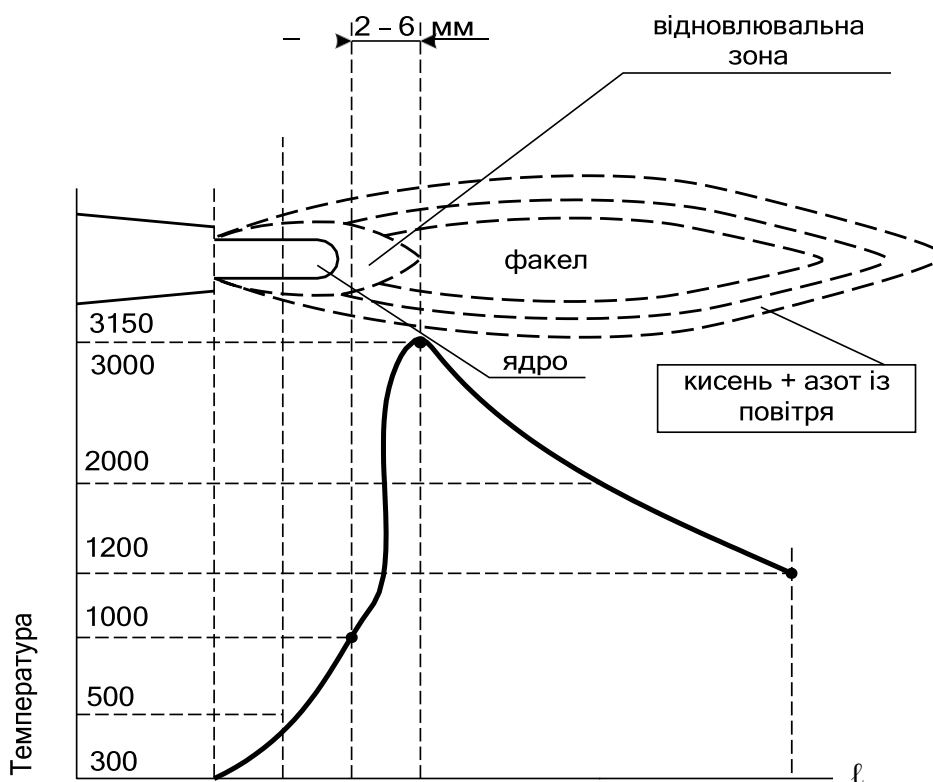


Рисунок 5.12 – Схема газового полум'я і розподіл температур за зонами

Ядро має різко окреслену форму (близьку до форми циліндра), яка плавно закругляється наприкінці, з оболонкою, що яскраво світиться.

Розміри ядра залежать від складу горючої суміші, її витрати і

швидкості витікання. Діаметр каналу мундштука пальника визначає діаметр ядра полум'я, а швидкість витікання газової суміші його довжину. Температура ядра досягає 1000 °С.

Відновлювальна зона розташовується за ядром і за своїм темнішим кольором помітно відрізняється від нього. Зона складається з продуктів неповного згоряння ацетилену - оксиду вуглецю і водню. Вона називається відновлювальною, оскільки оксид вуглецю і водень розкислюють розплавлений метал, забираючи кисень від його оксидів. Цією зоною виконують зварювання і тому її називають *робочою*. Відновлювальна зона має найвищу температуру в точці, віддаленій на 2...6 мм від кінця ядра.

Факел розташовується за відновлювальною зоною і являє собою зону повного згоряння. Температура цієї зони значно нижча, ніж у відновлювальній зоні, і коливається в інтервалі від 1200 до 2520 °С.

Залежно від співвідношення між киснем і ацетиленом отримують три основні види зварювального полум'я: нормальне, окислювальне і науглецьовувальне.

Нормальне полум'я отримують, коли в пальник на один об'єм ацетилену подають від 1,1 до 1,3 об'єму кисню. Нормальне полум'я характеризується відсутністю вільного кисню у відновлювальній зоні.

Окислювальне полум'я виходить при надлишку кисню, при подачі в пальник на 1 об'єм ацетилену більше 1,3 об'єму кисню. При цьому ядро набуває конусоподібної форми, значно скорочується по довжині, а полум'я набуває синювато-фіолетового забарвлення.

Науглецьовувальне полум'я виходить за надлишку ацетилену, коли в пальник на один об'єм ацетилену подається 0,95 і менше об'єму кисню. Ядро такого полум'я втрачає різкість свого обрису, на кінці його з'являється зеленуватий віночок, за яким судять про надлишок ацетилену.

Полум'я, що злегка науглецьовує, застосовують для зварювання чавуну і під час наплавлення твердими сплавами.

Теплові характеристики газового полум'я (температура; ефективна теплова потужність q_1 , кал/с та розподіл теплового потоку полум'я плямою нагріву q_2 , кал/см² с) залежать від теплотворної здатності пального газу, чистоти кисню і співвідношення кисню та ацетилену в газовій суміші.

Температура газового полум'я (°С) неоднакова в різних його частинах і досягає найбільшого значення на осі полум'я поблизу кінця ядра залежно від згораючого газу:

Ацетилен	3100...3150
Метан	2100...2200
Пропано-бутанова суміш	2400...2500
Коксовий газ	2000...2100
Водень	2000...2100

Газове полум'я нагріває поверхню металу внаслідок процесів теплообміну - вимушеної конвекції та випромінювання, інтенсивність яких зростає зі збільшенням перепаду температур полум'я і поверхні металу, що

нагрівається. Тому ефективна потужність полум'я зростає з підвищенням його температури і падає з підвищенням температури поверхні металу.

Ефективна потужність полум'я q (її граничне значення, відповідне усталеному стану процесу під час нагрівання металу рухомим полум'ям) зростає зі збільшенням витрати ацетилену V , л/год (рисунок 5.13).

№ наконечника	1	2	3	4	5	6	7
Витрата C_2H_2	140	250	400	615	1010	1700	2630
d сопла	0,96	1,31	1,63	2,0	2,45	2,96	3,5

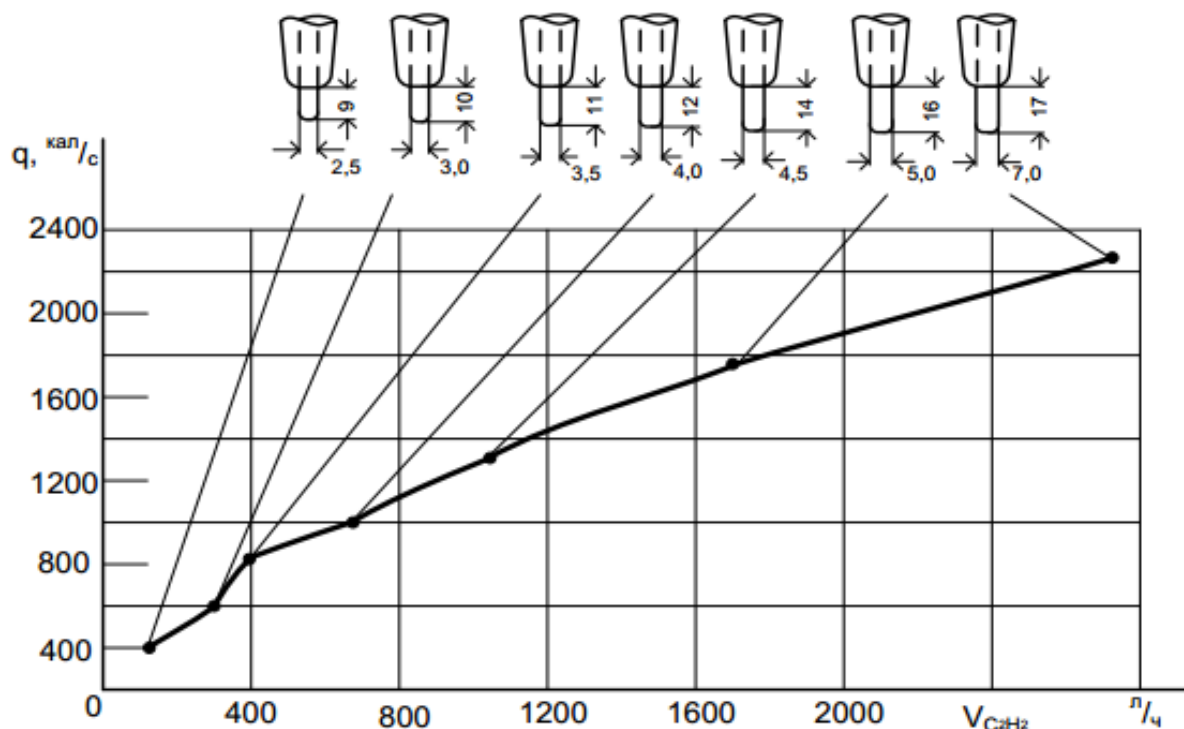


Рисунок 5.13 – Ефективна потужність полум'я і довжина ядра залежно від витрати ацетилену (номери наконечника пальника)

Ефективний ККД процесу нагріву металу газовим полум'ям η представляє відношення ефективної потужності полум'я q до повної теплової потужності q_H , відповідної нижчій теплотворній здатності ацетилену 14600 кал/год.

$$\eta = \frac{q}{3,5 \cdot V_{C_2H_2}}, \quad (5.3)$$

Параметри режиму нагріву, розміри виробу і теплофізичні властивості металу також впливають на ефективну потужність, хоча і меншою мірою, ніж витрата газу. При правому нагріванні ефективна потужність полум'я вища, ніж при лівому. Зі збільшенням швидкості переміщення полум'я його ефективна потужність дещо зростає. Зі

збільшенням товщини металу, що нагрівається, а також його теплопровідності ефективна потужність полум'я зростає.

Розподіл питомого теплового потоку q_2 полум'я простого пальника за радіусом r плями нагріву приблизно описують співвідношенням:

$$q_2(r) = q_{2max} \cdot e^{-kr^2}, \quad (5.4)$$

де q_{2max} - найбільший питомий тепловий потік у центрі плями нагрівання, кал/см²·с;

k - коефіцієнт зосередженості питомого потоку полум'я, см⁻²;

r - відстань від осі полум'я, см.

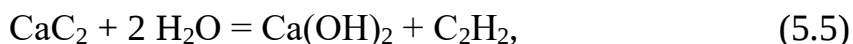
Газове полум'я нагріває метал значно повільніше і плавніше, ніж електрична зварювальна дуга, оскільки найбільший тепловий потік на осі ацетилено-кисневого полум'я пальника у 8...12 разів менший за відкриту зварювальну дугу приблизно однакової ефективної потужності. Тому крім зниження продуктивності при газовому зварюванні маємо великі зони нагріву металу, що може призвести до викривлення поверхні та зниження міцності з'єднання. Ці та інші властиві газовому зварюванню недоліки (вибухонебезпечність, пожежонебезпека) сприяли пошуку альтернативних видів зварювання. Останнім часом у ремонтному виробництві газове зварювання поступово витісняється електрозварюванням у вуглекислому газі (для зварювання тонких сталевих виробів) і плазмовим зварюванням (для зварювання тонких виробів зі сталі та кольорових металів і сплавів).

Газове різання металів поки утримує свої позиції не тільки в ремонтних майстернях, а й в умовах великих промислових підприємств.

Гази

Частіше за інші горючі гази для газового зварювання застосовують ацетилен. Ацетилен являє собою хімічну сполуку вуглецю з воднем (C₂H₂).

Отримують ацетилен із карбїду кальцію (CaC₂) шляхом впливу на останній водою. При реакції з водою 1 кг карбїду кальцію дає 230...280 л газоподібного ацетилену. У результаті реакції отримують газоподібний ацетилен C₂H₂ і гашене вапно Ca(OH)₂:



Карбїд кальцію транспортують у спеціальних сталевих герметично закритих балонах. Маса балонів із карбїдом кальцію може бути 50...130 кг. Крім ацетилену, застосовують й інші горючі гази, властивості яких наведено в таблиці 5.3.

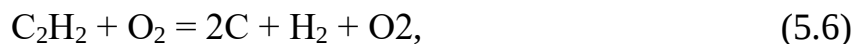
Процес згоряння ацетилену в кисні можна умовно розділити на дві стадії. Спочатку під впливом нагрівання відбувається розпад ацетилену на елементи:

Таблиця 5.3 – Основні властивості горючих газів, що застосовуються для зварювання та різання металів

Газ	Щільність, кг/м ³	Нижча теплотворна здатність, кДж/м ³	Температура полум'я у суміші з киснем, °С	Коефіцієнт заміни C ₂ H ₂	Кількість O ₂ на 1 м ³ газа, кг	Межі вибуховості суміші, %		Область застосування	Способи транспортування і зберігання
						з повітрям	с O ₂		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ацетилен	1,09	52800	3100...3220	1	1...1,3	2,2...81,0	2,3...93,0	Усі види газополум'яного оброблення	Розчинений в ацетоні в балонах під тиском до 1,4 МПа
Водород	0,08	10100	2100...2300	5,2	0,3...0,4	3,3...81,5	2,6...95,0	Для зварювання сталей товщиною до 2 мм, чавуну, латуні	Газоподібний у балонах під тиском до 15 МПа
Коксовый газ	0,5	15200	2200	3,2	0,7	-	-	Зварювання легкоплавких металів, пайка, кисневе різання	По газопроводу
Городской газ	0,84...1,05	17200... 21000	2000...2300	3,0	1,5...1,6	3,8...24,6	10...73	Зварювання легкоплавких металів, паяння	По газопроводу під тиском до 0,3 МПа та у балонах до 15 МПа
Нефтяной газ	0,87...1,37	41000... 56600	2000...2400	1,2	1,5...1,6	-	-	Зварювання легкоплавких металів, пайка	По газопроводу
Метан	0,67	35600	2400...2700	1,6	1,5...1,8	4,8...16,7	5,0...59,2	Зварювання легкоплавких металів, паяння	На балонах під тиском 15 МПа або по трубопроводу

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пропан	1,88	93000	2600	0,6	3,4	2,0...9,5	4,8...2,0	Кисневе різання, зварювання, паяння кольорових металів	У рідкому вигляді в балонах під тиском 1,6 МПа
Бутан	2,54	116500	2450	0,45	3,3	1,5...8,5	2...45	Кисневе різання, зварювання, паяння кольорових металів	У рідкому вигляді в балонах під тиском 1,6 МПа
Пропан-бутан	1,87	2200	2600	0,6	3,5	-	-	Кисневе різання, зварювання, паяння кольорових металів	У рідкому вигляді в балонах під тиском 1,6 МПа
Бензин	0,73	10500	2440	1,4	1,25	0,65	21...28,4	Кисневе різання сталі, зварювання, пайка легкоплавких металів	У рідкому вигляді в цистернах або бачках
Керосин	0,83	10100	2400	1,2	1,7...2,4	2...28	-	Кисневе різання, зварювання, паяння легкоплавких металів	У рідкому вигляді в цистернах або бачках



Потім відбувається перша стадія згоряння ацетилену за рахунок кисню суміші за реакцією:



Друга стадія горіння протікає за рахунок кисню повітря:



Процес горіння супроводжується виділенням теплоти. Температура полум'я при згорянні в суміші з киснем досягає 3200 °С. Ацетилено-киснева суміш вибухонебезпечна за наявності в ній 28... 93 % ацетилену за об'ємом. Транспортують ацетилен у сталевих балонах під тиском 1,9 МПа.

Кисень застосовують трьох сортів залежно від чистоти. Домішки азоту й аргону в технічному кисні становлять 0,3...0,8 %. Газоподібний кисень транспортують у сталевих балонах під тиском 15 МПа. У разі зіткнення з маслами кисень вибухає т.

ОБЛАДНАННЯ ТА АПАРАТУРА ДЛЯ ГАЗОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Ацетиленові генератори

Ацетиленовим генератором називають апарат, що служить для отримання ацетилену розкладанням карбиду кальцію водою. Ацетиленові генератори, що застосовуються для зварювання та різання металів згідно з ДСТУ ГОСТ 30829:2005, класифікуються за такими ознаками:

- ◆ за продуктивністю - 1,25; 3; 5; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640 м³/год;
- ◆ за способом застосування - пересувні з продуктивністю 1,25...3,0 м³/год, стаціонарні з продуктивністю 5...640 м³/год;
- ◆ за тиском газу, що виробляється, - низького тиску до 0,02 МПа; середнього тиску від 0,02 до 0,15 МПа;
- ◆ за способом взаємодії карбиду кальцію з водою - генератори системи «КВ», «ВК», «ВВ».

У генераторах типу «КВ» передбачається періодична подача у воду карбиду кальцію. При цьому досягається найбільший вихід ацетилену - до 95 %.

У генераторах типу «ВК» здійснюється періодична подача порцій води в завантажувальний пристрій з карбідом кальцію.

У генераторах системи типу «ВВ» розкладання карбиду кальцію здійснюється під час контакту його з водою залежно від змін рівня води, яка знаходиться в реакційному просторі і періодично витісняється газом, що утворився.

У ремонтно-технічних підприємствах сільськогосподарського виробництва найбільшого поширення набули пересувні генератори низького тиску.

На рисунку 5.14 представлена принципова схема однопостового пересувного морозостійкого (до -25°C) ацетиленового генератора низького тиску АНВ-1,25. Генератор працює за принципом «ВК» у поєднанні з процесом «витіснення води». Продуктивність - $1,25 \text{ м}^3/\text{год}$, максимальний тиск - $0,01 \text{ МПа}$.

У корпус генератора 1 вварена реторта 7, в якій міститься завантажувальний кошик 3 з карбідом кальцію.

Корпус генератора перегородкою 10 ділиться на дві частини: у верхній частині розташований водозбірник 11, у нижній - газозбірник.

Обидві частини з'єднані циркуляційною трубою 4, через яку вода потрапляє в нижню частину або під час роботи генератора витісняється у верхню частину.

Генератор заповнюється водою до рівня 17 через відкриту верхню частину. Вода в реторту надходить по газовідвідній трубці 19 через отвір вентиля 18. Реторта герметично закривається кришкою і спеціальним болтом.

Ацетилен, що виділяється в результаті взаємодії карбіду кальцію з водою, надходить по газовідвідній трубці 19 в газозбірник і витісняє воду, яка перебуває в ньому, через циркуляційну трубу 4 у верхню частину генератора. Вода в реторту подається доти, доки вона не буде витіснена з газозбірника нижче рівня вентиля 18. У міру виділення ацетилену і зростання тиску ацетилену в газозбірнику і реторті, вода починає витіснятися також з реторти в камеру 8 - витиснювач. При цьому подальше утворення газу припиняється.

Під час відбору газу з газозбірника тиск ацетилену знижується, вода, витіснена в камеру 8, повертається в реторту, і газоутворення поновлюється.

При падінні тиску в генераторі до $2,3...2,7 \text{ кПа}$ вода в газозбірнику піднімається вище вентиля 18 і починає надходити в реторту. Надходження води в реторту припиняється після того, як тиск перевищить $2,7...2,8 \text{ кПа}$, тобто, коли рівень води в газозбірнику знову опуститься нижче рівня вентиля 18.

Так, залежно від витрати ацетилену з генератора автоматично регулюється процес його утворення.

Газ під час відбору надходить із газозбірника в карбідний осушувач 16, завантажений карбідом, після чого проходить у водяний затвор 5, а з нього шлангом 15 у пальник або різак.

Водяний затвор 5 слугує для запобігання проникненню в генератор вибухової хвилі під час зворотного удару полум'я. За низьких температур водяний затвор встановлюють у циркуляційній трубці 4, щоб уберегти його від замерзання. У теплу пору водяний затвор встановлюють зовні

генератора.

Під час зворотного удару вибухова суміш через запобіжну трубку виходить в атмосферу, несучи із собою витіснену воду. Частина води затримується в обичайці 12 і стікає назад у затвор.

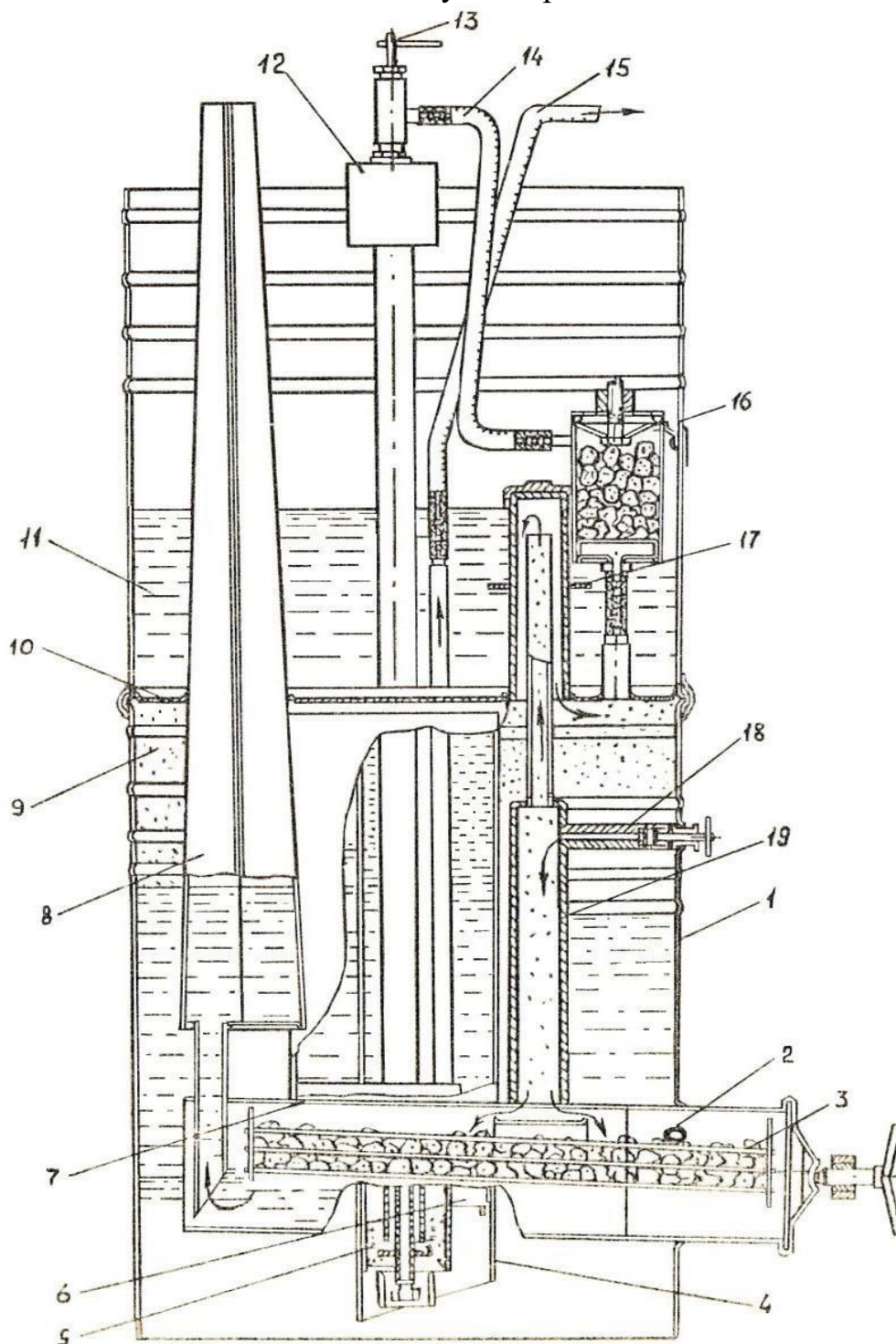


Рисунок 5.14 – Схема ацетиленового генератора АНВ-1,25

Перед пуском генератора необхідно очистити від мулу реторту, продути стисненим повітрям шланги 14 і 15, зарядити осушувач 16 карбідом кальцію в кількості 1 кг, заповнити генератор водою до рівня 17.

При цьому вентиль водяного затвора 13 має бути відкритий, а вентиль 18 - закритий. Заповнити водою затвор 5 через відкриту верхню обичайку 12 до рівня контрольного крана 6, після чого закрити вентиль 13. Відкривши вентиль 18, треба переконатися в тому, що вода надходить у реторту, після чого закрити вентиль 18 і контрольний кран 2.

Завантажити в кошик 4 кг карбіду кальцію, вставити кошик 3 в реторту і закрити кришку. Пустити порцію води в реторту, відкривши і закривши вентиль 18, зробити контрольну продувку реторти через кран 2. Закрутити контрольний кран, після чого генератор можна вважати готовим до роботи.

Живлення постів газового зварювання та різання ацетиленом від ацетиленових генераторів пов'язане з низкою незручностей, тому широкого поширення набули газові балони.

Балони для газів і редуктори

Для зберігання і транспортування стиснених, зріджених і розчинених газів, що перебувають під тиском, застосовують сталеві балони, які виготовляють із безшовних труб вуглецевої та легированої сталей. Найбільшого поширення набули балони місткістю 40 дм³. Ці балони мають розміри: зовнішній діаметр - 219 мм, товщина стінки - 7 мм, висота - 1390 мм. Маса балона без газу - 67 кг.

У горловині балона є конусний отвір із різьбленням, куди вкручується запірний вентиль. Для кожного газу розроблено свої конструкції вентилів, що унеможливує встановлення, наприклад, кисневого вентиля на ацетиленовий балон і навпаки.

Кисневі вентиля виготовляють з латуні, ацетиленові зі сталі, застосування сплавів міді з вмістом її понад 70% неприпустиме, оскільки при контакті з ацетиленом виникає вибухонебезпечна ацетиленова мідь. Ацетиленовий вентиль має різьблення, відмінне від інших типів вентилів, що унеможливує установку його на інших балонах.

Кожному газу відповідає свій умовний колір балона і колір напису, кисневі балони забарвлюють у блакитний колір, напис роблять чорною фарбою; ацетиленові - відповідно в білий колір і червоною фарбою; пропанові - в червоний колір і білою фарбою тощо.

Кисень наповнюють у балони до тиску 15 МПа. Балон місткістю 40 дм³ за тиску газу 15 МПа містить кисню 6 м³.

Під час закінчення відбору газу з балона необхідно стежити, щоб залишковий тиск у ньому був не менше 0,05...0,1 МПа.

Ацетиленові балони заповнюють пористою масою (деревне вугілля, пемза), яку просочують ацетоном (220...300 г на дм³ місткості балона). Ацетон є хорошим розчинником ацетилену, в одному об'ємі ацетону розчиняється 23 об'єми ацетилену.

Тиск ацетилену в балоні змінюється при зміні температури (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Залежність тиску ацетилену в балоні від температури навколишнього середовища

Температура, °C	-5	0	5	10	15	20	25	30	40
Тиск, МПа	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	3,0

Тиск наповнених балонів за 20 °C не повинен перевищувати 1,9 МПа.

При газовому зварюванні та різанні металів робочий тиск газів має бути меншим, ніж тиск у балоні або газопроводі. Для зниження тиску газу застосовують редуктори.

Редуктором називається прилад, що служить для зниження тиску газу, за якого він перебуває в балоні або магістралі, до величини робочого тиску і для автоматичного підтримання цього тиску постійним.

Редуктори, що застосовуються у зварювальній техніці, класифікуються за принципом дії (прямого і зворотного), за призначенням і місцем встановлення, за схемами редукування і родом газу, що редукується.

Редуктор має клапан, керований гнучкою мембраною, на яку з одного боку діє сила пружини, а з іншого - тиск газу. Регулюванням сили пружини забезпечуються заданий тиск і витрата газу.

Редуктори відрізняються один від одного кольором корпусу і приєднувальними пристроями.

На рисунку 5.15 показано схему газозварювального поста з живленням від балонів.

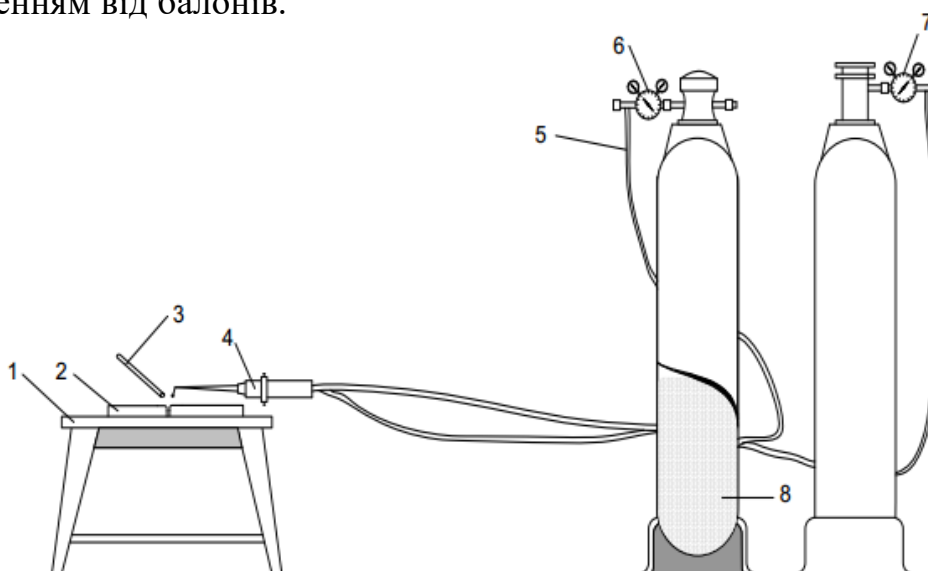


Рисунок 5.15 – Схема газового поста з живленням від балонів:

- 1 - стіл; 2 - деталі, що зварюються; 3 - присадний метал; 4 - палик;
 5 - шланг; 6 - ацетиленовий редуктор; 7 - кисневий редуктор;
 8 - пориста маса

На зварювальному посту балони встановлюють у вертикальному положенні і закріплюють.

Використання ацетиленових балонів замість генераторів дає низку переваг: простота обслуговування зварювальної установки, безпека і поліпшення умов роботи, підвищення продуктивності праці.

Зварювальні пальники

Зварювальний пальник є основним інструментом газозварника. Зварювальним пальником називається пристрій, що служить для змішування горючого газу або парів горючої рідини з киснем і отримання зварювального полум'я.

Згідно з ДСТУ ISO 5172:2009 зварювальні пальники класифікуються:

- ◆ за способом подачі горючого газу і кисню в змішувальну камеру - інжекторні та безінжекторні;
- ◆ за родом застосовуваного газу;
- ◆ за потужністю - мікропотужності, малої, середньої та великої потужності;
- ◆ за способом застосування - ручні та машинні.

Найбільше застосування мають інжекторні пальники, що працюють на суміші ацетилену з киснем. В інжекторних пальниках горючий газ підсмоктується в змішувальну камеру струменем кисню, який подається в пальник із більшим тиском (0,15...0,5 МПа), ніж горючий газ (0,01 МПа). Цей процес підсмоктування називається інжекцією. На рисунку 5.16 показано схеми інжекторного і безінжекторного пальників.

В інжекторному пальнику (рисунок 5.16а) кисень під тиском через штуцер 8 і регулювальний вентиль 7 подається до інжектора 6.

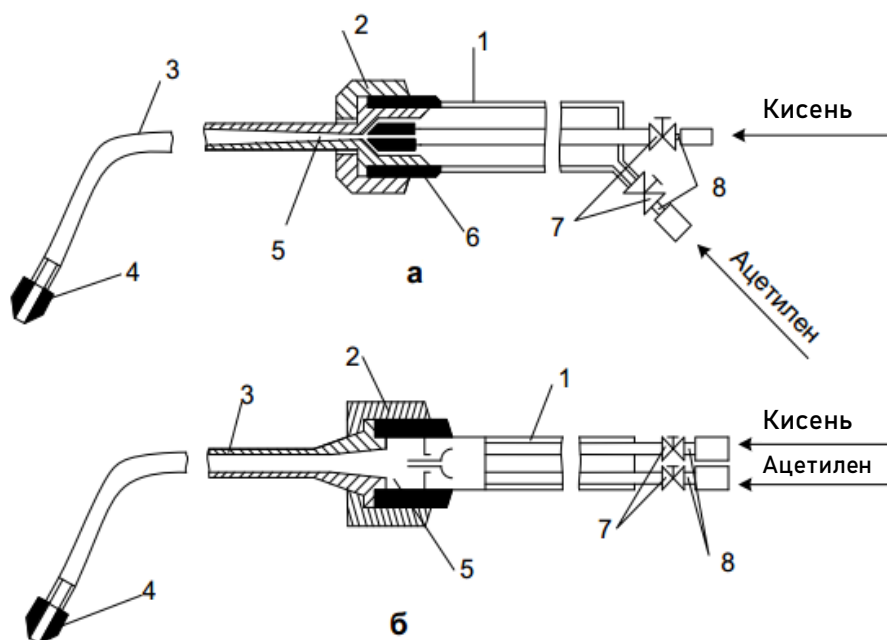


Рисунок 5.16 – Схеми ацетиленових пальників:
а - інжекторні; б - безінжекторні

Виходячи з великою швидкістю з вузького каналу інжекторного корпусу, кисень створює значне розрядження в камері 5, що викликає підсмоктування ацетилену.

У камері 5 утворюється горюча суміш, яка надходить по наконечнику 3 до мундштука 4, на виході якого при згорянні утворюється зварювальне полум'я. Пальники мають змінні наконечники з різними діаметрами вихідних отворів інжектора і мундштука. Наконечники кріпляться до ствола пальника 1 накидною гайкою 2.

У безінжекторних пальниках (рисунок 5.16б) горючий газ і кисень надходить у змішувальну камеру 5 під однаковим тиском у межах 0,01...0,1 МПа.

У таблиці 5.5 наведено різні типи пальників, у таблиці 41 наведено їхні технічні характеристики.

Таблиця 5.5 - Універсальні ацетиленокисневі пальники за ГОСТ 1077-79

Тип пальника	Модель пальника	Номери наконечників	Маса, кг не більше	Внутрішній діаметр приєднувального рукава, мм
Г1 (мікропотуж- ності)	ГС-I	000; 00; 0	0,4	4
Г2 (малої потужності)	Г2-04	0; 1; 2; 3; 4	0,7	6
Г3 (середньої потужності)	Г3-03	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1,2	9
Г4 (великої потужності)	ГС-4	8, 9	2,5	9

Пальники типу Г1 - безінжекторні, інших типів - інжекторні.

Таблиця 5.6 – Технічні характеристики інжекторних пальників

Параметр	Номер наконечника									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Товщина зварюваної низьковуглецевої сталі, мм	0,2...0,5	0,5...1,0	1...2	2...4	4...7	7...11	11...17	17...30	30...50	50
Витрата ацетилену, л/год	40...50	65...90	130...180	250...350	400...420	700...950	1130...1500	1800...2500	2500...4500	4500... 7000
Витрата кисню, л/год	45...55	70...100	140...200	270...380	450...650	750...1000	1200...1650	2000...2800	3000...5600	4700... 9300

Розрізняють два основні способи газового зварювання: правий і лівий. За правого способу (рисунк 5.17а) процес зварювання ведеться зліва направо. Пальник 3 переміщається попереду присадного прутка 2, а полум'я 4 спрямоване на шов 5, що формується. Цим забезпечується хороший захист зварювальної ванни від впливу атмосферного повітря і уповільнене охолодження зварювального шва. Такий спосіб дає змогу отримувати шви високої якості.

Правий спосіб застосовують під час зварювання металу завтовшки понад 5 мм. Полум'я пальника за цього способу обмежене з двох боків крайками виробу 1, а позаду - наплавленим валиком, що значно зменшує розсіювання теплоти і підвищує ступінь її використання. Стельові шви легше зварювати правим способом, оскільки в цьому випадку газовий потік спрямований безпосередньо на шов і тим самим перешкоджає витіканню металу зі зварювальної ванни.

За лівого способу (рисунк 5.17б) процес зварювання проводиться справа наліво. Пальник переміщається за присадним прутком, а полум'я спрямовується на не зварені кромки 1 і підігріває їх. Цей спосіб застосовують при зварюванні тонких листів. За лівого способу зварювання зовнішній вигляд шва кращий, оскільки зварювальник чітко бачить шов і може отримати рівномірну товщину шва.

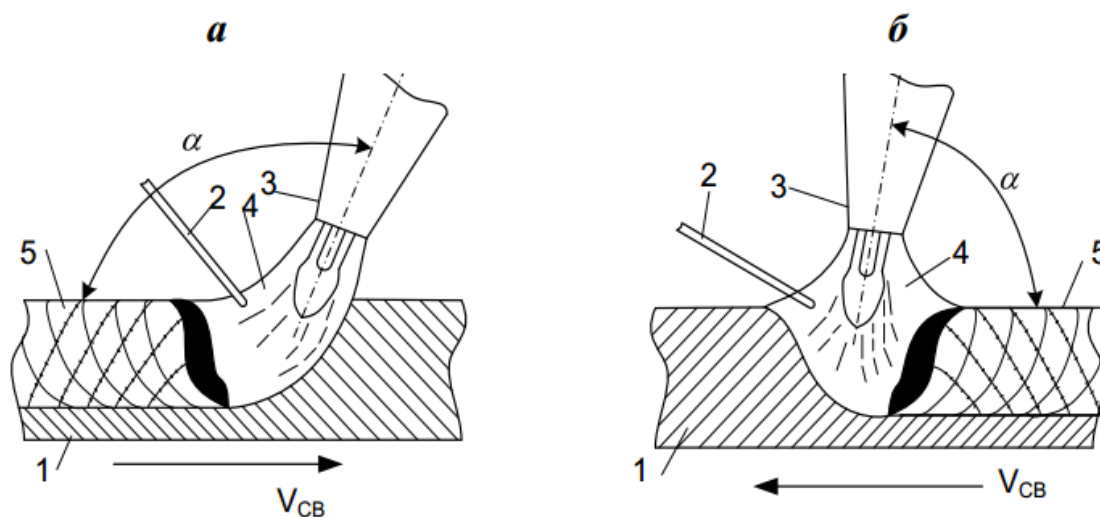


Рисунок 5.17 – Схема газowego зварювання правим (а) і лівим (б) способами:

1 - метал, що зварюється; 2 - присадний дріт; 3 - пальник;
4 - газове полум'я; 5 - зварний шов

Для зварювання різних металів потрібен певний вид полум'я - нормальне, окислювальне і науглецювальне

Газозварник регулює і встановлює вид зварювального полум'я на око. При ручному зварюванні зварювальник у правій руці тримає пальник, а в лівій - присадний дріт.

Полум'я пальника спрямовується так, щоб зварювані кромки перебували у відновлювальній зоні на відстані 2...6 мм від кінця ядра. Кінець дроту повинен перебувати у відновлювальній зоні або зварювальній ванні.

Швидкість нагріву регулюється зміною кута нахилу мундштука до поверхні металу, що зварюється (рисунок 5.18а). Величину кута вибирають залежно від товщини і роду металу, що зварюється.

Що товщий метал і більша його теплопровідність, то більший кут нахилу мундштука пальника до поверхні металу, що зварюється.

На початку зварювання для кращого прогрівання металу кут нахилу встановлюють більшим, потім у міру прогрівання його зменшують до величини, яка відповідає даній товщині металу, а наприкінці зварювання поступово зменшують, щоб краще заповнити кратер і попередити перепал металу.

У процесі зварювання газовий зварювальник кінцем мундштука пальника здійснює одночасно два рухи; поперечний - перпендикулярно до осі шва і поздовжній - уздовж осі шва.

Основним є поздовжній рух, поперечний слугує для рівномірного прогрівання крайок основного і присадного металу та отримання шва необхідної ширини.

На рисунок 5.18б показані способи переміщення мундштука

пальника по шву. Спосіб 1 рекомендується під час зварювання тонколистової сталі, способи 2 (півмісяцем) і 3 (по спіралі) - під час зварювання металу середньої товщини, спосіб 4 застосовується в тому разі, коли корінь шва потребує більшого прогрівання, ніж кромки.

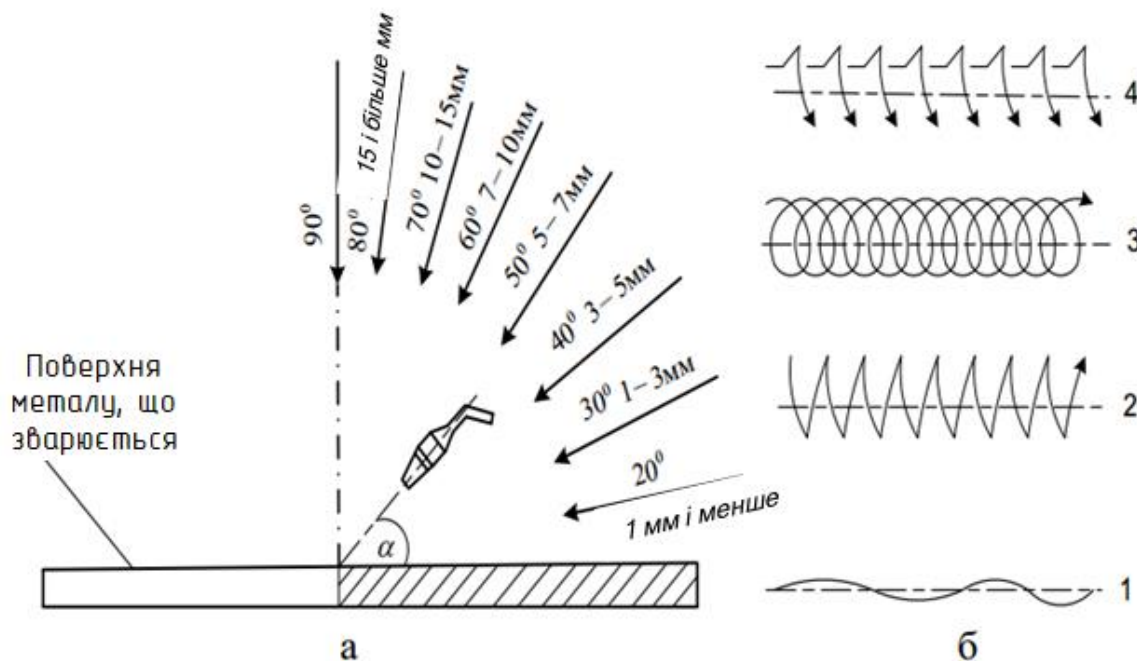


Рисунок 5.18 - Кути нахилу мундштука пальника під час зварювання різної товщини (а) і способи переміщення мундштука пальника (б):

- 1 - зигзагом (хвилястий); 2 - півмісяцем; 3 - по спіралі;
4 - із затримкою в корені шва

Присадним дротом можна здійснювати такі ж коливальні рухи, але в напрямку, зворотному рухам мундштука пальника.

Якість зварного з'єднання значною мірою залежить від правильного вибору режиму і техніки виконання зварювання.

Важливим показником зварювального полум'я є теплова потужність. Потужність полум'я пальника визначається витратою ацетилену в л/год і регулюється наконечниками пальника. Потужність полум'я вибирається залежно від товщини металу, що зварюється, та його властивостей.

Питома потужністю полум'я називається годинна витрата ацетилену в літрах, що припадає на 1 мм товщини металу, що зварюється. Наприклад, під час зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей, чавуну, сплавів міді та алюмінію питома потужність полум'я становить 80...150 л/год·мм, а під час зварювання міді, що має високу теплопровідність, питому потужність вибирають 150...220 л/год·мм. Характер полум'я також вибирають залежно від металу, що зварюється. Наприклад, під час зварювання чавуну і наплавлення твердих сплавів застосовують науглецьовувальне полум'я, а під час зварювання латуні -

окислювальне.

Низьковуглецеві сталі добре зварюються із застосуванням нормального полум'я.

Середньовуглецеві сталі зварюються задовільно, проте під час зварювання можливе утворення в зварному шві та зоні термічного впливу гартівних структур і тріщин. Зварювання виконують злегка науглецьовувальним полум'ям оскільки навіть за невеликого надлишку в полум'ї кисню відбувається істотне вигорання вуглецю. Питома потужність має бути в межах 80...100 л/год·мм. Рекомендується лівий спосіб зварювання, щоб знизити перегрів металу.

У таблиці 5.7 наведено основні технологічні параметри газового зварювання сталей.

Діаметр присадного дроту d , мм, при зварюванні металу товщиною до 15 мм лівим способом визначають за формулою

$$d = S / 2 + 1, \quad (5.9)$$

де S - товщина металу, мм.

За правого способу діаметр дроту беруть рівним половині товщини металу, що зварюється.

При зварюванні металу товщиною понад 15 мм застосовують дріт діаметром 7...8 мм.

Після газового зварювання можна рекомендувати проковку металу шва в гарячому стані і потім нормалізацію з температурою 800...900°C. При цьому метал набуває достатньої пластичності та дрібнозернистої структури.

Кисневе різання

Кисневе різання ґрунтується на властивості металів та їхніх сплавів згоряти в струмені технічно чистого кисню. Різання піддаються метали, що задовольняють таким основним вимогам:

1. Температура плавлення металу має бути вищою за температуру займання його в кисні. Метал, що не відповідає цій вимозі, плавиться, а не згорає. Наприклад, низьковуглецева сталь має температуру плавлення 1500 °C, а запалюється в кисні за температури 1300...1350 °C. Збільшення вмісту вуглецю в сталі супроводжується зниженням температури плавлення і підвищенням температури займання. Тому різання сталі з підвищеним вмістом вуглецю і домішок ускладнюється.

2. Температура плавлення оксидів має бути нижчою за температуру плавлення самого металу, щоб оксиди, що утворюються, легко видувалися і не перешкоджали процесу різання. Наприклад, під час різання алюмінію, температура плавлення якого 660 °C, утворюються оксиди з температурою плавлення 2050 °C. Ці оксиди покривають поверхню металу і припиняють подальший процес різання.

Таблиця 5.7 – Технологічні параметри газового зварювання сталей

Зварювані сталі	Витрата ацетилену, л/год, на 1 мм товщини металу, що зварюється	Зварювальний дріт	Особливості технології
Низьковуглецеві (до 0,25 % С)	Лівий спосіб 100–300 Правий спосіб 120–150	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2, Св-10ГА	Флюс не потрібен. При зварюванні заміниками ацетилену потрібні дроти Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-15ГЮ.
Середньовуглецеві	Лівий спосіб 70–100	Св-18ХС, Св-06Н3	Флюс не потрібен. При товщині сталі понад 3 мм потрібен підігрів: загальний до 250...350 °С або місцевий до 650...700 °С
Високowуглецеві (0,6 % С і більше)	Лівий спосіб 75	Св-18ХС, Св-06Н3	Якісне зварювання отримують при товщині сталі до 5-6 мм. Необхідний загальний підігрів до 250...300 °С у поєднанні з місцевим до 650...700 °С. При вмісті 0,7 % С і більше потрібен флюс - бура
Низьколеговані конструкційні типу: 10ХСНД, 15ХСНД 25ХГСА	Лівий спосіб 75–100 Правий спосіб 100–130	Св-08, Св-08А, Св-10Г2, Св- 18ХГС, Св-8ХМА	Флюс не потрібен
Теплостійкі сталі типу 16М, 15ХМ, 12Х1МФ, 18Х3МВ, 40Х9С2	Лівий спосіб 100	Св-08ХНМ, Св-10НМА, Св-18ХМА, Св-08ХМ	Флюс не потрібен
Високолеговані (хромисті і хромонікелеві)	Лівий спосіб 70	Св-04Х18Н9 Св-06Х18Н9 Св-08Х18Н10В	Необхідний флюс. Його розводять у воді і у вигляді пасти наносять на кромки і зворотний бік шва за 15...20 хв до зварювання. Аустенітні хромонікелеві сталі зварюють швидко, без підігріву, навколо шовну зону захищають мокрим азбестом. Відразу після зварювання необхідне охолодження водою або стисненим повітрям. Якість з'єднань задовільна за товщини сталі до 2 мм. Сталі типу Х13 зварюють з місцевим підігрівом до 200...250 °С. Тонкий лист зварюють лівим способом. Товстий (> 2 мм) тільки правим. Склади флюсів: а) 80 % плавикового шпату; 20 % феротитану; б) 50 % бури, 50 % борної кислоти; в) 80 % бури, 20 % оксиду кремнію

3. Шлаки, що утворюються, мають бути досить рідко текучими і легко видуватися з розрізу.

4. Теплопровідність металу має бути найменшою, оскільки за високої теплопровідності теплота, що передається металу, інтенсивно відводиться від ділянки різання, і підігріти метал до температури займання буде важко.

5. Кількість теплоти, що виділяється під час згоряння металу, має бути якомога більшою. Ця теплота сприяє нагріванню прилеглих ділянок металу і тим самим забезпечує безперервність процесу різання.

Розрізняють два основних види кисневого різання:

- ◆ розділове;
- ◆ поверхневе.

Розділове різання застосовують для вирізки різного виду заготовок, розкрою листового металу, оброблення крайок під зварювання та інших робіт, пов'язаних із розрізанням металу на частини.

Сутність процесу полягає в тому, що метал уздовж лінії нагрівають до температури займання його в кисні, він згорає в струмені кисню, а оксиди, що утворюються, видувуються цим струменем із місця розрізу:



Теплота від горіння металу Q разом із підігрівальним полум'ям розігріває шари, що лежать, і поширюється на всю товщину металу.

Поверхневе різання застосовують для зняття поверхневого шару металу, оброблення канавок, видалення поверхневих дефектів та інших робіт.

Застосовують два види поверхневого різання - стругання і обточування. Під час стругання різак здійснює зворотно-поступальний рух, як стругальний різець. При обточуванні різак працює як токарний різець.

Основним обладнанням для кисневого різання є різак - ручні та машинні.

Різак класифікуються за призначенням - універсальні та спеціальні, за видом різання - для роздільного і поверхневого різання, за принципом змішування газів - інжекторні та безінжекторні.

Найбільшого застосування набули універсальні інжекторні ручні різак для роздільного різання (рисунк 5.19). Вони відрізняються від зварювальних пальників наявністю окремої трубки для подачі кисню і особливим устроєм головки, що складається з двох змінних мундштуків (зовнішнього - для підігрівального полум'я і внутрішнього - для струменя чистого кисню). Ацетилен подається до ніпеля 1, а кисень - до ніпеля 2. Від ніпеля 2 кисень йде за двома напрямками. Одна частина кисню, як у звичайних зварювальних пальниках, надходить в інжектор для утворення горючої суміші, яка виходить через кільцевий зазор між внутрішнім і зовнішнім мундштуком і створює підігрівальне полум'я. Інша частина кисню трубами 3 і 4 надходить у центральний отвір внутрішнього мундштука 5 і утворює струмінь ріжучого кисню.

Залежно від застосовуваного пального газу різачи бувають ацетиленові, бензинові (пари) з підігрівом мундштука і пропанові з дещо більшими отворами в мундштуці порівняно з ацетиленовими.

Основними параметрами режиму кисневого різання є потужність підігрівального полум'я, тиск і швидкість різання (таблиця 5.8).

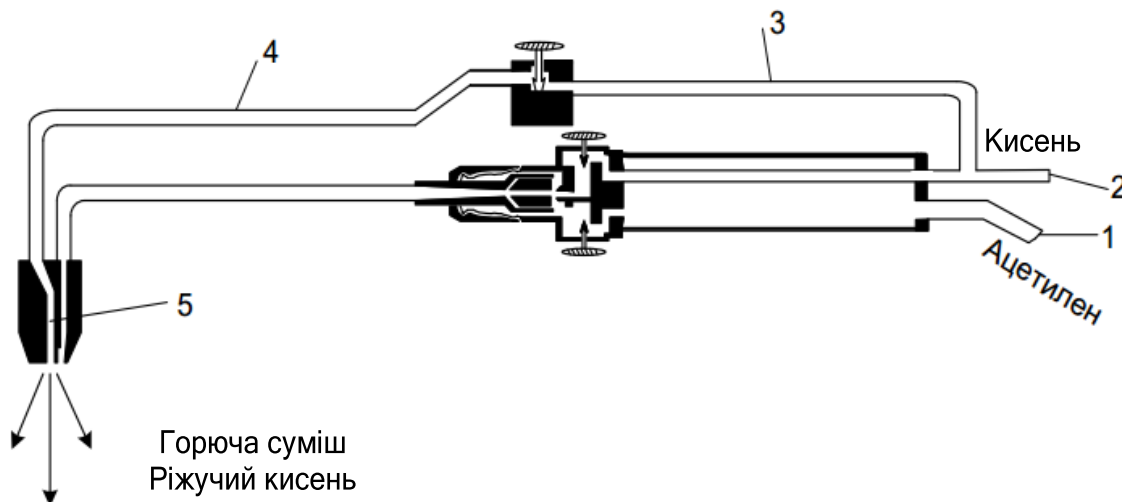


Рисунок 5.8 – Схема газокисневого різача:

- 1 - ніпель для подачі ацетилену; 2 - ніпель для подачі кисню;
3, 4 - трубки для подачі кисню; 5 - внутрішній мундштук

Таблиця 5.8 - Режими ручного різання листового прокату

Товщина металу, що розрізається, мм	Номер мундштука		Тиск кисню, МПа	Приблизна швидкість різання, мм/хв
	зовнішнього	внутрішнього		
8...10	1	1	0,3	550...400
10...25	1	2	0,4	400...300
25...50	1	3	0,6	300...250
50...100	1	4	0,8	250...200
100...200	2	5	1,0	200...130
200...300	2	3	1,2	130...60

Швидкість переміщення різача повинна відповідати швидкості горіння металу.

Процес різання викликає зміну структури, хімічного складу і механічних властивостей металу.

Механічні властивості низьковуглецевої сталі під час різання майже не змінюються. Сталі з підвищеним вмістом вуглецю, марганцю, хрому і молібдену гартуються, стають більш твердими і можуть давати тріщини в зоні різання.

При вмісті в сталі хрому до 5 % різання можливе тільки з попереднім

підігрівом. Нержавіючі хромисті та хромонікелеві сталі, чавуни, кольорові метали та їхні сплави не піддаються звичайному кисневому різанню, оскільки не задовольняють наведеним на початку розділу вимогам.

Для цих металів застосовують киснево-флюсове різання, сутність якого полягає в такому. У зону різання за допомогою спеціальної апаратури безперервно подають порошкоподібний флюс, під час згоряння якого виділяється додаткова теплота, і підвищується температура місця розрізу. Крім того, продукти згоряння флюсу реагують з тугоплавкими оксидами і дають рідко текучі шлаки, які легко впливають з місця розрізу.

Технологія газового зварювання

Якісний зварний шов забезпечується правильним підбором теплової потужності зварювального полум'я, видом полум'я, способом зварювання, кутом нахилу пальника, застосуванням відповідного присадного матеріалу і флюсу.

Теплова потужність зварювального полум'я оцінюється за витратою ацетилену (л/год) і визначається за формулою:

$$q = A \cdot S ,$$

де A - коефіцієнт теплової потужності (для низьковуглецевої сталі $A = 100 - 130$ л/год·мм);

S - товщина металу, що зварюється, мм.

За потужністю полум'я визначають номер наконечника пальника.

Таблиця 5.9 – Витрати ацетилену і кисню при газовому зварюванні

№ наконечника	Товщина зварюваної низьковуглецевої сталі, мм	Витрати газів, л/год	
		Ацетилен	Кисень
0	0,2-0,5	40-50	45-55
1	0,5-1,0	65-90	70-100
2	1,0-2,0	130-180	140-200
3	2,0-4,0	250-350	270-380
4	4,0-7,0	420-600	450-650
5	7,0-11,0	700-950	750-1000
6	11,0-17,0	1130-1500	1200-1650
7	17,0-30,0	1800-2500	2000-2800
8	30,0-50,0	2500-4500	3000-5600
9	750	4500-7000	4700-9300

Під час використання газового зварювання для виготовлення металевих виробів кращим типом з'єднання є стикове. Напускне і таврове з'єднання внаслідок виникнення у виробі значних власних напружень небажані, а при зварюванні виробів великої товщини неприпустимі.

Зварювання сталей завтовшки до 2 мм здійснюється без скосу крайок і без зазору між листами або з відборткуванням крайок без присадного металу. За товщини листа 2 - 5 мм з'єднання встик виконують без скосу крайок, але з відповідним зазором. Сталь завтовшки понад 5 мм зварюють тільки встик із застосуванням одностороннього або двостороннього скосу крайок.

За товщини металу понад 5 мм застосовують правий спосіб зварювання, за якого пальник рухається попереду зварювального дроту зліва направо (рисунк 5.17а). Полум'я спрямоване на наплавлений метал, що сприяє якіснішому формуванню шва, збільшує продуктивність, зменшує витрату ацетилену, але в разі малих товщин може призвести до пропалу металу.

За товщини металу до 5 мм застосовують лівий спосіб зварювання (рисунк 5.17б), за якого пальник рухається справа наліво. Присадний пруток знаходиться зліва від пальника і пересувається попереду полум'я, спрямованого від наплавленого металу в бік основного металу, на нагрівання якого витрачається значна частина тепла, внаслідок чого наплавлений метал швидко охолоджується.

Кут нахилу пальника до зварюваної поверхні залежить від товщини металу. При її збільшенні потрібна велика концентрація тепла і відповідно великий кут нахилу пальника (рисунк 5.18).

Діаметр присадного дроту d (мм) визначають залежно від обраного способу зварювання і товщини зварюваного металу S (мм) за такими формулами:

$$\text{за лівого способу: } d = S/2 + 1;$$

$$\text{за правого способу: } d = S/2.$$

Під час зварювання виробу завтовшки понад 15 мм діаметр дроту приймають не більше ніж 6 - 8 мм.

Як присадний матеріал слід застосовувати дріт або прутки, близькі за хімічним складом до металу виробів, що зварюються. Для зварювання чавуну застосовують спеціальні литі чавунні стрижні; для наплавлення зносостійких покриттів - литі стрижні з твердих сплавів. Для зварювання кольорових металів і деяких спеціальних сплавів використовують флюси, які можуть бути у вигляді порошків або паст. Для зварювання міді та її сплавів - кислі флюси (буру, буру з борною кислотою); для зварювання алюмінієвих сплавів - безкисневі флюси на основі фтористих або хлористих солей літію, калію, натрію і кальцію. Роль флюсу полягає в розчиненні оксидів і утворенні шлаків, які легко спливають на поверхню зварювальної ванни, а також в

охороні розплавленого металу від подальшого окислення в процесі зварювання, покриваючи його тонкою плівкою. У флюси можна вводити елементи, що розкислюють і легують наплавлений метал.

Швидкість зварювання V (м/год) визначається глибиною проплавлення і залежить від властивостей металу.

$$V = C / S,$$

де C - коефіцієнт швидкості зварювання, м мм/год; для вуглецевих сталей $C = 12 - 15$;

S - товщина металу, мм.

Час зварювання t (год) визначають із рівняння:

$$t = L / V ,$$

де L - довжина

V - швидкість зварювання, м/год.

Повна витрата горючого газу Q (л) визначається за формулою:

$$Q = q \cdot t ,$$

де q - теплова потужність зварювального полум'я, л/год;

t - час зварювання, год.

Зміст звіту

1. Описати сферу застосування газового зварювання, його переваги та недоліки.
2. Описати сферу застосування кисневого різання металу.
3. Відповідно до варіанта завдання (таблиця 5.11) для газового зварювання маловуглецевої сталі в нижньому положенні описати технологію, підібрати режим зварювання, розрахувати повну витрату пального газу.
4. Заповнити таблицю результатів розрахунків (таблиця 5.10).
5. Зробити висновки.

Таблиця 5.10 – Вихідні дані та результати розрахунків

№ п/п	Параметр	Розрахункова формула	Чисельне значення
1	Товщина металу, що зварюється, S, мм	табл. 5.11	
2	Довжина шва L, мм	табл. 5.11	
3	Спосіб зварювання (правий, лівий)		
4	Коефіцієнт теплової потужності A, л/год·мм		
5	Теплова потужність полум'я q, л/год		
6	Кут нахилу мундштука пальника, град	Рис. 5.18	
7	Діаметр присадного дроту d, мм		
8	Номер наконечника пальника	табл. 5.6	
9	Коефіцієнт швидкості зварювання C, м-мм/год		
10	Швидкість зварювання V, м/год		
11	Вид полум'я		
12	Час зварювання t, год		
13	Повна витрата горючого газу Q, л		

Таблиця 5.11 – Варіанти завдань для виконання роботи

Номер варіанта	Товщина металу, що зварюється, S, мм	Довжина шва L, мм	Номер варіанта	Товщина металу, що зварюється, S, мм	Довжина шва L, мм
1	0,5	250	16	8,0	500
2	1,0	260	17	8,5	470
3	1,5	270	18	9,0	440
4	2,0	280	19	9,5	410
5	2,5	290	20	10,0	380
6	3,0	300	21	11,0	350
7	3,5	320	22	12,0	320
8	4,0	340	23	13,0	290
9	4,5	360	24	14,0	260
10	5,0	380	25	15,0	230
11	5,5	400	26	16,0	220
12	6,0	420	27	17,0	240
13	6,5	440	28	18,0	310
14	7,0	460	29	19,0	330
15	7,5	480	30	20,0	350

Контрольні питання

1. Назвіть основні типи ацетиленових генераторів за способом взаємодії CaC_2 з водою.
2. Для яких цілей встановлюється водяний затвор в ацетиленовому генераторі?
3. Що називається питомою потужністю полум'я газового пальника?
4. Назвіть основні види зварювального полум'я.
5. Як впливає вміст вуглецю і легуючих домішок на зварювані сталі?
6. Назвіть основні способи газового зварювання.
7. Чи можна робити кисневе різання вуглецевих і легованих сталей, чавуну, алюмінію?
8. Чим відрізняються один від одного різак ацетиленовий, бензиновий і пропановий?
9. Чим відрізняється конструкція різака від конструкції газового пальника?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ГЛАВИ 5

1. Робоча рідина плазмотрона «Мультиплаз-2500» при різанні металів і сплавів:

- а) ацетон;
- б) вода;
- в) гас;
- г) спиртовий розчин.

2. Робоча рідина плазмотрона «Мультиплаз-2500» при зварюванні та пайці металів і сплавів:

- а) ацетон;
- б) вода;
- в) гас;
- г) спиртовий розчин.

3. Пристрій, який регулює заданий тиск і витрату газу при газовому зварюванні:

- а) шланг;
- б) пальник;
- в) пружина редуктора;
- г) електрод.

4. Газ, при спалюванні якого в кисні досягається максимальна температура зварювального полум'я:

- а) ацетилен;
- б) бензин;
- в) бутан;

г) пропан.

5. Сплав, з якого виготовляють вентиль кисневого балона:

- а) бронза;
- б) латунь;
- в) дуралюмін;
- г) сталь.

6. Сплав, з якого виготовляють вентиль ацетиленового балона:

- а) бронза;
- б) латунь;
- в) дуралюмін;
- г) сталь.

7. Співвідношення ацетилену і кисню в суміші в нормальному полум'ї газового пальника:

- а) на один об'єм кисню припадає один об'єм ацетилену;
- б) на один об'єм ацетилену припадає понад 1,3 об'єму кисню;
- в) на один об'єм ацетилену припадає не більше 0,95 об'єму кисню.

8. Співвідношення ацетилену і кисню в суміші в полум'ї газового пальника, що науглерожує:

- а) на один об'єм кисню припадає один об'єм ацетилену;
- б) на один об'єм ацетилену припадає понад 1,3 об'єму кисню;
- в) на один об'єм ацетилену припадає не більше 0,95 об'єму кисню.

9. Співвідношення ацетилену і кисню в суміші в окислювальному полум'ї газового пальника:

- а) на один об'єм кисню припадає один об'єм ацетилену;
- б) на один об'єм ацетилену припадає понад 1,3 об'єму кисню;
- в) на один об'єм ацетилену припадає не більше 0,95 об'єму кисню.

10. Вид полум'я, яке застосовується під час газового зварювання латуні:

- а) науглецьовувальне;
- б) нормальне;
- в) окислювальне.

11. Зварюваність сталі зі збільшенням вмісту вуглецю:

- а) збільшується;
- б) зменшується;
- в) вміст вуглецю в сталі не впливає на зварюваність сталі;
- г) спочатку зростає, потім зменшується.

12. Тип ацетиленових генераторів, у яких ацетилен отримують шляхом

періодичного подавання карбіду кальцію у воду:

- а) ВВ;
- б) ВК;
- в) КВ;
- г) КВВ.

13. Тип ацетиленових генераторів, у яких ацетилен одержують шляхом зіткнення карбіду кальцію з водою залежно від зміни рівня води, яка перебуває в реакційному просторі й періодично витісняється газом, що утворився:

- а) ВВ;
- б) ВК;
- в) КВ;
- г) КВВ.

14. Руйнівний метод контролю якості зварних швів:

- а) зовнішній огляд;
- б) гідравлічне випробування;
- в) металографічне дослідження;
- г) ультразвукове дослідження.

15. Матеріал, який забезпечує захист зварного шва від шкідливого впливу окисної атмосфери шляхом застосування спеціальних електродів:

- а) захисний газ;
- б) обмазка електрода;
- в) присадний матеріал;
- г) флюс.

16. Технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань за рахунок міжатомних і міжмолекулярних сил зв'язку:

- а) кування;
- б) лиття;
- в) прокатка;
- г) зварювання.

17. Потужний стабільний розряд електрики в іонізованій атмосфері газів і парів металів:

- а) іонізація;
- б) лазерний промінь;
- в) поляризація;
- г) електрична дуга.

18. Процес з'єднання деталей нагріванням їх у місці контакту до

пластичного або рідкого стану із застосуванням сильного стиснення:

- а) контактне зварювання;
- б) зварювання вибухом;
- в) зварювання тертям;
- г) холоднопресове зварювання.

19. Сталь, яка має найкращу зварюваність:

- а) високолегована;
- б) низьковуглецева;
- в) середньовуглецева;
- г) високовуглецева.

20. Величина діаметра електрода при ручному дуговому зварюванні залежить:

- а) від джерела живлення;
- б) швидкості переміщення електрода;
- в) товщини металу, що зварюється;
- г) хімічного складу металу, що зварюється.

21. Рід струму, яким слід проводити дугове зварювання тонколистових виробів:

- а) змінний;
- б) постійний;
- в) постійний зворотної полярності;
- г) постійний прямої полярності.

22. Рід струму, яким слід проводити дугове зварювання високолегованих сталей:

- а) змінний;
- б) постійний;
- в) постійний зворотної полярності;
- г) постійний прямої полярності.

23. Домішка в сталі, яка сприяє утворенню в зварному шві гарячих тріщин:

- а) кремній;
- б) марганець;
- в) сірка;
- г) фосфор.

24. Домішка в сталі, яка знижує пластичність і сприяє неоднорідності металу зварного шва:

- а) кремній;
- б) марганець;

- в) сірка;
- г) фосфор.

25. Вид зварювання, за якого застосовується електрична дуга з жорсткою вольтамперною характеристикою:

- а) ручне дугове зварювання;
- б) зварювання в середовищі захисних газів;
- в) зварювання під флюсом;
- г) електрошлакове зварювання.

26. Джерело живлення зварювальної дуги постійним струмом із незалежним приводом:

- а) випрямляч;
- б) генератор;
- в) перетворювач;
- г) трансформатор.

27. Джерело живлення зварювальної дуги постійним струмом з електричним приводом:

- а) випрямляч;
- б) генератор;
- в) перетворювач;
- г) трансформатор.

28. Джерело живлення зварювальної дуги змінним струмом:

- а) випрямляч;
- б) генератор;
- в) перетворювач;
- г) трансформатор.

29. Вид зовнішньої вольтамперної характеристики джерела живлення, що застосовується для ручного дугового зварювання:

- а) зростаюча;
- б) жорстка;
- в) крутопадаюча;
- г) пологопадаюча.

30. Вид зварювання, під час якого механізовано процеси подавання електродного дроту, переміщення виробу вздовж зварюваного стику і насипання флюсу:

- а) автоматичне зварювання під шаром флюсу;
- б) напівавтоматичне зварювання під шаром флюсу;
- в) ручне дугове зварювання;
- г) електрошлакове зварювання.

31. Пристрій, який слугує для зниження високого тиску газу, що надходить із балона до робочого, і для підтримання цього тиску постійним у процесі зварювання:

- а) вентиль;
- б) генератор;
- в) манометр;
- г) редуктор.

32. Колір, у який фарбують кисневі балони:

- а) білий;
- б) блакитний;
- в) червоний;
- г) чорний.

33. Колір, у який фарбують ацетиленові балони:

- а) білий;
- б) блакитний;
- в) червоний;
- г) чорний.

34. Вид полум'я, яке застосовується при газовому зварюванні бронз, алюмінію, низьковуглецевих сталей:

- а) науглецьовувальне;
- б) нормальне;
- в) окислювальне.

35. Вид полум'я, який застосовується при газовому зварюванні чавунів:

- а) науглецьовувальне;
- б) нормальне;
- в) окислювальне.

36. Сплав, який піддається кисневому різанню:

- а) нержавіюча сталь;
- б) низьковуглецева сталь;
- в) сплав кольорових металів;
- г) чавун.

37. Пристрій в ацетиленових генераторах, який слугує для запобігання генератора від проникнення в нього вибухової хвилі при зворотному ударі полум'я:

- а) водяний затвор;
- б) газозбірник;
- в) карбідний осушувач;
- г) реторта.

ТЕМА 6. ПАЯННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

План

- 6.1 Сутність процесу паяння
- 6.2 Припої та флюси
- 6.3 Способи пайки
- 6.4 Типи паяних з'єднань
- 6.5 Лудіння

6.1 Сутність процесу паяння

Пайкою називається процес з'єднання виробів у твердому стані за рахунок розплавленого металу (припою), який під час кристалізації утворює паяний шов [1,2,3].

Процес паяння застосовується для отримання окремих деталей, або для складання вузлів чи остаточного складання виробів.

Паяння широко застосовується в різних галузях промисловості, а в низці випадків є єдиним можливим методом з'єднання деталей. Під час ремонту тракторів, комбайнів і автомобілів пайку широко застосовують для відновлення деталей систем охолодження і живлення двигунів, системи запалювання.

За міцністю паяні з'єднання поступаються зварним. Паяти можна вуглецеві та леговані сталі всіх марок, тверді сплави, кольорові метали, сірі та ковкі чавуни.

У процесі пайки відбувається взаємне розчинення і дифузія припою і основного металу, чим забезпечується міцність, герметичність, електропровідність паяного з'єднання. Під час пайки не відбувається розплавлення основного металу деталей, що спаюються, завдяки чому знижується ступінь викривлення та окислення металу.

Технологічний процес пайки виробу складається з низки операцій і переходів, за допомогою яких у певному порядку він може бути здійснений. Визначальною при цьому є операція пайки. Підготовчі операції процесу забезпечують проведення цієї визначальної операції. Фінішні операції процесу забезпечують необхідні геометричні, механічні та конструкційні характеристики паяних з'єднань і виробів.

Для забезпечення фізичного контакту матеріалу, що паяється, з рідким припоєм необхідна насамперед операція підготовки поверхневих шарів перед пайкою: попереднє видалення жирів, олій, бруду, окалини та оксидних плівок.

Неметалеві плівки можна видаляти механічним і механічним шляхом травлення деталей перед пайкою в спеціальних розчинах. Після травлення необхідна нейтралізація залишків травлення і сушка.

Склади травильних розчинів і режим травлення залежать від складу металу, що паяється, і припою.

Знежирення поверхневих шарів проводять зануренням деталей у водні

розчини лугів з подальшим промиванням водою і сушінням. Сталеві деталі знежирюють 10 %-вим розчином їдкого натру при 70...80 °С. Деталі з міді та її сплавів знежирюють водним розчином тринатрійфосфату, кальцинованої соди і рідкого скла. Для знежирення можливе застосування спирту, ацетону або бензину.

Для прискорення процесу обробки в лужних розчинах застосовують електрохімічне знежирення. Процес ведуть на постійному струмі і розрізняють за способом електродного підключення оброблюваного виробу - анодне або катодне знежирення.

Окисні плівки видаляють механічним або хімічним способами: обробляють напилком, шліфованим папером, металевою щіткою, проводять металопіскоструминну і дробоструминну обробку тощо. Для металевого видалення використовують травлення в розчинах соляної або сірчаної кислоти, нейтралізацію залишків травлення, сушку.

Крім підготовки поверхневих шарів перед пайкою, технологічний процес охоплює такі операції, як складання, пайка, обробка після пайки, контроль якості з'єднання, фіксація для усунення можливості їхнього зсуву під час нагрівання. Велике значення має величина зазору між з'єднуваними крайками.

За характером затікання припою в зазор розрізняють:

- ◆ капілярну (ширина зазору $< 0,5$ мм);
- ◆ некапілярну (ширина зазору ≥ 5 мм) пайку.

При капілярній пайці припій заповнює зазор мимовільно під дією капілярних сил. *Під час некапілярного паяння* заповнення припоєм зазору відбувається під дією гравітації, від'ємного тиску (відкачування повітря з зазору), магнітних, електромагнітних та інших ззовні прикладених сил.

За механізмом утворення шва капілярна пайка поділяється на:

- ◆ пайку з готовим припоєм;
- ◆ дифузійну;
- ◆ контактнореактивну;
- ◆ контактнотермічну.

Під час *капілярної пайки* припій заповнює зазор між поверхнями, що з'єднуються, й утримується в ньому завдяки капілярним силам (рисунок 6.1). З'єднання утворюється завдяки розчиненню основи в рідкому припої та подальшій кристалізації розчину.

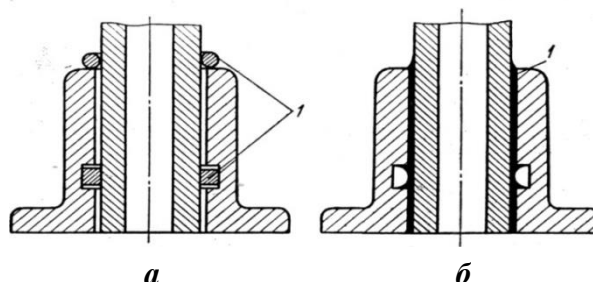


Рисунок 6.1 – Схема капілярної пайки:
а - перед пайкою; б - після пайки; 1 - припій

Під час **дифузійного паяння** з'єднання утворюється завдяки взаємній дифузії компонентів припою і матеріалів, що паяються, причому можливе утворення в шві твердого розчину або тугоплавких крихких інтерметалідів. Для дифузійного паяння необхідна тривала витримка при температурі утворення паяного шва, а після завершення процесу - при температурі, нижчій за солідус припою.

Під час **контактно-реактивної пайки** між металами, що з'єднуються, або металами, що з'єднуються, і про шарком проміжного металу внаслідок контактного плавлення утворюється сплав, який заповнює зазор і в процесі кристалізації утворює паяне з'єднання (рисунок 6.2).

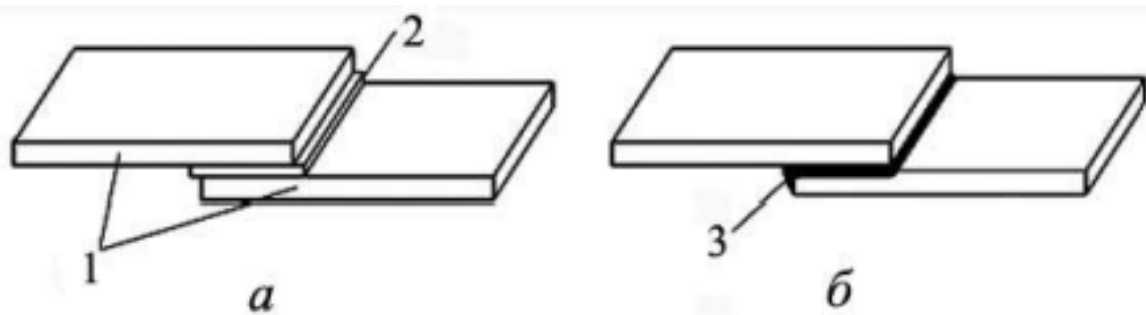


Рисунок 6.2 – Схема контактно-реактивної пайки:
а - перед пайкою; б - після пайки; 1 - мідь; 2 - срібло;
3 - евтектичний сплав міді зі сріблом

При **реактивно-флюсовій пайці** припій утворюється за рахунок реакції витіснення між основним металом і флюсом. Наприклад, під час паяння алюмінію з флюсом $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ відновлений цинк слугує припоєм. Реактивно-флюсову пайку можна вести без припою і з припоєм.

При **пайці-зварюванні** з'єднання утворюється так само, як при зварюванні плавленням, але як присадний метал застосовують припій (рисунок 6.3).

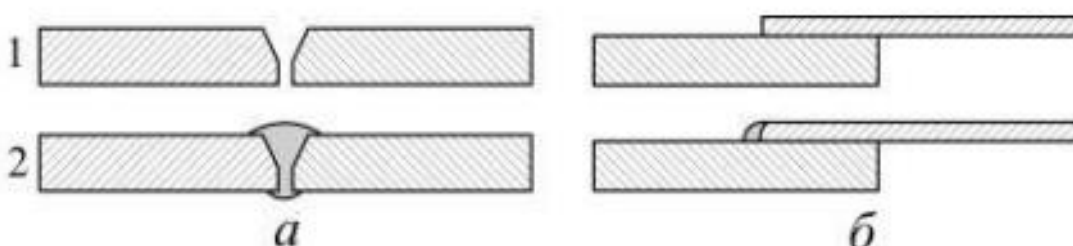


Рисунок 6.3 – Схема паяння-зварювання:
1 – до паяння; 2 – після паяння;
а – без оплавлення кромek деталей; б – з оплавленням кромek однієї деталі.

При **зварюванні-пайці** з'єднують різномірні матеріали із застосуванням місцевого нагріву, при якому більш легкоплавкий матеріал нагрівається до

температури плавлення і виконує роль припою.

Найбільшого застосування набули капілярна пайка і пайка-зварювання. Дифузійна і контактено-реактивна пайки більш трудомісткі, але забезпечують високу якість з'єднання.

Якість паяних з'єднань (міцність, герметичність, надійність тощо) залежить від правильного вибору основного металу, припою, флюсу, способу нагрівання, величини зазорів, типу з'єднання.

6.2 Припої та флюси

Припій - проміжний метал під час паяння. Якість, міцність і експлуатаційна надійність паяного з'єднання насамперед залежать від припою. Не всі метали і сплави можуть виконувати його роль.

Припої повинні мати такі властивості:

- мати температуру плавлення, нижчу за температуру плавлення матеріалів, що паяються;
- у розплавленому стані (у присутності захисного середовища, флюсу або у вакуумі) добре змочувати матеріал, що паяється, і легко розтікатися його поверхнею;
- забезпечувати міцність, пластичність і герметичність паяного з'єднання;
- у парі з матеріалами, що паяються, не утворювати корозійно-нестійкого середовища;
- мати коефіцієнт термічного розширення, близький до коефіцієнта термічного розширення виробу, що паяється;
- складатися з матеріалів, які не є стійкими; мати коефіцієнт термічного розширення, близький до коефіцієнта термічного розширення виробу, який паяється;
- складатися з матеріалів, які не є стійкими до пайки;
- мати коефіцієнт термічного розширення, близький до коефіцієнту термічного розширення виробу, що паяється;
- складатися з матеріалів, які не є дефіцитними і надмірно дорогими.

Припої являють собою сплави кольорових металів складного складу. Усі припої за температурою плавлення поділяють на:

- ◆ особливолегкоплавкі (температура плавлення $< 145^{\circ}\text{C}$);
- ◆ легкоплавкі (температура плавлення $145\ldots 450^{\circ}\text{C}$);
- ◆ середньоплавкі (температура плавлення $450\ldots 1100^{\circ}\text{C}$);
- ◆ тугоплавкі (температура плавлення $> 1050^{\circ}\text{C}$).

До особливолегкоплавких і легкоплавких припоїв належать олов'яно-свинцеві, на основі вісмуту, індію, кадмію, цинку, олова, свинцю.

До середньоплавких і високоплавких припоїв належать мідні, мідно-цинкові, мідно-нікелеві, з благородними металами (сріблом, золотом, платиною). Припої виготовляють у вигляді прутків, дротів, листів, смуг, спіралей, дисків, кілець, зерен тощо, які укладають у місце з'єднання.

Вироби з алюмінію та його сплавів паяють із припоями на алюмінієвій

основі з кремнієм, міддю, оловом та іншими металами. Магній і його сплави паяють припоями на основі магнію з добавками алюмінію, міді, марганцю і цинку. Вироби з корозійностійких сталей і жароміцних сплавів, що працюють за високих температур (понад 500 °C), паяють тугоплавкими припоями на основі заліза, марганцю, нікелю, кобальту, титану, цирконію, гафнію, ніобію і паладію.

Флюси паяльні застосовують для очищення поверхні металу, що паяється, а також для зниження поверхневого натягу і поліпшення розтікання і змочуваності рідкого припою. Флюс (крім реактивно-флюсового паяння) не повинен хімічно взаємодіяти з припоєм. Температура плавлення флюсу має бути нижчою за температуру плавлення припою. Флюс у розплавленому і газоподібному станах повинен сприяти змочуванню поверхні основного металу розплавленим припоєм. Флюси можуть бути тверді, пастоподібні та рідкі. Для пайки найбільш застосовні флюси: бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ і борна кислота H_3BO_3 , хлористий цинк ZnCl_2 , фтористий калій KF та ін.

Розрізняють флюси для м'яких і твердих припоїв, а також для пайки алюмінієвих сплавів, нержавіючих сталей і чавуну.

Флюси для м'яких припоїв - хлористий цинк, нашатир, каніфоль.

Флюси для твердих припоїв - бура, борна кислота.

Для паяння алюмінію та його сплавів широко використовується флюс марки 34А, що складається з 10 % фтористого натрію, 8 % хлористого цинку, 32 % хлористого літію і 50 % хлористого калію.

Для пайки нержавіючих сталей часто використовують пастоподібну суміш бури і борної кислоти (порівну), замішану в насиченому розчині хлористого цинку. Застосовують також флюс 200, що складається з 70 % борної кислоти, 21 % бури і 9 % фтористого калію. Флюс придатний для паяння конструкційних і нержавіючих сталей, а також жароміцних сплавів латунню і твердими сплавами.

Флюсом для пайки чавуну (сірого або ковкого) слугує бура (60 %) з добавкою хлористого цинку (38 %) і марганцевокислого калію (2 %). До флюсу, крім того, входить перекис марганцю або хлорат калію, що сприяють вигорянню графіту з поверхні металу і таким чином забезпечують отримання чистої, добре змочуваної припоєм поверхні.

Для паяння свинцевих сплавів флюсом може служити стеарин.

6.3 Способи паяння

Способи пайки класифікують залежно від використовуваних джерел нагріву. Найпоширенішими в промисловості є пайка:

- ♦ в печах;
- ♦ індукційна;
- ♦ зануренням;
- ♦ газополум'яна;
- ♦ паяльниками.

При *пайці в печах* з'єднувані заготовки нагрівають в камерних печах:

електроопору, з індукційним нагріванням, газополум'яних і газових. Припій заздалегідь закладають у шов зібраного вузла, на місце пайки наносять флюс і потім виріб поміщають у піч, де його нагрівають до температури пайки. Припій розплавляється і заповнює зазори між з'єднуваними заготовками. Процес пайки триває кілька годин. Цей спосіб забезпечує рівномірний нагрів деталей, що з'єднуються, без помітної їхньої деформації.

Під час **індукційної пайки** ділянку, що паяється, нагрівають в індукторі. Через індуктор пропускають струм високої частоти, внаслідок чого місце пайки нагрівається до необхідної температури. Для запобігання окисленню виріб нагрівають у вакуумі або в захисному середовищі із застосуванням флюсів. Індуктор виконаний у вигляді петлі або спіралі з червоної міді. Форми і розміри індуктора залежать від конструкції виробу, що паяється.

Пайку зануренням виконують у ваннах із розплавленими солями або припоями. Соляна суміш зазвичай складається з 55 % KCl і 45 % HCl. Температура ванни 700...800 °C. На поверхню, що паяється, попередньо очищену від бруду і жиру, наносять флюс, між крайками або біля місця з'єднання розміщують припій, потім деталі скріплюють і занурюють у ванну. Соляна ванна оберігає місце пайки від окислення. Перед зануренням у ванну з розплавленим припоєм покриті флюсом деталі нагрівають до температури 550 °C. Поверхні, що не підлягають пайці, оберігають від контакту з припоєм спеціальною обмазкою з графіту з добавками невеликої кількості вапна. Пайку зануренням у розплавлений припій використовують для сталевих, мідних і алюмінієвих сплавів, деталей складних геометричних форм. На цей процес витрачається велика кількість припою.

Під час **газополум'яної пайки** заготовки нагрівають, і припій розплавляють газозварювальними, плазмовими пальниками і паяльними лампами. Під час пайки газозварювальними пальниками як горючі гази використовують ацетилен, природні гази, водень, пари гасу тощо. При використанні газового полум'я припій можна заздалегідь поміщати біля місця пайки або вводити в процесі пайки вручну. На місце пайки попередньо наносять флюс у вигляді рідкої пасти, розведеної водою або спиртом, кінець прутка припою також покривають флюсом.

Плазмовим пальником, що забезпечує вищу температуру нагрівання, паяють тугоплавкі метали - вольфрам, тантал, молібден, ніобій тощо.

Під час **паяння паяльниками** основний метал нагрівають, і припій розплавляють за рахунок теплоти, акумульованої в масі металу паяльника, який перед пайкою або в процесі її підігрівують. Для низькотемпературного паяння застосовують паяльники з періодичним нагріванням, з безперервним нагріванням і ультразвукові. Робочу частину паяльника виконують із червоної міді. Паяльник з періодичним нагріванням у процесі роботи періодично підігрівують від стороннього джерела теплоти. Паяльники з постійним нагріванням роблять електричними. Паяльники з періодичним і безперервним нагріванням частіше використовують для флюсової пайки

чорних і кольорових металів легкоплавкими припоями з температурою плавлення нижче 300...350 °С.

Ультразвукові паяльники застосовують для безфлюсової пайки на повітрі та для пайки алюмінію. Окисні плівки руйнуються за рахунок коливань ультразвукової частоти.

Підготовка паяльника полягає в заточуванні його під кутом 30...40° і очищенні від слідів окалини. Для здійснення пайки обушок паяльника нагрівають до 250...300 °С (при пайці дрібних деталей) і до 340...400 °С (при пайці великих). Потім робочий кінець (обушок) паяльника занурюють у флюс, залуджують припоєм і розігрівають підготовлені до пайки деталі в місцях з'єднання. Одночасно на шов наносять припій, який розплавляють паяльником і вводять у зазор, де він, охолоджуючись, утворює шов. Міцність з'єднання 50...70 кгс / см². Стежать, щоб паяльник не перегрівався, оскільки перегрів вище 400 °С підвищує окалиноутворення і ускладнює лудіння наконечника.

Під час паяння твердими припоями заздалегідь підготовлені до паяння і оброблені флюсом частини виробів нагрівають разом із припоєм до температури його плавлення. Як флюси застосовують буру, сіль борної кислоти, фтористий калій тощо.

6.4 Типи паяних з'єднань

При застосуванні вказаних вище засобів паяння отримують основні типи паяних з'єднань, які наведені на рисунку 6.4.[3]

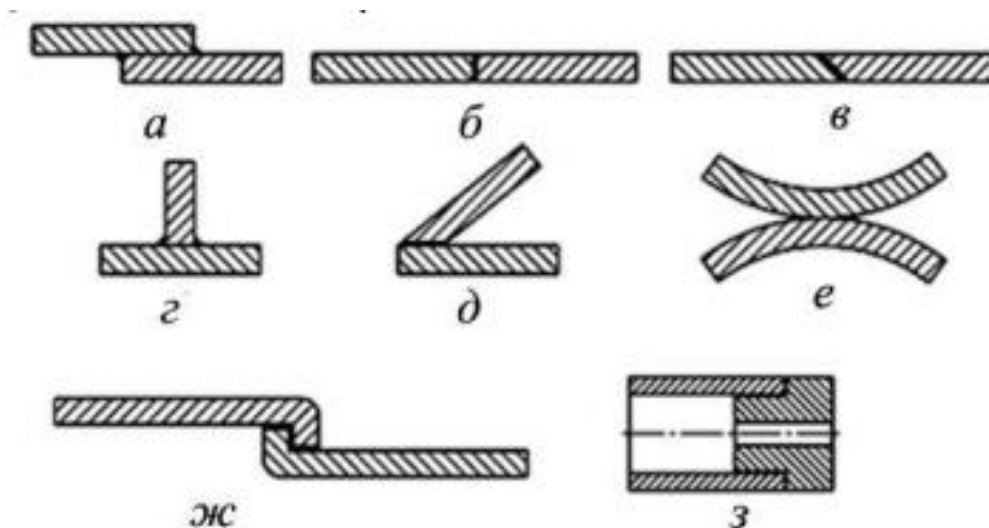


Рисунок 6.4 – Основні типи паяних з'єднань

Для забезпечення експлуатаційних характеристик паяного виробу, насамперед, необхідні висока якість і надійність паяного з'єднання, яке за несприятливих умов може перетворитися на «слабку ланку» паяної конструкції. При цьому найважливішу роль відіграє правильний вибір типу паяного з'єднання і сумісність його з технологічним процесом, тобто зі

способом паяння, технологічними й допоміжними матеріалами і його оснащенням. Тип паяного з'єднання визначається розташуванням деталей, що з'єднують. У випадку розташування деталей внапусток (див. рисунок 6.4а), впритул (див. рисунок 6.4б) або у косий стик (див. рисунок 6.4в) поверхня спаю паралельна їхньої осьової лінії. Зазначені типи паяних швів використовують для паяння деталей, що продовжують одна іншу. Такі види з'єднань застосовуються особливо широко. З'єднання у косий стик зазвичай застосовують для паяння труб і листів товщиною більше 1 мм, а також бокових стінок посудин із вставленими днищами. Деталі, що перетинаються, можуть бути запаяні в тавр (рисунок 6.4г) або в кут (рисунок 6.4д). При цьому поверхня спаю розташована під кутом до осьової лінії деталей або паралельно однієї з них і перпендикулярно до іншої. Дотичні деталі паяють уздовж лінії торкання або в точці дотику (рисунок 6.4е). Поверхня спаю у всіх розглянутих типах з'єднань може бути плоскою або криволінійною. Паяні шви можуть бути замкнутими й незамкнутими. З'єднання з незамкнутими паяними швами називають пластинчастими (рисунок 6.4ж). Із трубчастих з'єднань із замкнутим швом частіше інших застосовують телескопічні, що являють собою з'єднання внапусток деталей, які продовжують одна іншу. Особливо широке застосування одержало паяння труб різного діаметра: по внутрішній поверхні труби більшого діаметра та по зовнішній поверхні труби меншого діаметра (рисунок 6.4з).

6.5 Лудіння

Лудінням називається покриття поверхонь металевих виробів тонким шаром металу або сплаву, який відповідає призначенню виробу (олово, сплав олова зі свинцем тощо). Шар, що наноситься, називається *полудою*.

Лудіння, як правило, застосовують під час підготовки деталей до паяння, а також для запобігання виробів від корозії (наприклад, вироби для приготування і зберігання їжі).

Лудіння здійснюється двома способами: зануренням у розплавлену полуду (невеликі вироби) і розтиранням (великі вироби).

Лудіння зануренням виконують у чистому металевому посуді, куди закладають і розплавляють полуду, насипаючи на поверхню маленькі шматочки деревного вугілля для запобігання окисленню. Повільно зануливши в розплавлену полуду, виріб тримають у ній до прогрівання, потім виймають, швидко струшуючи. Лишки полуди знімають, протираючи клоччям, обсипаним порошкоподібним нашатирем. Потім виріб промивають у воді і сушать у деревній тирсі.

Лудіння розтиранням виконують, попередньо нанісши на очищене місце волосяною щіткою або клоччям хлористий цинк. Потім рівномірно нагрівають поверхню виробу до температури плавлення полуди, яка наноситься від прутка.

Обсипавши клоччя порошкоподібним нашатирем, розтирають нагріту поверхню так, щоб на ній полуда розподілялася рівномірно. Після закінчення

лудіння виріб промивають.

Контрольні питання

- 6.1 Що таке паяння?
- 6.2 У яких випадках застосовується паяння металів і сплавів?
- 6.3 Назвіть способи паяння.
- 6.4 Які матеріали піддаються паянню?
- 6.5 Назвіть підготовчі операції паяння.
- 6.6 У чому відмінність капілярного від некапілярного паяння?
- 6.7 Якими властивостями повинні володіти припої?
- 6.8 Якими припоями паяють вироби з кольорових металів та їхніх сплавів, залізовуглецевих сплавів?
- 6.9 Для чого під час паяння застосовують флюси?
- 6.10 Назвіть флюси для м'яких і твердих припоїв.
- 6.11 Які флюси застосовують під час паяння нержавіючих сплавів, чавунів, алюмінієвих і свинцевих сплавів?
- 6.12. У яких випадках використовують пайку паяльниками?
- 6.13. Коли застосовують газополум'яну пайку?
- 6.14. Що таке лудіння металевих виробів?
- 6.15. Назвіть способи лудіння.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПАЯНИХ ШВІВ ПІД ЧАС ПАЯННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИПОЇВ І ФЛЮСІВ РІЗНИХ МАРОК

Мета заняття. Застосування отриманих теоретичних знань на практиці.

Порядок роботи

- 1 Ознайомитися з теоретичною частиною.
2. Визначити якість паяних швів.
3. Зробити висновки.
4. Оформити звіт.
5. Відповісти на контрольні запитання.

Теоретичні відомості

Припій - це легкоплавкий сплав металів, призначений для з'єднання проводів, виводів, деталей і вузлів пайкою. Припої позначають трьома літерами - ПОС (припій олов'яно-свинцевий), за якими йде двозначне число, що показує вміст олова у відсотках, наприклад ПОС-40, ПОС-60.

Флюси для пайки

Для чого при пайці потрібен флюс? Під час пайки температура деталей, що з'єднуються, значно підвищується. При цьому швидкість окислення металевих поверхонь зростає. У підсумку припій гірше змочує деталі, що з'єднуються. Тому необхідно використовувати допоміжні речовини, флюси.

Що таке флюс? **Флюс** - це допоміжний матеріал, який покликаний під час паяння видаляти оксидну плівку з деталей, що піддаються пайці, і забезпечувати гарне змочування поверхні деталі рідким припоєм. Без флюсу припій може не прикріпитися до поверхні металу. Призначення флюсів: надійно захищають поверхню металу і припою від окислення, покращують умови змочування металевої поверхні розплавленим припоєм.

Дія флюсу залежить від його складу, наявні флюси: або розчиняють окислювальні плівки на поверхні металу (а інколи й сам метал), або оберігають метал від окиснення під час нагрівання. Таким чином, флюс утворює захисну плівку над місцем пайки.

Пайка паяльником

Паяння паяльником належить до найпоширеніших і найпростіших способів паяння, проте воно має два суттєвих обмеження. По-перше, паяльником можна паяти тільки низькоплавкими (м'якими) припоями, а по-друге, ним не можна (або, в усякому разі, важко) паяти масивні деталі з великим тепловідведенням - через неможливість прогріти їх до температури плавлення припою. Останнє обмеження долають, підігріваячи деталь, що паяється, зовнішнім джерелом тепла - газовим пальником, електричною або газовою плитою чи якимось іншим способом, - але це ускладнює процес пайки.

Перед тим як паяти паяльником, потрібно обзавестися всім необхідним. До основних інструментів і матеріалів, без яких пайка неможлива, належать сам паяльник, припій і флюс.

Паяльники

Залежно від способу нагріву паяльники бувають «звичайними»-електричними (зі спіральним або керамічним нагрівачем) (рисунок 6.3).



Рисунок 6.3 – Електричні паяльники

Основним параметром, за яким підбирається паяльник, є його потужність, що визначає величину теплового потоку, який передається до деталей, що паяються. Для пайки електронних компонентів використовуються прилади потужністю до 40 Вт. Тонкостінні деталі (з товщиною стінки до 1 мм) вимагають потужності 80-100 Вт.

Для деталей з товщиною стінки 2 мм і більше знадобляться паяльники потужністю понад 100 Вт. Такими є, зокрема, молоткові електричні паяльники, що споживають до 250 Вт і вище. До найбільш енергоємних паяльників належить, наприклад, молотковий паяльник Ersa 550 потужністю 550 Вт.



Рисунок 6.4 - Паяльник Ersa 550

Він здатний нагріватися до температури 600°C і призначений для паяння особливо масивних деталей - радіаторів, деталей машин. Але у нього неадекватна ціна

Припої

Під час паяння електричними паяльниками застосовують низькотемпературні олов'яно-свинцеві (ПОС-30, ПОС-40, ПОС-61), олов'яно-сріблясті (ПСр-2, ПСр-2.5) або інші припої і чисте олово.

До недоліків припоїв, що містять свинець, належить шкідливість останнього, до переваг - краща якість пайки, ніж у безсвинцевих припоїв. Для паяння харчового посуду застосовується чисте олово.



Рисунок 6.5 – Припій ПОС-61

Флюси

Прийнято вважати, що добре паяються олово, срібло, золото, мідь, латунь, бронза, свинець, нейзильбер. Задовільно - вуглецеві та низьколеговані сталі, нікель, цинк. Погано - алюміній, високолеговані та нержавіючі сталі, алюмінієва бронза, чавун, хром, титан, магній. Однак, не заперечуючи цих даних, можна стверджувати - немає погано паяного металу, є погана підготовка деталі, неправильно підібраний флюс і неправильний температурний режим.

Підібрати під час пайки потрібний флюс - значить вирішити головну проблему пайки. Ми будемо використовувати флюси на основі коніфолі. Саме якість флюсу визначає насамперед пайку того чи іншого металу, легкість або складність самого процесу пайки і міцність з'єднання. Флюс має відповідати матеріалу виробів, що паяються, - своєю здатністю руйнувати його окисну плівку.

Ефективними флюсами для пайки сталі є водний розчин хлористого цинку, паяльні кислоти на його основі, флюс ЛТІ-120. Можна використовувати й інші, сильніші флюси, яких на ринку предостатньо.

Допоміжні матеріали та пристосування

Без деяких пристосувань і матеріалів, що використовуються під час паяння, можна обійтися, але їхня наявність робить роботу значно зручнішою і комфортнішою.

Підставка для паяльника служить для того, щоб нагрітий паяльник не торкався столу або інших предметів. Якщо вона не йде в комплекті з паяльником, її купують окремо або роблять самостійно. Найпростішу підставку можна виготовити з тонкого листа бляхи, вирізавши в ньому пази для укладання інструменту.

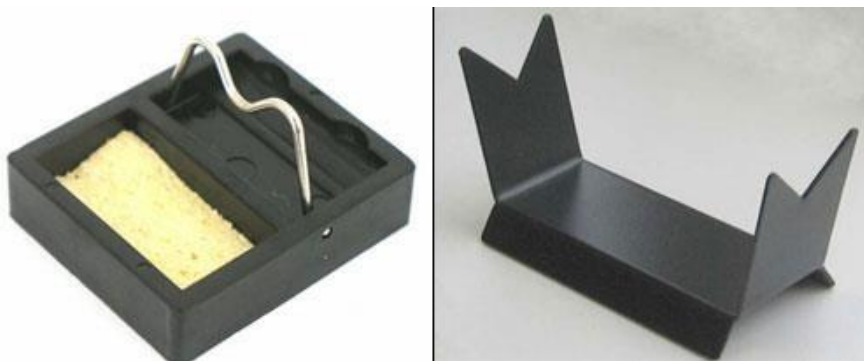


Рисунок 6.6 – Підставки для паяльника

Вологою віскозною або поролоною губкою, покладеною в гніздо для запобігання випаданню, набагато зручніше очищати кінчик паяльника, ніж звичайною ганчіркою. Для цих же цілей може служити і латунна стружка.

Видаляти надлишки припою з поверхні деталей можна за допомогою спеціального відсмоктувача або обплетення. Перший зовнішнім виглядом і конструкцією нагадує шприц, оснащений пружиною. Перед використанням

його потрібно звести, втопивши головку штока. Піднісши носик до розплавленого припою, пружину спускають, натиснувши на кнопку спуску. У результаті надлишок припою втягується всередину знімної головки.



Рисунок 6.7 – Підставка для паяльника з порожниною для металевої стружки
Тримач для пайки «Третя рука»

Деталі, що паяються, нагріваються до високої температури, доторкнувшись до них можна обпектися. Тому бажано мати різні затискні пристрої, що дають змогу маніпулювати нагрітими деталями: плоскогубці, пінцети, затискачі.

Підготовка паяльника до роботи

Під час першого ввімкнення паяльника в мережу він може почати диміти. Нічого страшного в цьому немає, просто вигорають масла, використані для консервації паяльника. Потрібно просто провітрити приміщення.



Рисунок 6.8 – Тримач для паяння

Перед використанням паяльника потрібно підготувати його наконечник. Підготовка залежить від його вихідного виду. Якщо наконечник виконаний з непокритої міді, його кінчик можна викувати у вигляді викрутки, це ущільнить мідь і додасть їй підвищеної стійкості від зношування. Можна і просто заточити на наждаку або напилком, надавши йому необхідну форму - у вигляді гострого або усіченого конуса з різним кутом, чотиригранної піраміди, кутового скосу з одного боку. Для запобігання окисленню міді використовуються металеві покриття з нікелю. Якщо паяльник має таке покриття, то кувати і заточувати його не можна, щоб уникнути пошкодження покривного шару.

Існує уніфікований ряд форм наконечників, але можна, зрозуміло, використовувати будь-яку форму, яка підходить для конкретної роботи.



Рисунок 6.9 – Наконечники (жала) для паяльника

Підготовка деталей до пайки

Перш за все, це очищення деталі від забруднень і знежирення. Тут немає ніяких особливих тонкощів - потрібно за допомогою розчинників (бензину, ацетону або інших) очистити деталь від масел, жирів, бруду. Якщо є іржа, її потрібно видалити будь-яким відповідним механічним способом - за допомогою наждачного круга, дротяної щітки або наждачного паперу. У разі високолегованих і нержавіючих сталей бажано обробити з'єднуються кромки абразивним інструментом, оскільки оксидна плівка цих металів особлива міцна.

Температура пайки

Температура нагріву паяльника - найважливіший параметр, від температури залежить якість пайки. Недостатня температура проявляє себе тим, що припій не розтікається по поверхні виробу, а лягає грудкою, незважаючи на підготовку поверхні флюсом. Але навіть якщо пайка зовні і вийшла (припій розплавився і розтікся по стику), паяне з'єднання виходить пухким, матовим за кольором, має низьку механічну міцність.

Температура пайки (температура деталей, що паяються) повинна на 40-80°C перевершувати температуру плавлення припою, а температура нагріву

наконечника - на 20-40°C температуру пайки. Остання вимога обумовлюється тим, що під час зіткнення з деталями, що паяються, температура паяльника буде знижуватися через відведення тепла. Таким чином, температура нагріву наконечника повинна перевершувати температуру плавлення припою на 60-120°C. Якщо використовується паяльна станція, то необхідна температура просто встановлюється регулятором. При використанні паяльника без регулювання температури, оцінювати її фактичне значення, при використанні як флюсу каніфолі, можна за поведінкою каніфолі при дотику паяльника. Вона повинна скипати і рясно виділяти пару, але не згорати миттєво, а залишатися на наконечнику у вигляді киплячих крапель.

Перегрів паяльника також шкідливий, він викликає згоряння і обуглювання флюсу до моменту активації ним поверхні спаю. Про перегрів свідчить темна плівка оксидів, що виникає на припої, який перебуває на кінчику паяльника, а також те, що він не утримується на «жалі», стікаючи з нього.

Техніка пайки паяльником

Існує два основних способи пайки паяльником:

- ◆ подача (злив) припою на деталі, що паяються, з кінчика паяльника.
- ◆ подача припою безпосередньо на деталі, що паяються (на майданчик).

За будь-якого способу необхідно спочатку підготувати деталі до пайки, встановити і закріпити їх у вихідному положенні, розігріти паяльник і змочити місце спаю флюсом. Подальші дії відрізняються залежно від того, який спосіб використовується.

Під час подачі припою з паяльника, на ньому розплавляють деяку кількість припою (щоб утримувалося на кінчику) і притискають «жало» до деталей, які паяються. При цьому флюс почне скипати і випаровуватися, а розплавлений припій переходить з паяльника на спай. Рухом наконечника вздовж майбутнього шва забезпечують розподіл припою по стику.

Нанесення припою на жало паяльника

Припою на желе може бути достатньо, якщо жало просто набуло металевого блиску. Якщо форма жала помітно змінилася, значить припою занадто багато.

При подачі припою безпосередньо на спай, паяльником спочатку розігрівають деталі до температури пайки, а потім подають припій на деталь або в стик між паяльником і деталлю. Розплавляючись, припій заповнюватиме стик між деталями, що паяються. Вибирати, як саме паяти паяльником - першим або другим способом - слід залежно від характеру виконуваної роботи. Для дрібних деталей краще підходить перший спосіб, для великих - другий.

До основних вимог якісної пайки належать:

- ◆ хороше прогрівання паяльника і деталей, що паяються;
- ◆ достатня кількість флюсу;

♦ введення потрібної кількості припою - рівно стільки, скільки потрібно, але не більше.



Рисунок 6.10 – На паяльник нанесено занадто багато припою

Ось кілька порад про те, як правильно паяти паяльником.

Якщо припій не тече, а розмазується, отже, температура деталей не досягла потрібних значень, потрібно збільшити температуру нагрівання паяльника або взяти потужніший прилад.

Не потрібно вносити занадто багато припою. Якісна пайка передбачає наявність у спаї мінімально достатньої кількості матеріалу, за якої шов виходить злегка увігнутим. Якщо припою виявилось занадто багато, не потрібно намагатися його кудись прилаштувати на стику, краще видалити відсмоктуванням або обплетенням.

Про якість спаю свідчить його колір. Висока якість - спай має яскравий блиск. Недостатня температура робить структуру спаю зернистою, губчастою - це однозначний брак. Перепалений припій має матовий вигляд і знижену міцність, що в деяких випадках може бути цілком допустимо.

При використанні активних (кислотних) флюсів потрібно обов'язково змивати після пайки їхні залишки - яким-небудь мийним засобом або звичайним лужним милом. В іншому разі не можна дати гарантії, що через деякий час з'єднання не буде зруйноване корозією від кислот, що залишилися.

Лудіння

Лудіння - покриття поверхні металу тонким шаром припою - може бути як самостійною, кінцевою операцією, так і проміжним, підготовчим етапом пайки. Коли це підготовчий етап, успішне лудіння деталі здебільшого означає, що найважчу частину паяльної роботи (з'єднання припою з металом) зроблено, припаяти облуджені деталі одну до одної зазвичай уже не складає особливих труднощів.

Лудіння дротів. Лудіння кінчиків електропроводів - одна з найчастіших операцій. Її здійснюють перед припаюванням проводів до контактів, спаюванням між собою або для забезпечення кращого контакту з клемми при приєднанні за допомогою болтів. З облудженого багатожильного дроту зручно зробити кільце, що забезпечує зручність при кріпленні до клемми і хороший контакт.

Дроти можуть бути одножильними і багатожильними, мідними і алюмінієвими, покритими лаком чи ні, чистими новими або закисленими старими. Залежно від цих особливостей і різняться їхнє обслуговування.

Найпростіше лудити одножильний мідний дріт. Якщо він новий, то не покритий оксидами і лудиться навіть без зачистки, потрібно просто нанести на поверхню дроту флюс, нанести на нагрітий паяльник припій і поводити по дроту паяльником, злегка повертаючи при цьому дріт. Як правило, лудіння проходить без проблем.

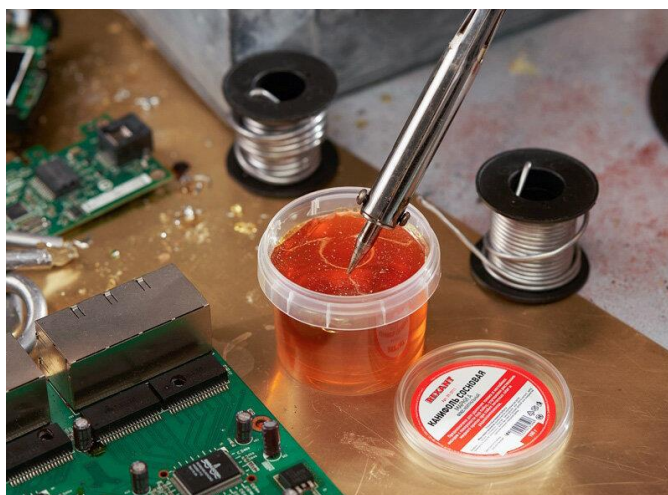


Рисунок 6.11 – Нанесення флюсу

Лудіння дроту

Якщо ж провідник не хоче лудитися - через наявність лаку (емалі) - допомагає звичайний аспірин. Знання про те, як паяти паяльником за допомогою таблетки аспірину (ацетилсаліцилова кислота), у деяких випадках може виявитися дуже корисним. Потрібно покласти її на дощечку, притиснути до неї провідник і прогріти його протягом кількох секунд паяльником. При цьому таблетка починає плавитися, і кислота, що утворюється, руйнує лак. Після цього дріт зазвичай лудиться легко.

Якщо немає аспірину, прибрати з поверхні провідника лак, що заважає лудінню, допомагає і хлорвінілова ізоляція від електропроводів, яка під час нагрівання виділяє речовини, що руйнують лакове покриття. Потрібно притиснути паяльником дріт до шматочка ізоляції і кілька разів протягнути його між ізоляцією і паяльником. Після чого облудити дріт у звичайному порядку. Під час зачищення від лаку за допомогою наждачного паперу або ножа нерідко трапляються надрізи й обриви тонких жил дроту. Під час зачищення шляхом випалу дріт може втратити міцність і легко зламатися.

Слід враховувати, що розплавлений поліхлорвініл і аспірин виділяють у повітря шкідливі для здоров'я речовини.

Ще, для покритих лаком (емаллю) проводів можна придбати спеціальний флюс, що видаляє лак.

Зміст звіту

1. Дати визначення процесу паяння.
2. Пояснити фізичну суть процесу: – капілярного паяння; – некапілярного паяння.
3. Описати особливості процесу паяння: – в печах; – індукційного паяння; – паяння зануренням; – газополум'яного паяння; – паяння при нагріванні пальниками; – паяння при нагріванні паяльниками.
4. Відповісти на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Дайте визначення, що таке припої, їхнє призначення.
2. Дайте визначення, що таке флюси їхнє призначення.
3. Чим відрізняються один від одного легкоплавкі та тугоплавкі припої.
4. Від чого залежить якість паяних швів.
5. Якою маркою припою користуємося під час паяння в побуті.
6. Якою маркою флюсу користуємося під час паяння в побуті.
7. Припої мають властивості...
8. Марці припою ПОСК відповідає припій, що складається з...
9. Марці припою ПСр-70 відповідає припій, що містить 70% припою,...
10. Процес паяння ускладнюється, якщо поверхні деталей, що з'єднуються...

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ГЛАВИ 6

- 1. Спосіб пайки, за якого ділянку, що паяється, нагрівають в індукторі:**
 - а) індукційна пайка;
 - б) пайка в печах;
 - в) пайка паяльником;
 - г) пайка зануренням.
- 2. Спосіб паяння, за якого паяння виконують у ваннах із розплавленими солями або припоями:**
 - а) газополум'яна пайка;
 - б) пайка в печах;
 - в) пайка паяльником;
 - г) пайка зануренням.
- 3. Процес покриття поверхні металів тонким шаром припою (оловом):**
 - а) легування;
 - б) лудіння;
 - в) розкислення;
 - г) рафінування.
- 4. З'єднання металевих деталей у твердому стані за допомогою**

розплавленого присадного сплаву (металу):

- а) дифузійне зварювання;
- б) пайка;
- в) зварювання;
- г) ультразвукове зварювання.

5. Матеріал, який застосовують для очищення поверхні металу, що паяється, а також для зниження поверхневого натягу і поліпшення розтікання та змочуваності рідкого припою:

- а) легувальна добавка;
- б) припій;
- в) присадний дріт;
- г) флюс.

6. Дайте визначення пайки.

- а) процес утворення механічного та електричного контакту між металевими поверхнями;
- б) процес отримання нероз'ємного з'єднання за допомогою встановлення зв'язків між частинами виробу під час їх нагрівання;
- в) процес виготовлення заготовок, що полягає в заповненні ливарної форми рідким матеріалом з подальшим його затвердінням;
- г) процес, що застосовується для отримання виробів складного поперечного перерізу з пластичних кольорових металів та їхніх сплавів, а також зі сталі.

7. Які припої найширше застосовуються в аматорській практиці? (Виберіть 2 правильні відповіді)

- а) тугоплавкі;
- б) олов'яні;
- в) легкоплавкі;
- г) сталеві.

8. Який паяльник можна використовувати за відсутності електрики?

- а) електричний паяльник;
- б) газовий паяльник;
- в) бездротовий паяльник СТ-30А;
- г) паяльник СТ-86.

9. Виберіть неправильне твердження з правил про техніку безпеки під час паяння.

- а) перевірити цілісність шнура, штепсельної вилки та розетки;
- б) не працювати в приміщеннях із підвищеною вологістю;
- в) не працювати вологими руками;
- г) під час вимкнення потягнути за дріт.

10. Міцність зчеплення при пайці з поверхнями, що з'єднуються, залежить:

- а) від фізико-хімічних процесів і дифузії;
- б) правильного вибору флюсу;
- в) здатності припаю розчинятися в основному металі;
- г) швидкого затвердіння шва.

11. Перелічіть способи паяння залежно від температури плавлення припоїв:

- а) низькотемпературна;
- б) середньотемпературна;
- в) високотемпературне;
- г) надтемпературне.

12. Високотемпературне паяння здійснюється при температурах припою вище ...°C:

- а) 100;
- б) 200;
- в) 300;
- г) 400.

13. Припій повинен:

- а) добре розчинятися в основному металі;
- б) добре розчиняти основний метал;
- в) знижувати поверхневий натяг;
- г) сприяти змочуванню поверхні.

14. Якість паяних з'єднань залежить від правильного вибору:

- а) основного металу і припою;
- б) змочувальної здатності флюсу;
- в) тривалості витримки при температурі утворення паяного шва.
- г) марки паяльника.

15. Якість паяних з'єднань характеризується:

- а) швидкістю затвердіння шва;
- б) наявністю дифузійних процесів;
- в) герметичністю та надійністю.
- г) рівністю шва.

16. Припої являють собою:

- а) сплави з корозійно стійких сплавів;
- б) жароміцні сплави;
- в) високолеговані сталі з особливими властивостями;
- г) сплави кольорових металів складного складу.

17. Флюси паяльні застосовують:

- а) для заповнення зазорів між деталями, що з'єднуються;
- б) рівномірного нагрівання заготовок, що з'єднуються;
- в) зниження поверхневого натягу;
- г) отримання заданого складу і властивостей наплавленого металу.

18. Укажіть мідно-цинковий припій:

- а) ПОС-90;
- б) ПСр92;
- в) ПМЦ36;
- г) МПФ-7.

19. Укажіть олов'яно-свинцевий припій:

- а) ПОС-90;
- б) Л68;
- в) ПМФ-7;
- г) ПСр92.

20. Перелічіть види нагрівання під час високотемпературної пайки:

- а) мідний паяльник;
- б) газовий пальник;
- в) електронний промінь;
- г) газовий паяльник.

21. До високоплавких відносять припої:

- а) на основі цинку;
- б) на основі вісмуту;
- в) мідно-цинкові;
- г) олов'яно-свинцеві.

22. До легкоплавких припоїв відносять:

- а) мідно-нікелеві;
- б) з благородними металами (сріблом, золотом);
- в) мідно-цинкові;
- г) олов'яно-свинцеві.

23. Перелічіть матеріали, які можна паяти:

- а) Вуглецеві та леговані сталі;
- б) тверді сплави;
- в) ковкі та сірі чавуни;
- г) кольорові метали та їхні сплави.

24. Визначте склад припою ПМЦ-34:

- а) 34% цинку і 66% міді;

- б) 34% міді та 66% цинку;
- в) 34% цирконію і 66% міді;
- г) 34% міді та 66% цирконію.

25. Визначте, які види припоїв застосовують під час високотемпературної пайки:

- а) срібний припій;
- б) мідно-цинковий припій;
- в) олов'яно-свинцевий припій;
- г) мідний припій.

26. Нанесення на деталь тонкого шару олова або сплавів олова (полуда) це?

- а) склеювання;
- б) пайка;
- в) лудіння;
- г) зварювання.

27. Що потрібно зробити з деталями після лудіння?

- а) промити водою;
- б) промити водою та висушити;
- в) висушити;
- г) промити гасом і висушити.

28. Припій тонким шаром розтечеться по поверхні під час лудіння якщо?

- а) поверхня провідника масляна;
- б) поверхня провідника лакована;
- в) поверхня провідника відшліфована;
- г) поверхня провідника чиста.

29. Зручніше лудити дроти поклавши їх ?

- а) на сталевий майданчик;
- б) на дерев'яну площадку;
- в) на чавунну площадку;
- г) на пластикову площадку.

30. Дія фтору під час лудіння проводів, покритих емаллю?

- а) не руйнує емаль і дріт легко залужується;
- б) руйнує емаль і дріт легко залужується;
- в) руйнує клей і дріт легко залужується;
- г) не чинить жодної дії.

ВИСНОВОК

Метою вивчення пропонованого навчального посібника є набуття та засвоєння здобувачами, які навчаються за спеціальністю 208 «Агроінженерія» знань про отримання заготовок і асонних деталей за допомогою технологій гарячої обробки металів, а саме - ливарного та зварювального виробництв, обробки металів тиском.

Окремий розділ присвячено металургійному виробництву. В ній описано методи отримання чорних і кольорових металів і сплавів, що найширше застосовуються як у сільськогосподарському машинобудуванні, так і в електрообладнанні.

У роботі сконцентровано великий матеріал різних джерел, систематизований і акцентований для здобувачів, які навчаються за програмами вищої освіти вищевказані спеціальності.

Відповідно до сучасних вимог до викладу наукових основ навчальних дисциплін фундаментальні питання теорії виділено в посібнику в самостійні розділи.

Навчальний посібник містить методичні вказівки щодо виконання шести практичних робіт.

У посібнику обговорюються питання, які потребують закріплення отриманих знань при проходженні здобувачами навчально-виробничої і виробничої технологічної практик.

Кожен розділ містить необхідні контрольні тести для самоперевірки знань.

Використання здобувачами матеріалів, викладених у навчальному посібнику, дасть їм змогу не тільки оволодіти загальнопрофесійними компетенціями, а й цілеспрямовано підготуватися до успішного складання екзамену з дисципліни «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів».

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Афанасьєва О. В. Матеріалознавство та конструкційні матеріали. Навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2016. 188 с.
2. Матеріалознавство і ТКМ: конспект лекцій для студентів спеціальності 5.10010201 «Експлуатація та ремонт машин і обладнання агропромислового виробництва» / уклад. Я.В. Оласюк – Любешів: ЛТК ЛНТУ, 2014. 150 с.
3. Пахаренко В. Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2009. 179с.
4. Літовченко, П. І. Технологія конструкційних матеріалів: навч. посіб. / П. І Літовченко, Л. П. Іванова. Харків: НА НГУ, 2016. 306 с.
5. Афтандіянц Є.Г., Зазимко О. В., Лопатько К.Г., Поліщук А.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: конспект лекцій в 2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125. с.
6. Штода М.М. Конспект лекцій з дисципліни Технологія процесів ОМТ: Основи калібровки валків для студентів напряму 6.050401 Металургія (Обробка металів тиском) всіх форм навчання. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 88 с.
7. Руденко М.Р. Конспект лекцій з дисципліни «Споруди та обладнання металургійних цехів». Модуль 1 «Споруди та обладнання цехів підготовки сировини» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 136. «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів». Кам'янське: ДДТУ, 2019. 67 с.
8. СОУ МПП 73.080-177:2007 «Вапняки флюсові для сталеплавильного і феросплавного виробництв». Технічні умови.
9. СОУ МПП 73.080-028:2004 «Вапняки флюсові для доменного виробництва». Технічні умови.
10. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум: посібник для вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації / Авт. колектив: А. С. Опальчук, О. О. Котречко, Л. Л. Роговський, О. Є. Семеновський, І. Л. Роговський.
11. Єфіменко М. Г., Радзівілова Н. О. Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань: підручник. Харків, 2003. 488 с.
12. Літовченко П. І., Іванова Л. П. Технологія конструкційних матеріалів: навч. посібник Харків, 2016. 306 с. : іл.
13. Клименко В. М., Шиліна О. П, Осадчук А. Ю. Технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво: навч. посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 97 с.
14. Пахаренко В. Л., Марчук М. М Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2009. 179 с.