

Мета дисципліни „Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” (розділ „Гаряча і холодна обробка конструкційних матеріалів”) – вивчення будови металів і сплавів, технологічних процесів їх виплавки, одержання литих заготовок і деталей, вивчення процесів обробки металів тиском, технології проведення різних видів зварювання і розмірної обробки.

На основі теоретичних основ студент повинен вміти вибрати матеріал для конкретної деталі, визначити оптимальну технологію виробництва вихідної заготовки методом обробки металів тиском, або литтям чи зварно-литим способом, а також вибрати спосіб розмірної обробки, обладнання, різальний інструмент та призначити режим різання.

Зміст

РОЗДІЛ 1. БУДОВА І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ.....	5
Тема 1. Кристалічна будова металів	5
Тема 2. Кристалізація металів і сплавів	6
Тема 3. Експлуатаційні властивості конструкційних матеріалів.....	8
РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЇ	15
Тема 1. Чорна металургія.....	16
Тема 2. Металургія кольорових металів	30
РОЗДІЛ 3. ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО	34
Тема 1. Основні властивості ливарних сплавів	Ошибкa! Закладка не определена.
Тема 2. Лиття в піщано-глинисті форми.....	Ошибкa! Закладка не определена.
Тема 3. Спеціальні види лиття ..	Ошибкa! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 4. ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ.....	55
Тема 1. Суть обробки металів тиском	55
Тема 2. Основні види обробки металів тиском	61
РОЗДІЛ 5. ЗВАРЮВАННЯ	71
Тема 1. Термічне зварювання	71
Тема 2. Газове зварювання	78
Тема 3. Термомеханічне і механічне зварювання	82
Тема 4. Зварюваність сталей і чавунів.....	89
РОЗДІЛ 6. ОБРОБКА МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ. МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ І ВЕРСТАТИ.....	92
Тема 1. Фізичні основи процесу різання	92
Тема 2. Різальні інструменти.....	100
Тема 3. Металорізальні верстати	106
Список літератури	109

РОЗДІЛ 1. БУДОВА І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Тема 1. Кристалічна будова металів

Основні питання теми

Метали і сплави. Кристалічна будова і кристалічні решітки металів. Типи кристалічних решіток. Поліморфізм.

Вказівки до вивчення теми

Основними конструкційними матеріалами є метали та їх сплави. Металами називаються тверді кристалічні тіла, що мають характерний металевий блиск і високі показники тепло- та електропровідності, пластичності.

У твердому стані метали мають кристалічну будову, для якої характерно впорядковане розташування атомів (іонів) в просторі з утворенням кристалічних решіток. Найбільш поширені три типи кристалічних решіток:

1) об'ємноцентрована кубічна – ОЦК (рис. 1.1, а), a – параметр решітки (відстань між двома сусідніми атомами, що виміряна уздовж ребра). Таку решітку мають Fe_α, Ti, Cr, Mo та ін;

2) гранецентрована кубічна – ГЦК (рис. 1.1, б). Таку решітку мають Fe_γ, Cu, Ni, та ін.

3) гексагональна щільноупакована – ГПУ (рис. 1.1, в). Таку решітку мають Mg, Ti і ін.

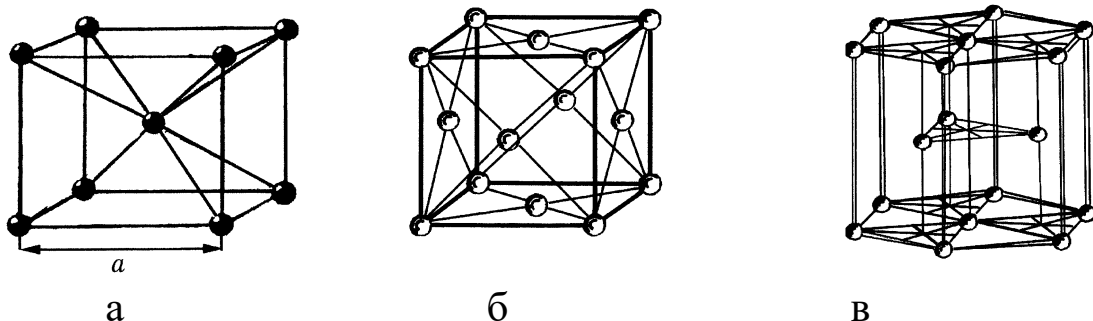


Рисунок 1.1 – Типи кристалічних решіток

Деякі метали змінюють свою решітку в залежності від температури. Це явище називається поліморфізмом або алотропією. Кожна поліморфна модифікація позначається літерами грецького алфавіту. Наприклад, поліморфізм характерний для заліза. Зміна решітки заліза відбувається при температурі 911 °С. Модифікація заліза, яка існує при температурі нижче 911 °С, має решітку ОЦК і позначається Fe_{α} , а модифікація, яка існує при температурі вище 911 °С, має решітку ГЦК і позначається Fe_{γ} .

Питання для самоперевірки

1. Що таке метали?
2. Які Ви знаєте характерні риси металів?
2. Назвіть найбільш поширені типи кристалічних решіток.
3. Що таке поліморфізм?
4. Як позначають поліморфні модифікації заліза?

Література: [1, с. 50–52; 2, с. 4–5]

Тема 2. Кристалізація металів і сплавів

Основні питання теми

Процес кристалізації. Параметри процесу кристалізації. Кристали і зерна. Способи подрібнення зерна.

Вказівки до вивчення теми

Кристалізацією називають процес утворення кристалів в металах і сплавах. Вона буває первинною і вторинною. Первинна – це кристалізація з рідкого стану і вона властива всім металам, а вторинна – кристалізація з твердого стану, і вона характерна для металів, у яких відбуваються поліморфні перетворення, а також у випадку зміни розчинності з виділенням надлишкових фаз в твердому стані. Процес кристалізації складається з двох стадій: I – утворення зародків (центрів кристалізації); II – зростання кристалів.

Кристали мають правильну геометричну форму і правильну внутрішню будову.

В результаті росту кристалів між ними відбувається зіткнення. Кристали набувають неправильної зовнішньої форми, але зберігають правильну внутрішню будову. Такі кристали називаються *кристалітами* або *зернами*. Процес кристалізації кількісно можна оцінити двома параметрами: швидкістю зародження центрів кристалізації (V_z) і швидкістю їх росту (V_p). V_z – це кількість центрів, які зароджуються в одиниці об'єму за одиницю часу ($1/\text{мм}^3 \cdot \text{с}$), ($1/\text{мм}^3 \cdot \text{хв}$). V_p – швидкість збільшення лінійних розмірів за одиницю часу ($\text{мм}/\text{с}$), ($\text{мм}/\text{хв}$).

Розміри утворених кристалів залежать від співвідношення величин V_z і V_p . При великому значенні V_p і малому V_z утворюється невелика кількість великих кристалів. При малих значеннях V_p і великих V_z утворюється велика кількість дрібних кристалів.

Розмір зерен суттєво впливає на властивості металів і сплавів на їх основі. Чим дрібніше розмір зерна, тим вище рівень властивостей. Існують наступні способи подрібнення зерна:

а) збільшення швидкості кристалізації;

б) модифікування – введення додаткових центрів кристалізації. В якості додаткових центрів кристалізації застосовують металеві порошки Ti , Mo , V і ін

У більшості випадків при кристалізації металів утворюються кристали деревоподібної форми, які називаються дендритами (рис. 1.2). Після утворення зародків їх розвиток іде, головним чином, в тих напрямках, в яких швидкість відведення тепла максимальна. Спочатку кристалізуються осі першого порядку, потім від них під певним кутом ростуть осі другого порядку і т.п.

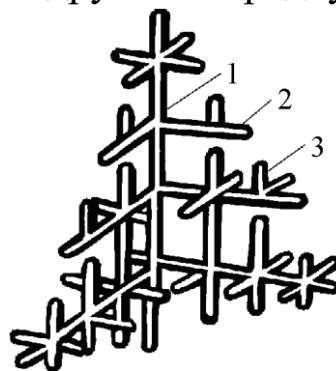


Рисунок 1.2 – Схема дендрита

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення кристалізації.
2. Назвіть стадії кристалізації.
3. Які параметри кристалізації Ви знаєте?
4. Що таке число центрів кристалізації? В яких одиницях воно вимірюється?
5. Що таке швидкість росту кристалів? В яких одиницях вона вимірюється?
6. При якому співвідношенні кількісних параметрів процесу кристалізації можна отримати дрібне і велике зерно?
10. Як практично можна подрібнити зерно?
11. Що таке дендрит?

Література: [1, с. 50–55]

Тема 3. Експлуатаційні властивості конструкційних матеріалів

Основні питання теми

Технологічні, експлуатаційні, механічні властивості. Деформація. Міцність і її характеристики. Твердість і методи її вимірювання. Пластичність і її показники. Ударна в'язкість і її показники.

Матеріали мають фізичні, хімічні, технологічні та експлуатаційні властивості.

Технологічні властивості характеризують здатність матеріалів піддаватися різним методам обробки. До них відносяться ливарні властивості, здатність піддаватися обробці тиском, зварюваність, оброблюваність різанням.

Експлуатаційними називаються властивості матеріалів, які впливають на поведінку виробу в процесі його експлуатації. Ці властивості можуть бути розділені на загальні, що враховуються для будь-яких виробів незалежно від умов експлуатації, і спеціальні, які є основними для деталей машин лише за певних умов експлуатації.

До загальних відносяться стандартні механічні властивості, до спеціальних – корозійна стійкість, тривала міцність, повзучість та ін.

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

2.1 Міцність

Міцність характеризує здатність матеріалу опиратись деформації та руйнуванню.

Деформація – це зміна форми та розмірів виробу під впливом прикладених сил або внутрішніх напружень. Розрізняють пружну і пластичну деформацію.

Характеристики міцності визначаються за допомогою статичних випробувань гладких зразків на розтяг і побудови діаграми в координатах напруга-деформація. *Напруга* – це відношення діючої сили до площі поперечного перерізу зразка або деталі.

Вид кривої розтягу залежить від властивостей випробовуваних матеріалів. На рис. 1.3 наведені криві розтягу: а – для маломіцних матеріалів; б – для досить міцних і пластичних матеріалів.

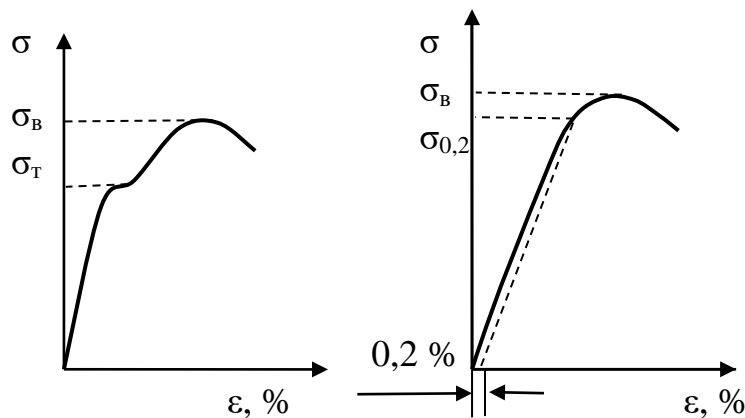


Рисунок 1.3 – Діаграма деформації матеріалів

До характеристик міцності відносяться: тимчасовий опір, умовна границя текучості, фізична границя текучості, умовна границя пружності та ін.

Тимчасовий опір σ_B – максимальне напруження, яке матеріал витримує при розтягу.

Умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$ – напруження, що викликає залишкову деформацію 0,2 %.

Фізична границя текучості σ_T – напруження, при якому зразок, що розтягується, деформується без збільшення навантаження.

Умовна границя пружності $\sigma_{0,05}$ або $\sigma_{0,005}$ – напруження, яке викликає залишкову деформацію відповідно 0,05 та 0,005 %. В цій області деформування ще вважається пружним.

2.2 Твердість

Твердість – це здатність матеріалу опиратись втискуванню в нього більш твердого тіла, яке називають індентором.

Найбільш розповсюджені методи вимірювання твердості за Брінеллем, Роквеллом, Віккерсом.

При вимірюванні твердості за *Брінеллем* (ІСО 410–1982, ІСО 6506–81), сталеву або твердосплавну кульку діаметром D втискують у зразок під навантаженням F протягом певного часу і після зняття навантаження вимірюють діаметр d відбитка, що залишився на поверхні.

Число твердості за Брінеллем (НВ) – це відношення навантаження F , що діє на індентор діаметром D , до площі A відбитка

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)},$$

де d – діаметр відбитка.

При вимірюванні твердості за Віккерсом в поверхню зразка втискують алмазний індентор у формі чотиригранної піраміди з кутом при вершині 136° і після зняття навантаження вимірюють діагональ відбитка d , що залишився на поверхні зразка. Число твердості за Віккерсом НV визначають діленням навантаження на площу бокової поверхні отриманого пірамідального відбитка.

Методом Роквелла твердість визначається за умовною глибиною проникнення в матеріал сталевий кульки діаметром 1,588 мм при навантаженні 100 кгс (для м'яких матеріалів – шкала В – НRV) або алмазного конуса з кутом при вершині 120° (шкали А і С) при

навантаженні 60 і 150 кгс (для твердих матеріалів). За шкалою С (HRC) вимірюється висока твердість, наприклад, загартованих сталей і чавунів, а за шкалою А (HRA) – твердість тонких поверхневих шарів або тонких виробів, а також дуже твердих матеріалів.

Значення HB і HV виражаються в кгс/мм², Н/мм², МПа, твердість за Роквеллом – в безрозмірних величинах, які можуть бути переведені в HB за допомогою таблиць.

Для пластичних матеріалів між HB та σ_B існує зв'язок. Для сталі $\sigma_B \approx (0,33-0,36)$ HB, для мідних сплавів $\sigma_B \approx 0,45$ HB, для алюмінієвих сплавів $\sigma_B \approx 0,35$ HB.

Існуючі методи вимірювання твердості відрізняються за формою індентора, умовами прикладення навантаження і способом розрахунку числа твердості, що утруднює порівняння результатів вимірювань. Тому зараз розробляються нові методи визначення твердості, більш точні і універсальні.

У зв'язку з цим отримав розвиток метод безперервного інденування з одночасною реєстрацією трьох параметрів: навантаження на індентор, переміщення індентора і часу інденування в процесі пружної і пластичної деформації матеріалу. В результаті інденування пірамідою Віккерса, Берковича, кулькою отримують діаграму інденування(рис. 1.4).

У ХНАДУ розроблений метод визначення поверхневої $H_{\text{пов}}$ та об'ємної $H_{\text{об}}$ твердості матеріалів для всього інтервалу навантаження.

Поверхневу твердість визначають як відношення навантаження до площі поверхні втиснутої в матеріал частини індентора, об'ємну – як відношення навантаження до об'єму втиснутої в матеріал частини індентора

$$H_{\text{пов}} = HM = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{26,97 \cdot h^2}$$

$$H_{\text{об}} = HB_{\text{об}} = \frac{F}{V} = \frac{F}{10,54 \cdot h^3}$$

де F – навантаження;

A_s – площа поверхні втиснутої в матеріал частини індентора;

h – глибина втискування індентора від поверхні матеріалу до його вершини.

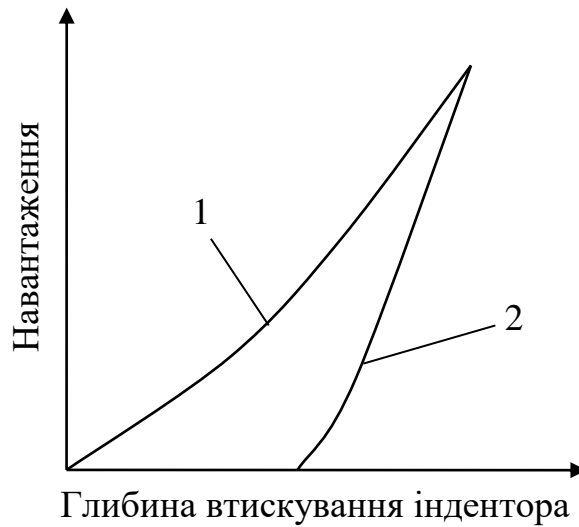


Рисунок 1.4 – Діаграма індентування: 1 – участок навантаження, 2 – участок розвантаження

На основі діаграми отримують залежність твердості від навантаження або глибини втискування індентора для всього інтервалу навантаження (рис. 1.5).

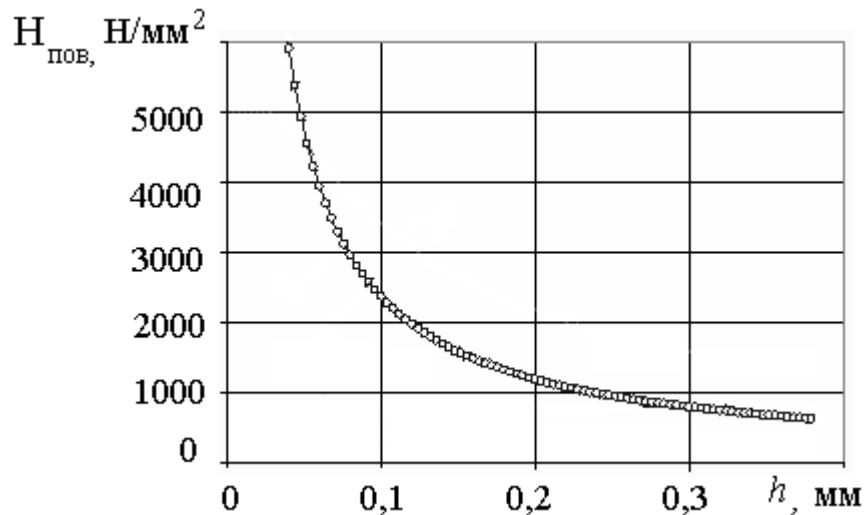


Рисунок 1.5 – Залежність поверхневої твердості від глибини втискування піраміди Віккерса

1.3. Пластичність

Пластичність – це здатність виробу необоротно змінювати свою форму і розміри без руйнування.

Показниками пластичності є відносне подовження δ та відносне звуження ψ , які вимірюються при випробуваннях матеріалу на розтяг (рис. 1.6)

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% ;$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\% ,$$

де l_0 і F_0 – довжина і площа перерізу вихідного зразка; l_k і F_k – довжина і площа перерізу зразка в місці руйнування після випробування.

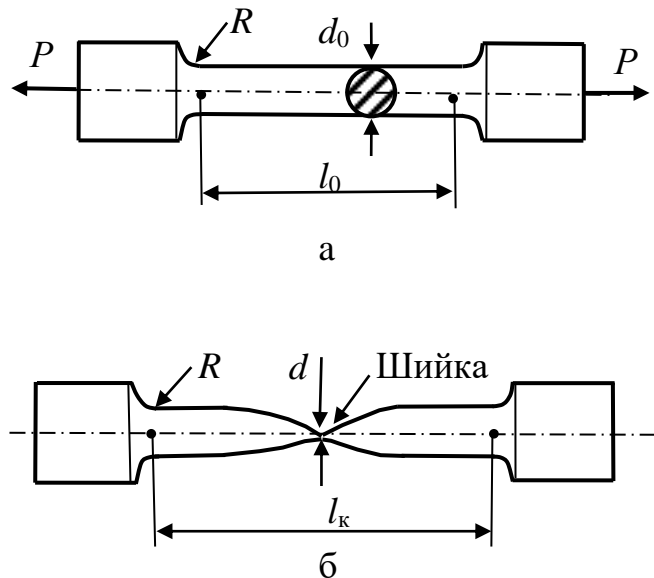


Рисунок 1.6 – Зразки для випробувань на міцність і пластичність: а – до випробування; б – після випробування

1.4 Ударна в'язкість

Ударна в'язкість – це питома робота руйнування матеріалу при прикладенні динамічного навантаження. Ударну в'язкість поз-

начають КС, вимірюють в Дж/см². Для більшості матеріалів величина КС визначається на зразках з надрізом, що є концентратором напружень. В залежності від форми надрізу ударна в'язкість позначається: КСУ – U-подібний надріз; КСV – надріз у вигляді літери V, КСТ – надріз з тріщиною.

Ударна в'язкість складається з роботи зародження тріщини КС_з та роботи її розвитку КС_р

$$КС = КС_з + КС_р.$$

Для більшості матеріалів ударна в'язкість різко знижується при певній температурі. Цю температуру називають *порогом холодноламкості* і позначають $t_{кр}$.

Поріг холодноламкості $t_{кр}$ – це температура, при якій матеріал переходить від в'язкого руйнування до крихкого.

Різницю між порогом холодноламкості та температурою експлуатації, при якій працює виріб, називають температурним запасом в'язкості $\Delta t = t_e - t_{кр}$ (рис. 1.7).

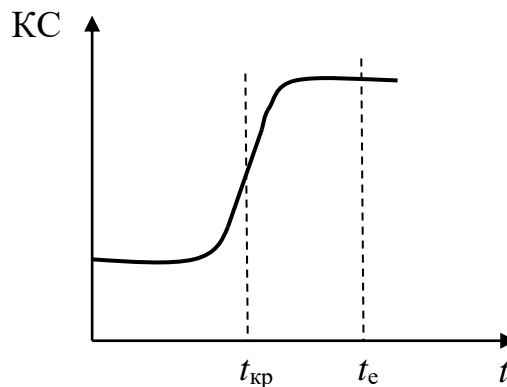


Рисунок 1.7 – Залежність ударної в'язкості від температури

Питання для самоперевірки

1. Що таке технологічні властивості? Які технологічні властивості ви знаєте?
2. Які властивості називають експлуатаційними. Наведіть їх класифікацію.
3. Що таке міцність? Назвіть показники міцності та способи їх визначення.

4. Дайте визначення твердості. Назвіть методи вимірювання твердості.
5. Що таке пластичність? Які існують показники пластичності?
6. Дайте визначення ударної в'язкості, порогу холодноламкості та температурного запасу в'язкості.

Література: [1, с. 55–57; 2, с. 7–13]

РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЇ

Металургія – це наука про методи виробництва металів з природних сполук (руд), сплавів та відходів.

Для отримання металів використовують пірометалургійний, електromеталургійний, гідрометалургійний, хіміко-металургійний способи.

Для отримання металів необхідні руда, флюси, паливо, вогнетривкі матеріали.

Руда – гірська порода, з якої при сучасному рівні розвитку техніки і науки економічно вигідно вилучати метали. *Флюсами* називаються матеріали, які використовуються для пониження температури плавлення пустої породи, що входить до складу руди, утворення шлаку і виводу його із зони плавлення печі. *Паливом* в металургійних печах можуть бути кокс, природний, доменний або коксовий газ, мазут. *Вогнетривкі матеріали* використовують для внутрішньої футеровки робочого простору плавильних печей та іншого обладнання.

Металургія поділяється на чорну та кольорову. *Чорна металургія* – це виробництво заліза та його сплавів – чавунів, феросплавів, сталей.

Кольорова металургія – виробництво кольорових металів та їх сплавів.

Тема 1. Чорна металургія

Основні питання теми

Виробництво чавуну в доменних печах, будова доменної печі, фізико-хімічні процеси виробництва чавуну, вихідні матеріали для отримання чавуну, продукти доменного виробництва, процес одержання сталі з чавуну, виробництво сталі в кисневих конвертерах, мартенівських печах, електропечах; дуплекс-процес, розливання сталі зверху, сифонне, безперервне, ступінь розкислення сталі; спокійні, киплячі, напівспокійні сталі; будова сталевого зливка.

Вказівки до вивчення теми

Провідну роль у народному господарстві має чорна металургія. Зараз найбільш поширеним є двоступінчастий процес одержання сталі, згідно з яким спочатку з руди одержують чавун, а потім з чавуну виплавляють сталь.

В останні роки все ширше використовується процес прямого відновлення заліза, коли із руди виплавляють сталь.

2.1 Виробництво чавуну

Чавун – це залізовуглецевий сплав, який вміщує більше 2,14% вуглецю і різні домішки: кремнію до 4%, марганцю до 2%, сірки і фосфору ~ 1%. Кремній та марганець – корисні домішки, сірка та фосфор – шкідливі.

Сутність процесу отримання чавуну з руди полягає у відновленні заліза та домішок з їх оксидів та інших сполук, науглецюванні заліза та розчиненні в ньому домішок.

Таким чином, процес виплавки чавуну є відновлювальним процесом.

Вихідними матеріалами для отримання чавуну є залізні та марганцеві руди, флюс, кокс.

Чавун виплавляють в доменних печах. Доменна піч – це піч шахтного типу (рис. 2.1).

Домна працює за принципом протитечії: шихтові матеріали завантажують зверху, а їм назустріч іде потік гарячих газів, що утворюються при згорянні палива.

У верхній частині колошника 2 є завантажувальний пристрій 1, через який у піч завантажують шихту, яка в певній пропорції складена з руди, палива і флюса. У шахті 3 відбувається відновлення оксидів заліза і утворення губчастого заліза, яке починає насичуватися вуглецем і утворюється чавун. Нижче шахти розташований розпар 4, де відбувається плавлення пустої породи і флюсів з утворенням шлаку, яке завершується в заплечиках 5. Частина домішок в процесі доменної плавки відновлюється і розчиняється в чавуні, а частина – переходить в шлак. Чавун та шлак стікають в горно 7 і накопичуються в його нижній частині – на лещаді 8. Потім чавун і шлак випускають через відповідні отвори – льотки. У верхній частині горна містяться фурми, крізь які у піч надходить гаряче повітря, що нагрівається в повітрянагрівниках 6 (рис. 2.1).

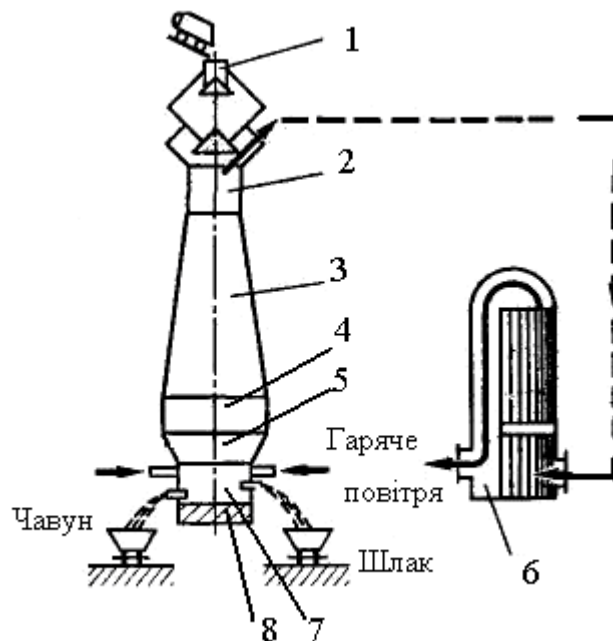
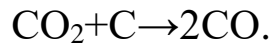
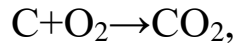


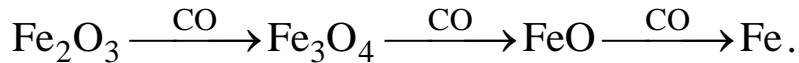
Рисунок 2.1 – Будова доменної печі: 1 – завантажувальний пристрій, 2 – колошник, 3 – шахта, 4 – розпар, 5 – заплечики, 6 – повітрянагрівник, 7 – горно, 8 – лещадь

В домні відбуваються такі фізико-механічні процеси:

1. Горіння палива, внаслідок якого утворюється CO, – основний відновлювач

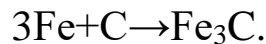


2. Відновлення заліза, що здійснюється як за рахунок CO, так і за рахунок C



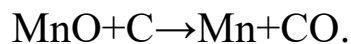
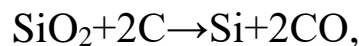
Реакції протікають з виділенням тепла, внаслідок чого в нижній зоні шахти утворюється губчасте залізо.

3. Навуглецьовування заліза

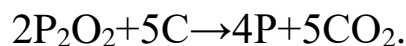


Під час насичення вуглецем температура плавлення заліза знижується і на рівні розпару домни виникають перші порції рідкого металу.

4. Відновлення марганцю і кремнію

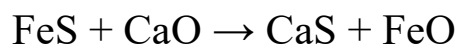


5. Відновлення фосфору



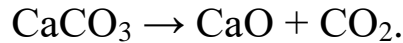
Відновлений фосфор розчинюється у чавуні, що значно погіршує його властивості.

6. Видалення сірки. Сірка потрапляє в доменну піч у складі руди і коксу у вигляді сполук FeS_2 , FeS , CaSO_4 . Сірка летка, і тому частина її видаляється з газом при нагріванні шихти в печі, інша частина розчинюється в чавуні або відповідно з реакцією

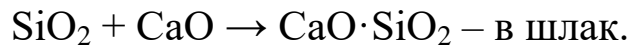
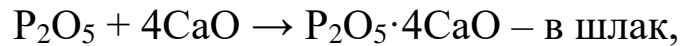


у вигляді CaS виводиться зі шлаком.

7. Реакції шлакоутворення. Видалення тугоплавких мінералів пустої породи відбувається за допомогою флюсу – вапняка CaCO_3 . Вапняк, який додається в шихту як флюс, розкладається за реакцією



Продукт розпаду вапняку CaO, взаємодіє з оксидами фосфору та кремнію, утворює шлак, температура плавлення якого значно нижче температури плавлення оксидів



Шлак стікає в горно і скупчується на поверхні рідкого чавуну завдяки меншій густині.

Продукти доменного виробництва можна поділити на дві групи: основні і побічні.

До основних відносяться:

- а) переробний чавун, призначений для одержання сталі;
- б) ливарний чавун, призначений для отримання фасонного лиття і який відрізняється підвищеним вмістом кремнію;
- в) феросплави – сплави заліза з кремнієм, марганцем і іншими елементами.

До побічних продуктів доменної плавки належать шлак і доменний газ.

Техніко-економічними показниками роботи доменної печі є:

1. Коефіцієнт використання корисного об'єму печі (КВКО), що є відношенням корисного об'єму печі V [м³] до її середньодобової продуктивності P [т]

$$\text{КВКО} = V/P \text{ [м}^3\text{/т]}$$

Чим вище продуктивність печі, тим менше КВКО. Для більшості доменних печей $\text{КВКО} = 0,5..0,7 \text{ м}^3\text{/т}$.

2. Питома витрата коксу

$$K = A/P,$$

де A – витрата коксу за добу;

P – середньодобова продуктивність печі.

Питання для самоперевірки

1. Які існують методи одержання металів?
2. Що таке руда, флюси, вогнетривкі матеріали?
3. Які матеріали використовують для отримання чавуну?
4. Що таке залізна руда?
5. Яку функцію виконують флюси?
6. В чому полягає суть технології отримання чавуну?
7. Які фізико-хімічні процеси відбуваються при виробництві чавуну?
8. Як називається піч, в якій одержують чавун і яку вона має будову?
9. Назвіть основні продукти доменного виробництва.
10. Які Ви знаєте побічні продукти доменного виробництва?
11. Назвіть основні техніко-економічні показники доменної печі.

Література: [2, с. 25–32; 3, 29–34]

2.2 Виробництво сталі

Основним матеріалом для виробництва сталі є переробний чавун і сталевий брухт (скрап). Сталь відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю (до 2,14%) і домішок.

Суть переробки чавуну на сталь полягає у зменшенні вмісту вуглецю і домішок за рахунок їх окиснення та переведення у шлак і гази, які потім видаляються з плавильного простору.

Залежно від природи переробного чавуну існують два сталеплавильних процеси: кислий і основний. При кислому процесі переробляють чавун, що багатий на кремній та марганець. Одержують кислі оксиди і кислий шлак. При основному виробництві переробляється чавун, що багатий на фосфор і сірку, при виплавці отримують основні оксиди і основний шлак. При кислому процесі сірка і фосфор не видаляються, а при основному – видаляються.

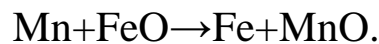
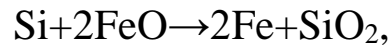
При виробництві легованих сталей в процесі виплавки додають легуючі елементи Cr, Ni, Mn, V, Ti та ін. з метою одержання

необхідних властивостей. Основні методи виробництва сталі: конвертерний, мартенівський та електрометалургійний.

Процес одержання сталі з чавуну за своєю хімічною природою є окислювальним і складається з таких стадій:

1. Окиснення заліза $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$.

2. Окиснення кремнію і марганцю

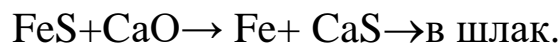


Оксиди домішок переходять в шлак.

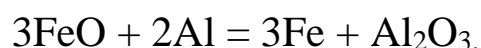
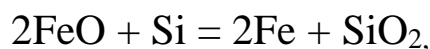
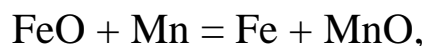
3. Окиснення вуглецю $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO} \uparrow$

Газові бульбашки піднімаються угору, справляючи враження процесу кипіння, що сприяє кращому перемішуванню рідкого металу.

4. Видалення фосфору та сірки



5. Розкиснення проводиться з метою видалення оксиду заліза FeO , який значно погіршує механічні властивості сталі. Для цього в сталь додають елементи, що мають більшу спорідненість до кисню, ніж залізо. Основними розкиснювачами є марганець, кремній, алюміній



6. Доведення сталі до певного хімічного складу. В кінці виплавки остаточно корегують хімічний склад сталі, а при виробництві легованих сталей додають необхідні легуючі елементи.

Одним з розповсюджених способів одержання сталі є виробництво сталей в *кисневих конвертерах*.

Суть цього способу полягає в тому, що конвертер, який являє собою ємність грушоподібної форми, яка футерована основним во-

гнетривким матеріалом, заповнюють рідким переробним чавуном, до якого додають сталевий брухт, залізну руду і інше, та продувають киснем (рис. 2.2). Реакції окиснення ідуть з виділенням великої кількості теплоти, за рахунок якої температура розплаву значно підвищується.

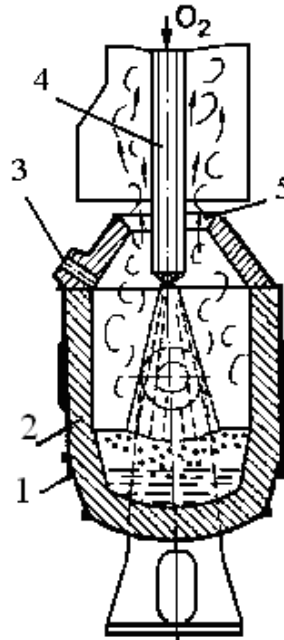


Рисунок 2.2 – Будова кисневого конвертера: 1 – кожух; 2 – вогнетривка цегла; 3 – льотка; 4 – фурма; 5 – горловина

Місткість конвертеру 130...350 т рідкого металу, загальна тривалість процесу – 40...50 хвилин.

Киснево-конвертерним способом одержують вуглецеві та низьколеговані сталі. До переваг слід віднести високу продуктивність, незначні капітальні витрати на обладнання, відсутність зовнішнього джерела тепла. Недоліками даного процесу є неможливість використання в широкому об'ємі твердої шихти, труднощі при отриманні сталі, яка легована елементами, що легко окислюються, завдяки їх угару.

На відміну від конвертерного *мартенівський процес виробництва сталі* не може відбуватися без додаткового тепла ззовні.

Мартенівська піч – це регенеративна полуменева піч, нагрівання і розплавлення шихти в якій відбувається за рахунок тепла, що виділяється при згорянні палива.

Вихідним матеріалом для одержання сталі можуть бути рідкий та твердий переробний чавун, сталевий скрап, залізна руда. Мартенівський процес має основні різновиди: скрап-процес і скрап-

рудний процес. В першому випадку шихта складається із сталевого лому (60..70%) і твердого чушкового чавуну (30...40%). При скрап-рудному процесі шихта, як правило, складається з рідкого чавуну (50...80%), скрапу і залізної руди, яка використовується як окиснювач.

Мартенівський процес – це універсальний спосіб виробництва великого асортименту вуглецевих і легованих сталей.

Використовують мартенівські печі об'ємом від 20 до 900 т рідкого металу.

До переваг мартенівського способу відносяться:

а) можливість використання будь-якої кількості скрапу в шихтових матеріалах;

б) можливість отримання якісних вуглецевих і легованих сталей.

Недоліки процесу:

а) великі капітальні витрати на будівництво печей;

б) значна тривалість процесу (5...12 годин);

Техніко-економічними показниками роботи мартенівських печей є:

а) тривалість процесу від випуску до випуску;

б) знімання сталі за одну добу з 1 м^2 поду печі (К)

$$K = \frac{Q}{S}, \quad \text{т за добу/м}^2$$

де Q – маса виплавленої сталі за добу;

S – площа поперечного перерізу печі, м^2 .

в) витрати палива на одну тону виплавленої сталі.

Найбільш сучасним способом виплавки сталі є *електросталеплавильний процес*. В електропечах можна досягти високої температури, що дозволяє отримувати сталь, яка містить тугоплавкі елементи. Плавку можна вести з повним окисненням, з частковим окисненням домішок і без окиснення (методом переплаву).

Для виробництва сталі використовують печі двох типів: дугові та індукційні.

Дугова піч являє собою сталевий корпус зі сферичним склепінням, в яке встановлені електроди. Електрична дуга утворюється в

плавильному просторі між вертикально встановленими електродами і металевою шихтою (рис. 2.3).

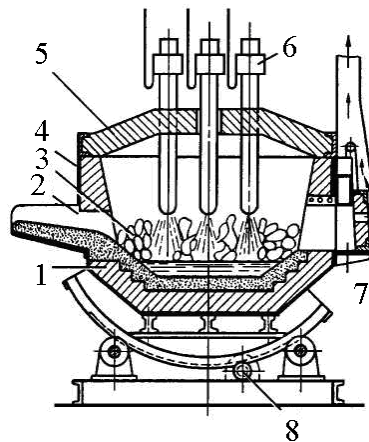


Рисунок 2.3 – Будова дугової електропечі: 1 – вогнетривка цегла; 2 – отвір; 3 – шихта; 4 – сталевий циліндр; 5 – склепіння; 6 – графітові електроди; 7 – вікно для завантаження; 8 – механізм повороту

При проведенні плавки методом окиснення разом з шихтою завантажуються залізна руда. При виплавці сталі методом переплаву має місце лише незначне окиснення вуглецю.

Змінюючи параметри струму, можна виробляти сталі, леговані тугоплавкими елементами, які мають високу якість. Але процес характеризується великими витратами, оскільки потребує значної кількості електроенергії. Крім того, неможливо одержати сталь з низьким вмістом вуглецю через науглецьовування за рахунок електродів.

В дуговій печі легко регулювати тепловий процес.

В дугових печах виплавляють високоякісні вуглецеві та леговані конструкційні, інструментальні та спеціальні сталі.

Індукційна тигельна піч складається з індуктора, що охолоджується, в середині якого міститься тигель з металевою шихтою. При проходженні змінного електричного струму через індуктор в печі утворюється перемінне магнітне поле. Магнітний потік наводить у вторинному ланцюзі (в металевій шихті) перемінний струм Фуко, під впливом якого метал нагрівається і розплавляється. Виробництво сталі у цих печах здійснюють методом переплаву.

Індукційні печі мають переваги перед дуговими, оскільки в них відсутня електрична дуга. Це дозволяє виплавляти сталь з низьким вмістом вуглецю і газів. Крім того, при плавленні в індукційній

печі виникають електродинамічні сили, що сприяють перемішуванню металу та вирівнюванню хімічного складу.

Невеликі розміри печей дозволяють розміщувати їх у камері, де можна створювати будь-яку атмосферу і вакуум.

Цим способом одержують високоякісні жароміцні, корозійно-стійкі та інші леговані сталі та сплави.

Перспективи розвитку металургії спрямовані на розвиток дуплекс-процесу – поєднання основного киснево-конвертерного виробництва з електросталеплавильним. Сутність цього процесу полягає в тому, що рідина, отримана у конвертері, зливається у міксер – ємність для зберігання і підігрівання рідкого металу, а після цього доробляється в електричній печі (частіше в індукційній).

Питання для самоперевірки

1. В чому суть переробки чавуну на сталь?
2. Які фізико-хімічні процеси мають місце під час виробництва сталі?
3. Як одержують сталь в кисневому конвертері?
4. В чому переваги і недоліки киснево-конвертерного способу виплавлення сталі?
5. Які особливості мартенівського виробництва сталі?
6. Як класифікується мартенівський спосіб за шихтою?
7. Які переваги і недоліки мартенівського процесу виплавлення сталі?
8. Назвіть техніко-економічні показники роботи мартенівської печі.
9. В чому переваги плавильних електропечей у порівнянні з іншими плавильними агрегатами?
10. В чому полягає принцип роботи дугової електропечі?
11. Як забезпечується розплавлення металу в індукційній печі?
12. Які сталі виплавляють в електропечах?

Література: [2, с. 32–36; 3, с. 35–46]

2.3. Розливання сталі

Сталь з плавильного агрегату випускають у розливний ківш, з якого її розливають у виливниці або кристалізатори установок для безперервного розливання. У виливницях або кристалізаторах одержують зливки різного перерізу і ваги, які є заготовками для прокатного або ковальського виробництва.

Виливниці являють собою форми, що служать для розливання сталі. Існують два способи розливання сталі у виливниці: зверху і знизу (сифонне).

При *сифонному розливанні* водночас заповнюються декілька виливниць (від 2 до 50), встановлених на піддоні, в центрі якого міститься центровий ливник, що з'єднаний каналами з виливницями. В основі сифонного розливання лежить принцип сполучених посудин: рідка сталь з ковша надходить до центрального ливника і знизу плавно без розбризкування заповнює виливниці.

При *розливанні зверху* сталь заливають із ковша в кожен виливницю окремо. У цьому разі бризки металу застигають на стінках виливниці і погіршують поверхню зливка.

Переваги розливання знизу – більш висока продуктивність, гладка поверхня зливків. Недоліки цього методу – можливість забруднення сталі неметалевими включеннями із футеровки ливникової системи, складність ливникової системи.

Переваги розливання зверху – простота обладнання, менша вартість. Недоліком є менш якісна поверхня зливків через розбризкування металу.

Загальний недолік при розливанні у виливниці – це утворення усадкової раковини у верхній частині зливків внаслідок зменшення об'єму сталі у процесі кристалізації. Висота усадкової раковини при розливанні знизу може досягати ~ 25% загальної висоти зливка, а при розливанні зверху ~ 15% загальної висоти.

Щоб зменшити величину усадкової раковини, на виливницю зверху встановлюють утеплені прибуткові надставки. В надставці сталь довше зберігається у рідкому стані і живить металом тіло зливка при усадці, що дозволяє зменшити об'єм усадкової раковини.

Безперервне розливання сталі – найбільш прогресивний спосіб, виконується на спеціальних машинах для безперервного розли-

вання сталі. Спосіб полягає в тому, що рідку сталь з ковша безпосередньо подають до виливниці без дна – кристалізатора. Перед заливкою металу до кристалізатора вводять затравку, яка утворює його дно. Рідкий метал при зіткненні з холодною затравкою і стінками кристалізатора починає твердіти, потім затравка разом із затверділим на ній металом витягується валками із кристалізатора разом із утвореним таким чином зливком. Після цього зливки ріжуть газокисневим різакон на заготовки необхідної довжини.

В результаті направленої твердіння і безперервного живлення в зливках, що отримані безперервним розливанням, відсутня усадкова раковина, зливки маю щільну будову і дрібнозернисту структуру.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть способи розливання сталі.
2. В чому суть сифонного розливання?
3. Як відбувається розливання зверху?
4. В чому недоліки сифонного розливання?
5. Яка технологія безперервного розливання сталі?
6. Які переваги безперервного розливання сталі?

Література: [2, с. 36–42; 3, с. 46–49]

2.4 Будова сталевих зливок

Процес кристалізації та будова сталевих зливок залежить від хімічного складу сталі, ступеня її розкиснення, умов охолодження і інших факторів.

В результаті зменшення об'єму сталі при твердінні у зливках утворюються усадкові дефекти, характер та розташування яких залежать від ступеня розкиснення сталі.

За ступенем розкиснення сталі поділяються на киплячі, спокійні та напівспокійні.

Кипляча сталь – це сталь, що розкиснюється у ковші тільки марганцем. Виділення бульбашок газу у процесі розливання створює враження кипіння. Деякі бульбашки СО не встигають видалитися із зливки до його твердіння, внаслідок чого по всьому об'єму

зливка утворюються порожнини округлої форми. Зливки киплячої сталі, як правило, одержують без концентрованої усадкової раковини. Кипляча сталь надходить на прокатку, де відбувається заварювання бульбашок.

В киплячій сталі знижена кількість вуглецю, практично відсутній кремній, тому кипляча сталь характеризується низькою міцністю та великою пластичністю і використовується для виготовлення виробів методом обробки тиском. Для важконавантажених конструкцій і відповідальних деталей кипляча сталь не використовується.

Спокійна сталь – це сталь, що розкиснена марганцем, кремнієм і алюмінієм. У верхній частині зливка утворюється усадкова раковина.

На рис. 2.4 представлена кристалічна будова зливка спокійної сталі.

При зіткненні перших порцій рідкого металу зі стінками виливниці у тонкому зовнішньому шарі рідкого металу через різкий градієнт температур і переохолодження утворюється велика кількість центрів кристалізації. Це сприяє формуванню зони дрібнозернистих кристалів. Далі розміщується зона стовпчастих кристалів. З невеликого числа центрів кристалізації починають рости нормально орієнтовані до поверхні дрібнозернистої корки стовпчасті дендритні кристали. І, нарешті, виникає третя зона, в якій відсутній певний напрямок відведення тепла, внаслідок чого утворюється зона рівновісних кристалів. Для такого зливка характерна дендритна і зональна ліквация. Дендритна ліквация обумовлена неоднорідністю хімічного складу у межах одного кристалу (дендриту). Зональна ліквация викликана неоднорідністю хімічного складу в різних частинах зливка.



Рисунок 2.4 – Кристалічна будова зливка спокійної сталі

Спокійна сталь містить підвищену кількість вуглецю, кремнію, марганцю. Вона характеризується більшою міцністю і пониженою пластичністю у порівнянні з киплячою сталлю. Спокійна сталь використовується для виробництва важконавантажених деталей.

Напівспокійну сталь розкислюють марганцем і частково кремнієм. Така сталь за якістю і вартістю є проміжною між киплячою і спокійною.

Питання для самоперевірки

1. Від чого залежить будова сталевих зливків?
2. Що таке кипляча сталь?
3. Яку будову мають зливки з киплячої сталі?
4. Якими властивостями характеризується кипляча сталь і де вона застосовується?
5. Що таке спокійна сталь?
6. З яких зон складається зливка спокійної сталі?
7. Які властивості має спокійна сталь?
8. Що таке напівспокійна сталь?

Література: [1, с. 23]

Тема 2. Металургія кольорових металів

Основні питання теми

Етапи виробництва міді, виробництво алюмінію, титану.

Вказівки до вивчення теми

3.1 Виробництво міді

Виробництво міді складається з таких етапів:

1. Збагачення мідних руд методом флотації. Флотацією називають процес відокремлення мінералів, що містять мідь або інші метали, від решти руди. Після фільтрації і сушіння утворюється концентрат, що вміщує 15...35 % міді.

2. Випалювання концентрату з метою часткового видалення з нього сірки.

3. Виплавка штейну із концентрату в полумєневих печах. Внаслідок проходження низки хімічних реакцій утворюється мідний штейн, що вміщує 20...45 % Cu, 20...40 % Fe, і до 25 % S.

4. Конвертування мідного штейну шляхом продувки його стисненим повітрям при наявності SiO_2 у конвертері.

Здобуту чорнову мідь виливають з конвертера в ківш і направляють на розливну машину, де отримують зливки.

5. Вогневе рафінування чорнової міді для окиснення домішок.

Мідь після вогневого рафінування чистотою до 99,0...99,8% розливають у виливниці для отримання зливків, які підлягають наступному електролітичному рафінуванню.

6. Електролітичне рафінування проводять з метою одержання чистої від домішок міді (до 99,95% Cu). Для цього застосовують спеціальні ванни, де анодом є плити з міді після вогневого рафінування, а катодом – тонкі листи електролітичної міді. При проходженні струму анод розчинюється, мідь переходить у розчин і осідає на катоді. Домішки осідають на дно ванни.

Питання для самоперевірки

1. Що таке флотація?
2. З якою метою проводять випалювання концентрату?
3. Що являє собою мідний штейн?
4. Як відбувається конвертування мідного штейну?
5. Яка мета вогневого рафінування?
6. В чому суть електролітичного рафінування?

Література: [1, с. 35–37; 2, с. 44–45]

3.2 Виробництво алюмінію

Виробництво алюмінію складається з двох процесів: виділення глинозему з руди і його електроліз. Основною сировиною для отримання алюмінію є боксити – гірська порода, яка містить алюміній у вигляді гідроксидів.

Технологія отримання глинозему з бокситів лужним способом складається з таких етапів.

1. Отримання оксиду алюмінію лужним способом. Руда піддається дії луги NaOH. В результаті взаємодії оксиду алюмінію руди та NaOH утворюється алюмінат натрію.

2. Розчин алюмінату натрію відфільтровують.

3. Відфільтрований розчин алюмінату натрію гідролізують і отримують гідроксид алюмінію $Al(OH)_3$.

4. Гідроксид алюмінію прожарюють і одержують глинозем Al_2O_3 .

Після цього утворений глинозем розчинюють у кріоліті – фториді натрію та алюмінію і піддають електролізу в електролізерах.

Отриманий алюміній піддають рафінуванню – очищенню від неметалевих домішок та газів.

Після рафінування і відстоювання утворюється так званий первинний алюміній, чистота якого 99,5...99,85 %.

Питання для самоперевірки

1. З яких процесів складається виробництво алюмінію?

2. Які етапи характерні для одержання глинозему з бокситів лужним способом?

3. Які ще є етапи отримання алюмінію?

Література: [1, с. 28–29; 2. С. 46–47]

3.3 Виробництво титану

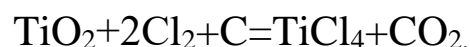
Найбільш розповсюдженою сировиною для виробництва титану є ільменіт $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$, рутил TiO_2 , перовскіт $\text{CaO}\cdot\text{TiO}_2$ і сфен $\text{CaO}\cdot\text{TiO}_2\cdot\text{SiO}_2$ (титаніт).

Відомі декілька способів отримання титану, при чому у всіх випадках металургійній переробці завжди передує збагачення руди і отримання концентрату. Вибір способу металургійної переробки залежить від вимог і призначення кінцевого продукту, а також типу вихідної сировини і характеру домішок, які містяться в ньому. Частіше всього використовують магієстермічний спосіб, який складається з таких етапів:

1. Отримання титанових концентратів. Титанові руди збагачують, в результаті чого одержують концентрати з вмістом TiO_2 до 50 %.

2. Плавка на титановий шлак. В якості шихти використовують брикети, які містять подрібнений концентрат, антрацит або вугілля та зв'язуюче. В результаті плавки отримують багатий титановий шлак, який містить до 80 % TiO_2 . Побічним продуктом є чавун. Порошкоподібний шлак піддають магнітній сепарації (для видалення частинок, що містять залізо), змішують з нафтовим коксом і зв'язуючим та пресують у брикети. Після випалювання при 700—800 °С брикети направляють на хлорування.

3. Хлорування титанового шлаку. Хлорування проводять в шахтних дугових електропечах, куди через фурми подають хлор. При хлоруванні утворюється чотирихлористий титан згідно з реакціями



Чотирихлористий титан знаходиться в парогазовій суміші, до складу якої входять і інші хлориди. Його очищують від твердих частинок і охолоджують в конденсаторах, в результаті чого отримують рідкий чотирихлористий титан, який відстоюють і фільтрують.

4. Технічний чотирихлористий титан направляють на очищення осадженням і ректифікацією. Ректифікація заснована на тому, що різні хлориди мають різну температуру кипіння. Потім чотирихлористий титан направляють на відновлення.

5. Відновлення $TiCl_4$ магнієм відбувається в спеціальних герметичних реакторах (ретортах) за реакцією $TiCl_4 + 2Mg = Ti + 2MgCl_2$. Титан в реакторі виділяється у вигляді губки, яка містить крім титану ще Mg і $MgCl_2$. Після цього титанову губку піддають рафінуванню.

6. Рафінування титанової губки виконують методом вакуумної дистиляції при $950 \dots 1000$ °С. Домішки титанової губки Mg і $MgCl_2$ розплавляються, частково випаровуються і потім виділяються в конденсаторах.

7. Плавлення очищеної титанової губки здійснюють у вакуумних електродугових печах. Електрична дуга горить між електродом з пресованої титанової губки та зливком титана, який розміщують на дні виливниці. Електрод з губки плавиться і тому має назву – той, що витрачається. Наявність вакууму оберігає метал від окиснення і сприяє його очищенню від поглинених газів і домішок. Чистота титану, отриманого плавленням губки, становить $99,6 \dots 99,7\%$.

Питання для самоперевірки

1. Що є сировиною для виробництва титану?
2. Як проводиться виробництво титанового шлаку?
3. В чому полягає хлорування титанового шлаку?
4. Як відновлюється чотирихлористий титан?
5. Що таке процес рафінування титанової губки?

Література: [1, с. 31–34; 2, с. 48–49]

РОЗДІЛ 3. ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

Виготовлення виробів із рідкого металу називають ливарним виробництвом (литтям). Суть процесу полягає в отриманні заготовки або деталі заливанням металу певного хімічного складу в ливарну форму, порожнина якої за розмірами та конфігурацією відповідає виробу. Під час охолодження (кристалізації) метал переходить з рідкого до твердого стану, відбувається утворення кристалічної ґратки, формуються основні експлуатаційні властивості.

Заготовки, що виготовлені способом лиття, називають виливками. Якщо потрібно відтворити точні розміри і форму (нарізати різьбу, зняти фаску тощо) заготовки піддають механічній обробці і одержують литі деталі.

У загальному машинобудуванні біля 70% заготовок деталей становлять виливки. Це пояснюється можливістю виготовлення деталей найскладнішої форми, масою від кількох грамів до сотень тонн із товщиною стінки від 1 до 500 мм і довжиною до 10000 мм.

Литтям отримують заготовки блоків циліндрів, гільз, поршнів, поршневих кілець, корпусів коробок передач, зубчастих колес та багато інших деталей автомобілів, тракторів, підйомно-транспортних та дорожньо-будівельних машин.

Приблизно 80% виливків за масою одержують із чавуну, 15% - із сталі і 5% - із сплавів кольорових металів.

Не всі сплави в однаковій мірі придатні для виготовлення фасонних деталей. Із одних сплавів (сірого чавуну, силуміну) можна легко отримати заготовки складної конфігурації, а із інших (леговані сталі) це пов'язано із значними труднощами.

Для одержання якісної вилівки без раковин, тріщин та інших дефектів ливарні сплави поряд з механічними, фізичними та хімічними повинні мати гарні технологічні ливарні властивості.

Тема 1. Основні властивості ливарних сплавів

Основні питання

Рідкотекучість і форма для її визначення. Усадка. Види усадки і методика її визначення. Ліквация. Види ліквации. Газовбирання.

Вказівки до вивчення теми

До ливарних властивостей належать рідкотекучість, усадка, схильність до ліквідації та газовбирання.

Рідкотекучість – здатність рідкого металу розтікатися по каналах ливарної форми, заповнювати її порожнину і чітко відтворювати контури вилівка. При недостатній рідкотекучості має місце недолив металу у вузьких перерізах ливарної форми.

Рідкотекучість, головним чином, залежить від хімічного складу та температури заливання металу в форму. Із збільшенням в сплаві вмісту фосфору, кремнію, алюмінію та вуглецю рідкотекучість збільшується, а із підвищенням кількості сірки, кисню – погіршується.

Підвищення температури металу перед заливанням його в форму значно поліпшує рідкотекучість і, чим вище перегрів, тим більш тонкостінні заготовки можна одержати, бо метал заповнить всі вузькі порожнини форми. Висока рідкотекучість забезпечує якісний вилівок без таких видів браку, як недоливи та неспаї.

Високу рідкотекучість мають такі сплави: сірий чавун, сплав алюмінію з кремнієм (силумін), сплави на цинковій та олов'яній основі; середню – білий чавун, латунь; низьку – сталь та магнієві сплави.

Знижують рідкотекучість: широкий інтервал кристалізації сплавів (наприклад у сталі), висока в'язкість рідкого сплаву та підвищена теплопровідність матеріалу форми.

Сплави, що твердіють при постійній температурі (евтектичні сплави), мають найкращу рідкотекучість.

Рідкотекучість ливарних сплавів визначають за спеціальною технологічною пробою. Для цього метал заливають у ливарну форму з порожниною, найчастіше, у вигляді трапецоїдної спіральної канавки (рис. 3.1.).

За міру рідкотекучості приймають довжину заповненої частини спіралі (у міліметрах). Для полегшення визначення цієї довжини на моделі спіралі нанесені позначки через кожні 50 мм. Якщо заливати метал при різних температурах, можна за заповненою довжиною спіралі знайти оптимальну температуру заповнення форми.

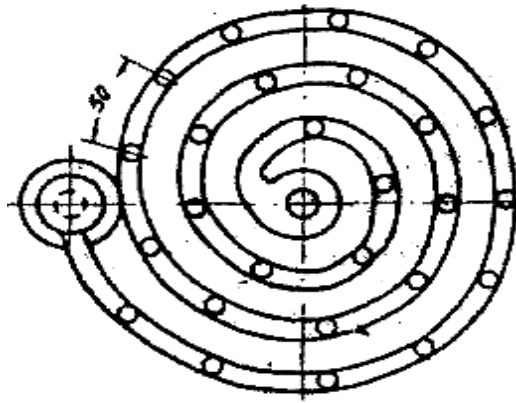


Рисунок 3.1 – Технологічна форма для визначення рідкотекучості сплаву

Рідкотекучість зумовлює мінімальну товщину стінки виливка, яку можна отримати з даного матеріалу (табл. 3.1.).

Таблиця 3.1 – Залежність товщини стінки виливка від рідкотекучості сплаву

Рідкотекучість, мм	500–700	400–500	300–400	200–300
Товщина стінки виливка, мм	3–4	6–15	15–25	>25

Усадка – це зменшення об’єму металу у процесі його кристалізації та подальшого повного охолодження у твердому стані. Вона поділяється на об’ємну та лінійну. Внаслідок об’ємної усадки під час кристалізації не вистачає металу для заповнення всієї порожнини форми. Оскільки кристалізація поширюється від стінок форми до центру виливка, не вистачатиме металу в місцях, які кристалізуються останніми, тобто в центральних зонах найбільш масивних частин виливка. В цьому перерізі утворюється усадкова пористість (рихлота) або концентрована усадкова раковина. Сплави, що мають широкий інтервал кристалізації, схильні до появи дрібних усадкових пор, а у сплавах, які твердіють у вузькому інтервалі температур, утворюються зосереджені великі порожнини – усадкові раковини. Зменшенню розмірів усадкової раковини сприяє зниження температури та швидкості заливання ливарної форми, збільшення швидкості охолодження виливка під час твердіння.

Для запобігання утворення усадкової пористості та раковин слід створити у ливарній формі умови безперервного заповнення масивних перерізів виливка рідким металом на протязі всього про-

цесу кристалізації. Для цього над цим перерізом вилівка встановлюють порожнину більшого перерізу – резервуар рідкого сплаву, який називається додатком. Додаток, що має більший переріз, має тверднути останнім і усадкова раковина утворюється саме в ньому. Після вибивання вилівка із форми додаток з раковиною відрізають.

Якщо конструкція вилівка різностінна, необхідно урівняти швидкість охолодження тонких і масивних перерізів. З цією метою в ливарній формі встановлюють холодильники – металеві вставки, які розташовують в масивних частинах вилівок для прискорення кристалізації металу і запобігання утворення усадкової раковини.

Об’ємну усадку визначають за технологічною пробою - заливанням металу у ливарну форму з порожниною у вигляді конуса (рис. 3.2.).

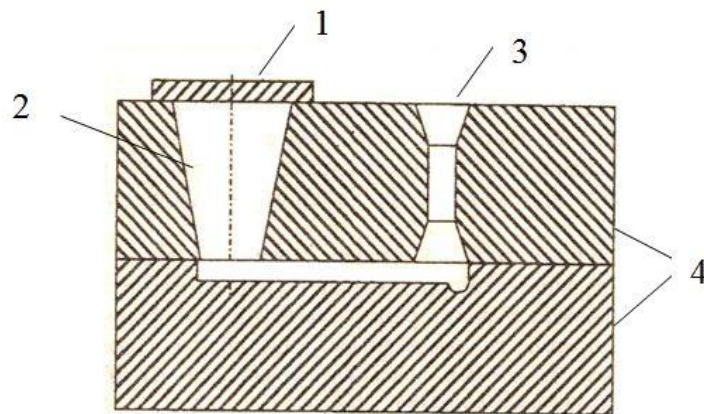


Рисунок 3.2 – Конусна технологічна проба для оцінки об’ємної усадки :
1 – металева пластинка (кришка); 2 – конусна порожнина в ливарній формі;
3 – ливникова система; 4 – опоки.

Величину об’ємної усадки оцінюють за формулою

$$\varepsilon_{об} = \frac{V_p}{V_0} \times 100\% ,$$

де V_p – об’єм раковини, $см^3$;

V_0 – об’єм конусної порожнини ливарної форми, $см^3$.

Лінійна усадка – це зменшення лінійних розмірів вилівка у твердому стані при охолодженні до кімнатної температури.

Величина лінійної усадки залежить від хімічного складу і температури заливання сплаву, швидкості його охолодження, конструкції ливарної форми та самого вилівка, а також від піддатливості

формової суміші. Величина лінійної усадки ливарних сплавів різна і дорівнює: для сірого чавуну ~1 %, для кольорових сплавів ~ 1,2-1,8 %, для вуглецевої сталі 2 %. Виготовлення виливків із сплавів, які мають велику лінійну усадку, пов'язане з певними труднощами із-за появи в них великих напружень, що призводять до короблення і навіть утворення тріщин.

Лінійна усадка може бути вільною або утрудненою. Вільна усадка має місце в тому разі, коли немає перешкод для зменшення розмірів вилівка, утруднена – коли існують перешкоди у вигляді виступів форми та стрижнів. Тому утруднену усадку називають також ливарною.

Визначають лінійну усадку також за технологічною пробою. Вільну усадку вимірюють на гладких горизонтально залитих в форму циліндричних зразках, а утруднену – на циліндричних зразках з фланцями (рис. 3.3).

Величину лінійної усадки визначають за формулою

$$\varepsilon_{\text{лін}} = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \cdot 100\% ,$$

де l_0 – довжина порожнини форми, яка вимірюється після видалення моделі, мм;

l_1 – довжина циліндричного зразка, мм.

Величина утрудненої усадки завжди менша, ніж вільної, і різниця між ними тим більша, чим складніша конфігурація вилівка.

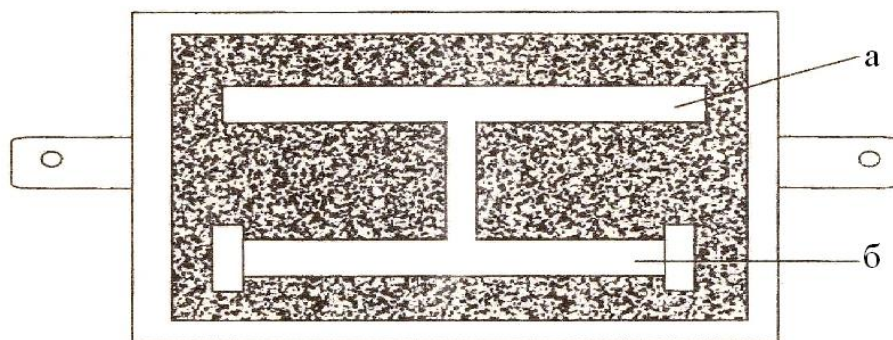


Рисунок 3 – Ливарна форма з моделями технологічних проб для визначення лінійної усадки: а – вільної; б – утрудненої

Ліквация – неоднорідність хімічного складу в різних ділянках вилівка. Розрізняють дендритну, зональну та ліквацию за питомою

вагою (гравітаційну). Ліквация негативно впливає на механічні властивості виливка.

Дендритна ліквация – неоднорідність хімічного складу в об'ємі одного дендриту: між дендритними осями, які кристалізуються раніше, та міжосьовими зонами, що твердіють останніми при нижчих температурах. Ці зони часто збагачені шкідливими домішками, які окрихчують метал. Дендритна ліквация посилюється з розширенням інтервалу кристалізації і збільшенням швидкості охолодження виливка. Цю ліквацию можна усунути спеціальною термічною обробкою – дифузійним відпалом, яка полягає у тривалій (десятки годин) витримці литого виробу при температурах, близьких до температури його плавлення.

Зональна ліквация – неоднорідність хімічного складу в різних зонах всього об'єму виливка. Особливо схильні до ліквации в сталях і чавунах сірка, фосфор та вуглець. Порівняно із середньою кількістю в сплаві, різниця вмісту цих елементів в зонах ліквации може сягати 500 % для сірки, 300% для фосфору і вуглецю. Таке накопичення цих шкідливих домішок в сплаві призведе до його значного окрихчення.

Зональна ліквация виникає в умовах повільного охолодження. Її не можна усунути термічною обробкою, а слід застосовувати прискорене спрямоване твердіння товстих частин виливка.

Ліквация за питомою вагою утворюється у виливках із сплавів кольорових металів, які містять елементи, що істотно відрізняються за густиною. При повільному охолодженні більш важкі елементи опускаються вниз, а більш легкі збагачують верхню частину виливка, що призводить до його неоднорідного хімічного складу. Зменшити таку ліквацию можна ретельним перемішуванням рідкого сплаву і прискоренням кристалізації.

Газовбирання – це властивість сплаву у рідкому стані поглинати з повітря газу (кисень, азот та водень). Зі зниженням температури їх розчинність в металі зменшується, вони виділяються в ливарній формі і можуть призвести до утворення у виливку газових раковин. Тому формова та стрижнева суміші мають бути газопроникними для полегшення виходу газів під час твердіння рідкого металу.

Отже, технологічні ливарні сплави повинні мати хорошу рідкотекучість, малу усадку та газовбирання і не утворювати ліквации.

Питання для самоперевірки

1. Що таке ливарне виробництво?
2. Яке місце займає ливарне виробництво в машинобудуванні і чому?
3. Які технологічні властивості відносяться до ливарних? Як вони впливають на якість виливків?
4. Що таке рідкотекучість, які фактори на неї впливають, як її визначають?
5. Що таке усадка, фактори що на неї впливають, які існують види усадки?
6. Які існують методи запобігання утворенню усадки?
7. Як визначають об'ємну усадку ливарних сплавів?
8. В яких випадках має місце лінійна вільна, а в яких – утруднена усадка? Як їх визначають?
9. Що таке ліквация, які існують види ліквациї, як їх усунути?
10. Що таке газобірання, як воно впливає на якість виливка?

Література: [1, с. 86–93; 3, с. 20–22; 4, с. 152–156; 6, с. 11–17]

Тема 2. Лиття в піщано-глинисті форми

Основні питання

Лиття в піщано-глинисті форми. Опочно-модельний комплект. Стрижневі та формові суміші. Формування у двох опоках за різною моделлю. Види формування. Переваги і недоліки лиття в піщано-глинисті форми.

Вказівки до вивчення теми

Всі способи одержання виливків, які існують в сучасному ливарному виробництві, можна поділити на дві групи: лиття в піщано-глинисті форми і спеціальні види лиття.

Використання певного способу лиття визначається багатьма факторами: типом виробництва (одиничне або серійне), масою виливка, вимогами до точності розмірів та чистоти поверхні, ливарними властивостями сплавів та економічною доцільністю.

Для одержання виливків використовують разові (одноразові) та багаторазові форми. Разові форми виготовляють із піщано-глинистих та піщано-смоляних формових сумішей і призначені вони лише для одного виливка, після отримання якого їх руйнують.

Багаторазові форми з металу, шамоту, азбесту, гіпсу та інших вогнетривких матеріалів розраховані на виготовлення десятків, сотень або навіть тисяч виливків. Їх розкривають для видалення виливка і потім використовують знову.

1.1. Виготовлення виливків у піщано-глинистій формі

Литтям у піщано-глинисті форми отримують біля 80 % всіх виливків. Це найбільш простий, дешевий та універсальний спосіб лиття, яким виготовляють різні за конфігурацією виливки із чавуну, сталі та кольорових металів.

Виробництво литих заготовок починається з розробки ливарної технології та необхідного технологічного оснащення.

Для виготовлення виливка треба створити ливарну форму, внутрішня поверхня якої відтворює конфігурацію та розміри виробу, і систему каналів для підводу рідкого металу в форму – так звану ливникову систему.

Для виготовлення ливарної форми необхідні опочно-модельний комплект та формова і стрижнева суміші.

Опочно-модельний комплект складається з ливарної моделі виробу, модельної плити, опок, моделей елементів ливникової системи (рис. 3.4), стрижневих ящиків.

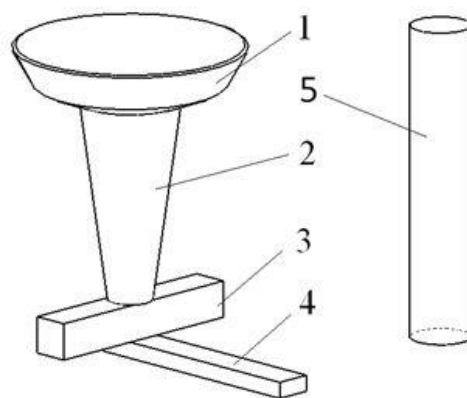


Рисунок 3.4 – Виливок і модельний комплект: 1 – ливникова чаша, 2 – стояк, 3 – шлаковловлювач, 4 живильник, 5 – виливок

Ливарну модель виготовляють із формової суміші і використовують для створення відбитка зовнішньої поверхні вилівка і утворення порожнини для заповнення її рідким металом. Розміри моделі повинні бути більшими за розмір готової деталі на величину усадки металу і припусків на механічну обробку. Вертикальні стінки моделі мають нахили до 3° , щоб полегшити її виймання із форми.

Моделі для одиночного виробництва виготовляють з дерева або пластмас, а для масового – з металу. Щоб запобігти вологості та збільшити термін збереження моделі фарбують у відповідний колір: червоний – для чавунних виливків, сірий – для сталевих, жовтий – для виливків із кольорових металів.

Моделі бувають нерознімними (цільними), та рознімними, тобто такими, що складаються з кількох частин.

Моделні плити формують площину рознімання ливарної форми. На неї встановлюють модель і здійснюють формування порожнин для майбутнього вилівка.

Опока – це металева рамка, яка призначена для утримання суміші при формуванні та транспортуванні готової ливарної форми до місця заливання рідкого металу. Для виготовлення ливарної форми, як правило, використовують дві парні опоки – верхню та нижню. Опоки виготовляють із чавуну або сталі.

Для утворення отворів або порожнин у вилівках в форму встановлюють стрижні, виготовлені у спеціальному стрижневому ящику із стрижневої суміші. Стрижневі ящики складаються з двох половинок, внутрішня частина яких має форму і розміри потрібного стрижня.

На моделі в місцях, де мають бути отвори, передбачаються спеціальні виступи – знаки. Після видалення моделі і створення відбитка в ці місця вставляють стрижні.

Ливникова система – це сукупність каналів, якими рідкий метал надходить у ливарну форму і заповнює її. Вона складається з ливникової чаші, стояка, шлаковловлювача, живильника, випору (рис. 5). Ливникова чаша перша приймає рідкий метал із ковша, зменшує динамічний напір струменя металу. Стояк – це вертикальний канал, який з'єднує ливникову чашу із шлаковловлювачем, роблять конусним. Шлаковловлювач має трапецоїдний переріз і приз-

начений для затримування шлакових включень та частинок формової суміші, які спливають на поверхню рідкого металу. Живильники підводять рідкий метал безпосередньо в порожнину ливарної форми. Випор установлюють у найвищій точці виливка і тому він заповнюється рідким металом останнім, що дає можливість контролювати заливання форми. Випор призначений для виходу повітря з форми в міру її заповнення.

Моделі ливникової системи, як і виливка, виготовляють з дерева, пластмаси або металу.

Формові та стрижневі суміші

Ці суміші призначені для виготовлення ливарної форми та стрижнів і повинні мати такі головні властивості: пластичність, вогнетривкість, газопроникність, міцність, піддатливість та непригарність.

Пластичність – здатність суміші точно відтворювати чіткий відбиток моделі або порожнини стрижневого ящика.

Вогнетривкість – властивість суміші протистояти розплавленню або розм'якшенню під дією розплавленого металу.

Газопроникність – здатність суміші пропускати з певною швидкістю газу, які утворюються у формі, або виділяє метал при охолодженні.

Міцність – здатність ущільненої суміші не розмиватися рідким металом при заповненні форми, та не руйнуватися під час виймання моделі, складання півформ та транспортування під заливання металу.

Піддатливість – властивість суміші не чинити значного опору усадці металу при охолодженні виливка у формі. Особливо це важливо для стрижневих сумішей.

Непригарність – здатність сумішей не вступати в хімічну взаємодію з металом і не пригоряти до поверхні виливка.

Формова суміш складається з кварцового піску (наповнювача), глини (зв'язувальна речовина), води та протипригарних речовин (кам'яновугільний пил, мазут, тирса тощо).

Пісок забезпечує суміші вогнетривкість і газопроникність, глина – пластичність і міцність, але знижує газопроникність і підда-

тливість, а також утруднює вибивання стрижнів з виливка. Вміст глини у формовій суміші обмежують до 8–12%.

Стрижнева суміш містить пісок і зв'язувальну речовину (оліфу, смоли, рідке скло тощо) в кількості 2–3% і до властивостей її ставляться більш високі вимоги, бо вона перебуває в більш важких умовах високих температур і значного тиску.

Вихідні матеріали для виготовлення формової та стрижневої суміші сушать, подрібнюють, просівають, а потім ретельно перемішують.

Процес отримання виливків у піщано-глинистих формах складається з таких послідовних операцій:

- а) виготовлення за робочими кресленнями моделі виробу, моделей елементів ливникової системи, стрижневих ящиків;
- б) виготовлення стрижнів;
- в) виготовлення ливарної форми;
- г) заливання форми рідким металом;
- д) охолодження форми до кімнатної температури;
- е) вибивання виливка з форми і стрижня з виливка;
- є) обрубкування ливникової системи та очищення виливка;
- ж) в разі необхідності механічна та термічна обробка виливка;
- з) контроль та виправлення дефектів.

Основний процес – це отримання ливарної форми (рис. 3.5). Найбільш поширений метод її виготовлення – це формування в двох опоках за рознімною моделлю. Процес формування здійснюється в такій послідовності.

Для виготовлення нижньої полуформи на модельній дошці 1 встановлюють нижню опоку 2, в якій розміщують половину моделі 3 і живильник 4. Поступово засипають півмодель сумішшю і ущільнюють її трамбівкою до повного заповнення опоки. Надлишок суміші зрізають лінійкою і проколюють душником вентиляційні канали для збільшення газопроникності форми. Нижня полуформа вже готова. Потім готову нижню півформу перевертають на 180 ° і посипають сухим піском. На нижню половину встановлюють верхню половину моделі 6. Накривають нижню півформу верхньою опокою 5 і з'єднують їх за допомогою вушок 14 і штирів 13.

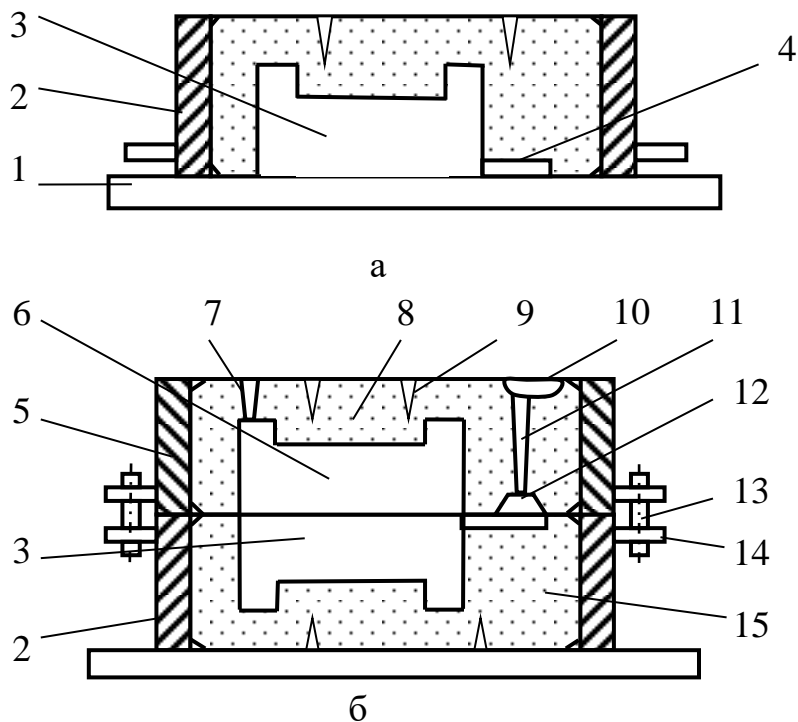


Рисунок 3.5 – Формування у двох опоках за різнімою моделлю

Розміщують моделі ливникової системи: шлаковловлювач 12, стояк 11 і ливникову чашу 10. Встановлюють модель випору 7, засипають верхню опоку з моделями формовою сумішшю і утрамбовують її. Коли верхня напівформа готова, видаляють моделі ливникової чаші, стояка і випору.

Потім верхню напівформу знімають з нижньої, повертають її на 180° і видаляють моделі вилівка та шлаковловлювача. З нижньої опоки видаляють половину моделі і ливник. Якщо необхідно, то встановлюють стрижні. Після цього опоки з'єднують, центрують і закріплюють штирями. Готову ливарну форму транспортують для заливання рідким металом.

Після повного охолодження металу форму руйнують і вибивають вилівок та стрижень, обрублюють ливникову систему, очищують вилівок від пригорілої формової суміші.

У масовому і серійному виробництві дрібних і середніх виливків використовують машинне формування, яке значно полегшує працю формувальника, підвищує продуктивність процесу і точність виливків. За рахунок зменшення припуску на механічну обробку можна заощадити 10–15 % металу. Машинне формування дозволяє

механізувати та автоматизувати процес і є основним способом виготовлення ливарних форм в парних опоках. В піщано-глинистих формах виготовляють переважно виливки з чавуну та сталі і іноді – з кольорових сплавів.

Однак цей спосіб лиття має суттєві недоліки. Це, перш за все, недостатня точність розмірів та форми отриманих виливків, велика шорсткість поверхні і неможливість виготовлення тонкостінних виробів, утворення крупнозернистої литої структури, що погіршує властивості.

Питання для самоперевірки

1. В чому суть лиття в піщано-глинисті форми?
2. Що входить до складу опочно-модельного комплексу?
3. Яке призначення ливарної моделі і які основні вимоги до неї?
4. Що таке опока і які її функції?
5. Для чого використовують стрижні і як їх виготовляють?
6. Яке призначення ливникової системи, з яких елементів вона складається?
7. Якими основними властивостями характеризуються формова та стрижнева суміші? Назвіть їх склад.
8. З яких операцій складається процес отримання виливків у піщано-глинистій формі?
9. Перелічіть послідовність дій при утворенні ливарної форми.
10. В чому переваги машинного формування перед ручним?
11. Які суттєві недоліки способу лиття в піщано-глинисті форми?

Література: [1, с. 94–114; 2, с. 83–87; 3, с. 69–77; 4, с. 159–179; 5, с. 3–7; 6, с. 4–7]

Тема 3. Спеціальні види лиття

Основні питання

Лиття в оболонкові форми. Лиття за витоплюваними моделями. Лиття у кокіль. Відцентрове лиття. Лиття під тиском.

Вказівки до вивчення теми

Найважливішою задачею ливарного виробництва є одержання виливків, які за формою і розмірами максимально наближаються до готової деталі, що суттєво зменшує об'єм механічної обробки. Крім того, підвищені вимоги до якості виробів, прагнення зменшити металомісткість і вагу конструкцій дуже вплинули на конструкцію виливків. Виникла потреба в тонкостінних, більш легких заготовках, міцність яких забезпечують за рахунок ребер жорсткості та інших складних конструкторських елементів. Для виготовлення таких виливків в сучасному виробництві використовуються спеціальні способи лиття. Але слід мати на увазі, що такі способи дорожчі, ніж лиття в піщано-глинисті форми.

Лиття в оболонкові форми

Цим способом в серійному та масовому виробництві одержують дрібні і середніх розмірів виливки (переважно масою від 5 до 15 кг) з будь яких сплавів. Для отримання виливків виготовляють тонкостінні (6-15 мм) форми-оболонки із високоміцної піщано-смоляної суміші.

Процес починають з нагрівання в електричній печі модельної металевієї плити, яка становить одне ціле з моделлю, до температури 220–300 °С (рис. 3.7).

Нагріту плиту 1 закріплюють моделлю вниз над бункером 2 з формовою сумішшю 3, яка складається з дрібнокристалічного кварцового піску та термореактивної смоли (4–6 %) в якості зв'язуючого. Бункер разом з гарячою модельною плитою повертають на 180 °. Формова суміш падає на плиту, суміш плавиться і утворює на моделі напівтверду кірку – оболонку 4 товщиною 6–8 мм, яка з великою точністю відтворює її контури.

Потім бункер повертають у вихідне положення, знімають модельну плиту і подають у піч з температурою 350...500 °С для остаточного твердіння оболонкової напівформи. Таким способом виготовляють другу половину форми. Стрижні виготовляють з цієї ж суміші в металевих стрижневих ящиках за такою ж технологією. Заключною операцією є складання форми з напівформ, для чого їх скріплюють скобами або склеюють. Готову форму кладуть в металевий контейнер, засипають дробом (крупним піском) і заливають металом. Під дією температури рідкого металу смола вигоряє, оболонка і стрижні знеміцнюються і легко руйнуються при вибиванні виливка.

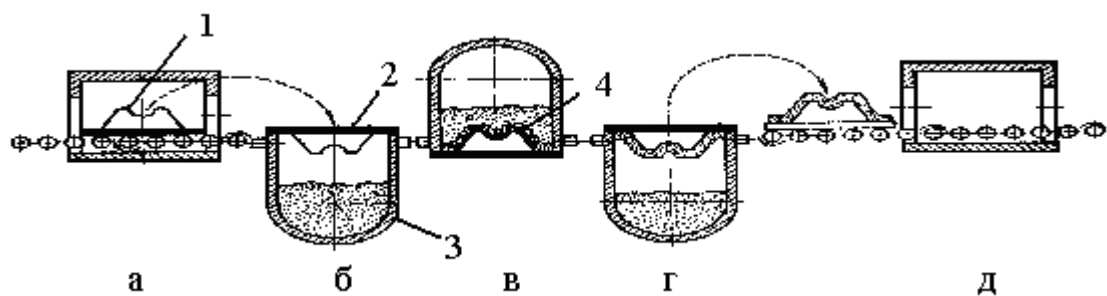


Рисунок 3.7 – Лиття в оболонкові форми

При литті в оболонкові форми виливок має більш точні розміри і об'єм механічної обробки скорочується на ~ 50 %. Витрати формових матеріалів не перевищують 5 % від їх витрат при литті в піщано-глинисті форми.

Недоліки цього способу – висока вартість модельної оснастки із-за високої точності форми і чистоти поверхні, а також наявність токсичних речовин в формовій суміші.

Лиття за витоплюваними моделями

Цей спосіб лиття використовують для виготовлення дрібних виливків (до 10 кг, з товщиною стінки до 3 мм) із сплавів з будь-якою температурою плавлення, які важко піддаються оброблюванню різанням і тиском. При цьому досягаються дуже велика точність розмірів і висока чистота поверхні, що зменшує обсяг механічної обробки на 80-100 %. Значно скорочуються витрати металу на ливникову систему, бо в одній формі виготовляють десятки виливків.

Суть методу полягає в тому, що за нерознімною легкоплавкою моделлю виготовляють нерознімну ливарну форму, моделі з якої витоплюють і утворену порожнину заповнюють рідким металом.

Ливарну модель, а також моделі живильників і стояка виготовляють із легкоплавкої модельної маси (парафін, стеарин, віск, каніфоль), яку запресовують шприцем у металеву рознімну пресформу, внутрішня поверхня якої дає дуже точний відбиток і точні розміри майбутнього вилівка з усіма внутрішніми порожнинами. Потім легкоплавкі моделі з живильниками «припаюють» до загального стояка 2 і отримують блок моделей 1, який занурюють в спеціальну вогнетривку суміш, щоб на моделях утворився тонкий шар цієї суміші 3 (рис. 3.8). Для зміцнення цього шару блок посипають кварцовим піском 4 і висушують. Таку операцію повторюють від 3 до 5 разів, щоб отримати форму у вигляді багат шарової оболонки з заформованими в ній легкоплавкими моделями. Після остаточного висушування форму занурюють в гарячу воду (90–100 °С) або розміщують в сушильній шафі. Моделі та елементи ливникової системи витоплюються та витікають з форми. Для зміцнення оболонки ливарну форму ставлять в металевий ящик 5 засипають сухим піском або дробом і розміщують в печі при 800–900 °С. Заливають рідкий метал в гарячу форму після випалення оболонок, що дає можливість одержати тонкостінні складної конфігурації вилівки. Потім вибивають вилівки із форм і відокремлюють ливникову систему.

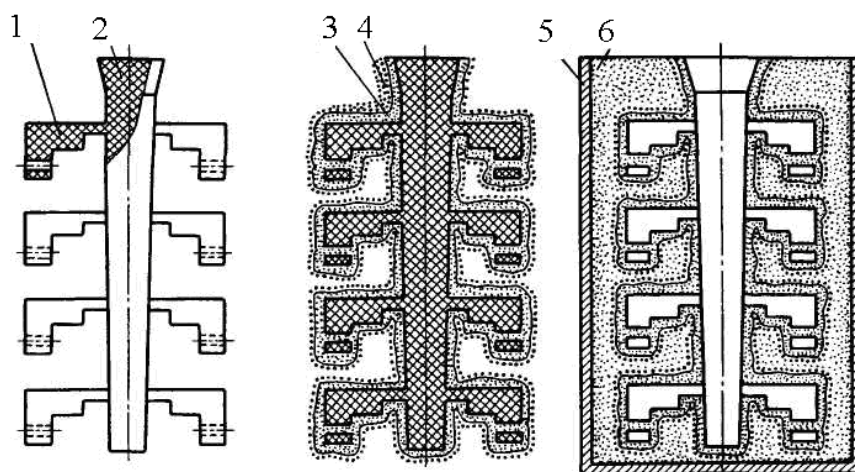


Рисунок 3.8 – Лиття за витоплюваними моделями: 1 – блок моделей; 2 – загальний стояк; 3 – шар вогнетривкої суміші; 4 – кварцовий пісок; 5 – металевий ящик; 6 – пісок або дріб

Цим способом виготовляють лопатки турбін, різальний інструмент (свердла, фрези), дрібні деталі автомобілів і тракторів.

В індивідуальному виробництві відповідальних виливків масою до 3,5 тонн із чавуну та кольорових металів застосовують випалювані моделі. Їх виготовляють із пінополістиролу. Склеюванням можна отримати такі моделі найбільш складної конфігурації і точності.

Лиття у кокіль

При цьому способі лиття використовують багаторазову металеву форму, яка зветься кокілем.

Кокільне лиття використовують у серійному і масовому виробництві при виготовленні нескладних за конфігурацією виливків з товщиною стінки від 3 до 100 мм із кольорових металів, чавуну, і рідко зі сталей. Кокілі мають високу теплопровідність, тому швидкість охолодження і кристалізації сплаву в десятки разів вища, ніж у піщаній формі. Як наслідок отримують щільний виливок з дрібнозернистою структурою, що значно підвищує його міцність.

Лиття в кокіль не потребує модельно-опочного оснащення та формової суміші, дозволяє одержати точні виливки з високою чистотою поверхні і при цьому значно підвищується продуктивність процесу, зменшуються виробничі площі із-за відсутності формування, покращуються санітарно-гігієнічні умови.

За конструкцією кокілі бувають нерознімними, або рознімними з горизонтальним чи вертикальним розніманням.

Рознімний кокіль (рис. 9) складається з двох напівформ 1, кожна з яких має пальці (або ребра) 7 для прискорення охолодження форми. Половинки кокіля центруються і закріплюються штирями. Ливникову систему розміщують в площині розняття кокіля.

Для утворення у виливків внутрішніх порожнин і отворів використовують, найчастіше всього, металеві стрижні 9.

Для отримання якісного виливка і збільшення терміну його служби внутрішню поверхню кокіля покривають вогнетривкою фарбою. Перед заливанням рідкого металу кокіль підігрівають до 200-300 °С. Заливають метал в ливникову чашу 3 і по стояку 4 та живильнику 7 він заповнює порожнину форми. Оскільки металеві стри-

жні невіддатливі, їх видаляють із форми до початку усадки металу. Для виходу газів та повітря із форми у площині рознімання по всій висоті кокіля прорізають вентиляційні канали. Після повного охолодження кокіль розкривають і виштовхують вилівок.

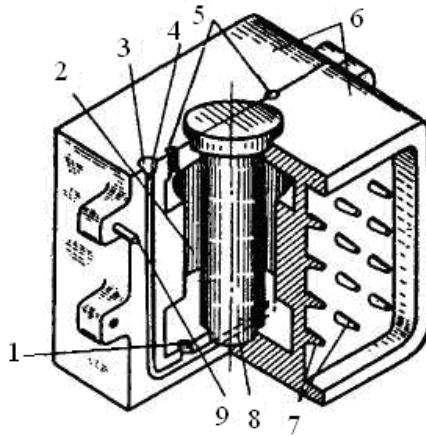


Рисунок 9 – Кокіль: 1 – живильник; 2 – порожнина форми; 3 – ливникова чаша; 4 – стояк; 5 – випор; 6 – половинки кокіля; 7 – пальці; 8 – стрижень; 9 – штир

Кокілі при виготовленні виливків із кольорових металів витримують сотні тисяч заливань рідкого металу.

До недоліків лиття в кокіль слід віднести високу вартість металевих форм, тому їх застосовують лише в серійному і масовому виробництві простих за формою ливарних заготовок та деталей. Крім того невіддатливість кокілю збільшує вірогідність утворення тріщин у виливках.

Цим способом лиття виготовляють вали, корпуси приладів, деталі двигунів внутрішнього згорання тощо.

Відцентрове лиття

При цьому способі лиття метал заливають в форму, яка обертається з певною швидкістю. Під дією відцентрових сил рідкий метал відкидається до стінок форми і кристалізується у вигляді пустотілого виливка, внутрішня порожнина якого не потребує стрижня. Виливки виготовляють в металевих формах на відцентрових машинах з горизонтальною та вертикальною віссю обертання (рис. 10, а і б).

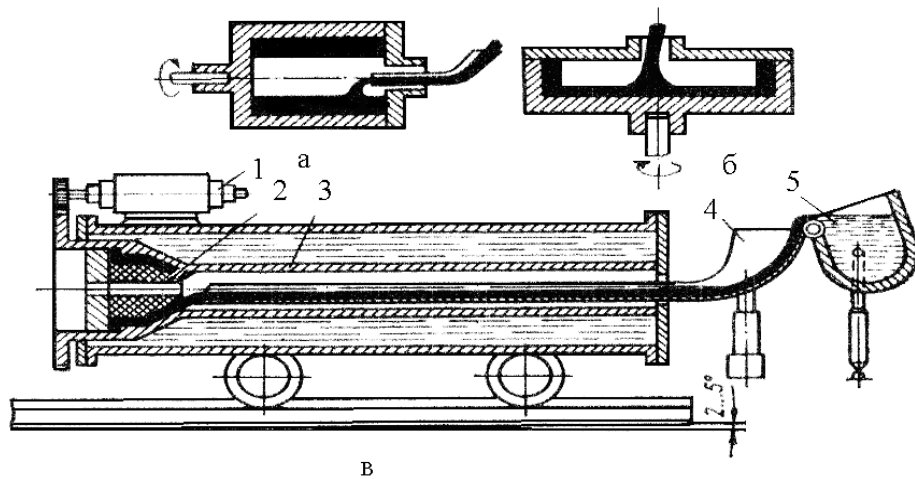


Рисунок 10 – Схема відцентрового лиття: 1 – електродвигун, 2 – стрижень, 3 – металева форма, 4 – жолоб, 5 – ківш

На машинах з вертикальною віссю обертання виготовляють виливки малої висоти, але великого діаметру: кільця, вінці зубчатих колес, втулки, шківни.

Машини з горизонтальною віссю обертання використовують для отримання довгих труб, орудійних стволів, гільз. Найбільш поширене застосування відцентрового лиття у виробництві чавунних труб в охолоджуваному кокіллі, який обертається електродвигуном. Цим способом виготовляють труби діаметром до 300 мм (рис. 10, в).

Порядок отримання труби наступний. Металева форма 3 обертається електродвигуном 1. Рідкий метал з ковша 5 по жолобу 4 потрапляє у форму, яка в процесі обертання в міру заповнення металом переміщається вліво. У крайньому лівому положенні подача металу припиняється, а форма продовжує обертатися до повної його кристалізації. Потім форма повертається у вихідне положення вправо. За допомогою стрижня 2, який утворює розтруб, труба видаляється з форми.

Лиття під тиском

Цим способом одержують виливки в металевих прес-формах. Заливання в них металу і формування вилівки здійснюється примусово під тиском, що усуває можливість утворення усадочних рако-

вин, знижує газову пористість і підвищує щільність та міцність виливків.

Лиття здійснюють на поршневих (1000–3600 заливань металу за годину) і на компресійних (50–500 заливань за годину) машинах. Частіше використовують поршневі машини з гарячою і холодною камерами стиску.

Гарячу камеру використовують для виготовлення виливків із сплавів на основі цинку, свинцю, олова, з низькою температурою плавлення, а холодну камеру – для виливків з усіх інших кольорових сплавів.

Компресійні машини застосовують, головним чином, для лиття під тиском алюмінієвих сплавів.

Лиття під тиском дозволяє отримати виливки, які за формою та розмірами максимально наближаються до готової деталі, мають високу чистоту поверхні за рахунок ретельної обробки внутрішньої робочої порожнини прес-форми. Цим способом виробляють виливки з мінімальною товщиною стінки $\sim 0,8$ мм, отворами діаметром до 1 мм і масою від кількох грамів до 45 кг. Цей спосіб лиття дуже продуктивний і безвідходний. До недоліків його слід віднести високу вартість прес-форм, обмеженість розмірів і маси виливків.

Інші спеціальні види лиття

До прогресивних і найбільш перспективних способів лиття відносяться електрошлакове та безперервне лиття.

Суть електрошлакового лиття полягає у використанні технології електрошлакового переплаву, при якому одержують метал найвищої якості. При цьому способі плавлення металу, заповнення ним ливарної форми, кристалізація вилівка відбуваються безперервно і одночасно.

Ливарна форма виконує дві функції – плавить метал і формує вилівок. Процес цей відбувається під шаром рідкого шлаку, який очищує метал від шкідливих домішок (сірки та фосфору), захищає від кисню і азоту повітря, виконує роль додатку при кристалізації, що унеможливорює формування усадочної раковини. Цей спосіб лиття дозволяє отримувати великі виливки високої якості (колінчасті вали дизелів, прокатні валки, кувальні штампи, кокілі для відцен-

тровою лиття, корпуси атомних реакторів, паропроводи високого тиску) і при цьому економія металу становить біля 3 тонн на кожній тонні готових виливків. Для електрошлакового лиття непотрібні плавильні агрегати для отримання рідкого металу, розливні ковші, формові суміші та ливникові системи.

При безперервному литті розплавлений метал заливають в металоприймач звідки він надходить в водоохолоджувальний кристалізатор де і твердіє. З кристалізатора виливок безперервно витягується спеціальним пристроєм. Цей процес аналогічний безперервному розливанню сталі.

Таким способом одержують круглі, квадратні, прямокутні заготовки із залізовуглецевих і кольорових сплавів.

Питання для самоперевірки

1. Які особливості виливків, що отримані спеціальними способами лиття?
2. В чому суть виготовлення виливків в оболонкових формах?
3. Які переваги і недоліки лиття в оболонкові форми?
4. Які одержують виливки за моделями, що витоплюються, які можливості цього виду лиття?
5. В яких випадках застосовують випалювані моделі?
6. Що таке кокіль, якої конструкції вони бувають?
7. Які переваги і недоліки лиття в кокіль?
8. Як підготовляють кокіль до заливання його металом?
9. Як здійснюється лиття в кокіль, для яких виливків його використовують?
10. В чому суть відцентрового лиття?
11. Які деталі виготовляють відцентровим литтям?
12. Що являє собою лиття під тиском?
13. Яке обладнання і в яких випадках використовують для лиття під тиском?
14. Які переваги і недоліки лиття під тиском?
15. В чому особливості електрошлакового лиття?
16. Які переваги електрошлакового лиття і в яких випадках воно застосовується?
17. В чому суть безперервного лиття?

Література: [1, с. 114–122; 2, с. 87–95; 3, с. 78–90; 4, с. 179–194; 5, с. 16–20]

РОЗДІЛ 4. ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Тема 1. Суть обробки металів тиском

Основні питання теми

Пружна і пластична деформація, холодна пластична деформація, зміна структури і властивостей при холодній пластичній деформації, процеси, що відбуваються при нагріві холоднодеформованого металу.

Вказівки до вивчення теми

Обробка металів тиском – це технологічний процес виготовлення заготовок або готових виробів шляхом холодної або гарячої пластичної деформації.

Обробка металів тиском – один з найпоширеніших і найдешевших методів одержання заготовок (а часто і деталей) різної маси та розмірів, зі сталі, сплавів алюмінію, міді, титану та ін. Суттєвими перевагами цього методу є його висока продуктивність і малі відходи. Обробці тиском піддається близько 90% сталей і більше ніж 50% кольорових металів.

Деформація буває *пружною і пластичною*. Пружна деформація зникає після зняття сил, що її викликали, а пластична залишається. Завдяки останній тіло дістає задану форму та розміри. Обробка металів тиском можлива завдяки їх пластичності. *Пластичністю* називають здатність металу необоротно (пластично) деформуватись під дією прикладених сил. На пластичність металу впливають температура, хімічний склад і структура матеріалу, наприклад, стан та швидкість деформування.

Більше всього на пластичність впливає *температура*. Як правило, температура дуже підвищує пластичність.

В залежності від температури пластична деформація може бути холодною або гарячою. Холодна пластична деформація відбува-

ється при температурі, нижчій від температури рекристалізації, а гаряча – при температурі, вищій від температури рекристалізації.

Питання для самоперевірки

1. Що таке обробка металів тиском?
2. Які переваги має обробка металів тиском у порівнянні з іншими методами одержання заготовок?
3. Яка властивість обумовлює легкість обробки металів тиском?
4. Що таке пластичність?
5. Які фактори впливають на пластичність?
6. Яка пластична деформація називається холодною, а яка гарячою?

Література: [1, с. 130–134; 2, с. 112–117]

1.1 Холодна пластична деформація

Зміни структури і властивостей при холодній пластичній деформації

При холодній пластичній деформації відбувається витягування зерен в напрямку деформації, переважна орієнтація кристалічної решітки зерен в напрямку течії металу (текстура), значно збільшується кількість дефектів кристалічної будови (вакансій, міжвузельних атомів, дислокацій). При цьому відбувається підвищення характеристик міцності і зниження пластичності і ударної в'язкості. Така зміна властивостей при холодній пластичній деформації називається *наклепом*. Наклеп обумовлений збільшенням при холодній пластичній деформації густини лінійних дефектів – дислокацій.

На величину наклепу великий вплив має ступінь деформації ε , під якою розуміють відносну зміну розмірів.

Наприклад, при стиску ε визначають за формулою

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} \times 100\% ,$$

де h_0 – висота виробу у вихідному стані;
 h – висота виробу після деформації.

Чим більше ступінь деформації, тим більше наклеп.

Питання для самоперевірки

1. Які зміни структури металу відбуваються при холодній пластичній деформації?
2. Як змінюються механічні властивості при холодній пластичній деформації?
3. Що таке наклеп і чим він обумовлений?
4. Що таке ступінь деформації?
5. Як ступінь деформації впливає на величину наклепу?

Література: [2, с. 117–118]

1.2. Процеси, що відбуваються при нагріві холодно-деформованого металу

Після деформації метал перебуває в напруженому, нерівноважному стані. При нагріві в ньому відбуваються зміни структури і властивостей, що наближають їх до вихідного стану. Ступінь цих змін залежить від температури. Спочатку при нагріві механічні властивості майже не змінюються, а після досягнення певної температури міцність і твердість починають різко зменшуватись, а пластичність і ударна в'язкість підвищуватися. В результаті наклеп знімається і метал набуває властивостей, які були до деформації.

Температура початку різкої зміни властивостей називається *температурою рекристалізації* $T_{\text{рекр}}$. Зняття наклепу відбувається завдяки процесу *первинної рекристалізації*, яка полягає в утворенні в витягнутих деформованих зернах нових рівновісних зерен з малою кількістю дефектів кристалічної будови. Зменшенням кількості дефектів і обумовлений процес знеміцнення.

При подальшому підвищенні температури відбувається збиральна рекристалізація, тобто укрупнення нових рекристалізованих зерен. При цьому властивості не змінюються, але в разі значного росту зерен всі механічні властивості погіршуються.

Температура рекристалізації пов'язана з температурою плавлення таким співвідношенням

$$T_{\text{рекр}} = a \cdot T_{\text{пл}} ,$$

де $T_{\text{рекр}}$ – абсолютна температура рекристалізації, К;

$T_{\text{пл}}$ – абсолютна температура плавлення, К;

a – коефіцієнт, що залежить від природи і чистоти металів: для чистих металів він дорівнює 0,2, для технічних металів – 0,4, складнолегованих сплавів – 0,7–0,8.

Для зняття наклепу проводиться *рекристалізаційний відпал*, який полягає у нагріві холоднодеформованого металу вище температури рекристалізації, видержці при цій температурі і охолодженні у повітрі.

Рекристалізаційний відпал може використовуватись для одержання остаточних властивостей виробу або як проміжний в процесі холодної пластичної деформації з великими ступенями для відновлення пластичності.

Питання для самоперевірки

1. Які зміни механічних властивостей відбуваються при нагріві холоднодеформованого металу?
2. Що таке первинна рекристалізація?
3. Що відбувається на стадії збиральної рекристалізації?
4. Що таке температура рекристалізації і як її знайти?
5. З якою метою проводять рекристалізаційний відпал?

Література: [2, с. 119–122]

1.3 Гаряча пластична деформація

При *гарячій пластичній деформації* спочатку відбуваються такі ж зміни структури, як і при холодній, і виникає наклеп, але оскільки температура деформації вище температури рекристалізації, відбувається первинна рекристалізація і наклеп знімається. В процесі деформації відбувається чергування зміцнення і знеміцнення і після

охолодження структура і властивості будуть приблизно такими, як до деформації.

При гарячій пластичній деформації опір деформуванню в 10-20 разів менший, ніж при холодній. Чим вище температура, тим нижче міцність і вище пластичність металу.

Процес гарячої обробки тиском складається з таких стадій:

- а) нагрів до температури початку деформації (t_{max});
- б) видержка при t_{max} ;
- в) гаряча пластична деформація, в процесі якої відбувається охолодження до температури кінця деформації ($t_{кінця\ деф.}$);
- г) охолодження від температури кінця деформації.

Максимальна температура нагріву t_{max} (температура початку деформації) дорівнює

$$t_{max} = t_{пл} - (100 \div 150)^\circ\text{C},$$

де $t_{пл}$ – температура початку плавлення.

Перевищення t_{max} призводить до таких видів браку як, перегрів і перепал. Перегрів супроводжується укрупненням зерен і підвищенням крихкості, а перепал – оплавленням і окисненням границь зерен. Перегрів можна усунути термічною обробкою, а перепал – непоправний вид браку.

Нагрівати заготовки до t_{max} треба не дуже швидко, щоб уникнути утворення великих напружень і тріщин. З цієї ж причини охолодження від температури кінця деформації треба проводити якомога повільніше.

Час видержки при t_{max} залежить від розмірів заготовок, способу укладання їх у печі, теплопровідності металу.

Нагрів заготовок перед обробленням тиском здійснюється в полумєневих або електричних печах або у пристроях для електроконтактного і індукційного нагрівання.

Холодна і гаряча пластична деформація мають свої переваги і недоліки.

Перевагами холодної пластичної деформації є:

- а) відсутність окиснення і знеуглецьовування поверхневого шару;
- б) більша точність розмірів і краща якість поверхні.

До недоліків холодної пластичної деформації слід віднести такі:

а) низька деформівність і необхідність використання потужного обладнання;

б) окрихчення матеріалу і необхідність проведення проміжних рекристалізаційних відпалів для досягнення великих ступенів деформації.

Пластичні матеріали піддають холодній обробці тиском, а для важкодеформівних, малопластичних металів і сплавів, а також заготовок із литого металу (зливків) доцільно використовувати гарячу обробку тиском.

Питання для самоперевірки

1. Які зміни структури і властивостей відбуваються при гарячій пластичній деформації?

2. Із яких стадій складається гаряча обробка тиском?

3. Як вибрати температурний інтервал гарячої обробки металу тиском?

4. Що таке перегрів і перепал?

5. Як треба проводити нагрів і охолодження заготовок при гарячій обробці тиском?

6. Які переваги і недоліки холодної і гарячої пластичної деформації?

Література: [1, с. 135–136; 2, с. 123–125]

Тема 2. Основні види обробки металів тиском

Основні питання теми

Прокатування, пресування, волочіння, кування, об'ємне і листове штампування, прокатні стани, валки, волока, штампи.

Вказівки до вивчення теми

2.1 Прокатування

Прокатуванням називається вид обробки тиском, коли заготовка силами тертя втягується у проміжок між обертальними валками, які її пластично деформують, зменшуючи площу поперечного перерізу й збільшуючи довжину (рис. 4.1.). Прокатування належить до найпродуктивніших видів обробки.

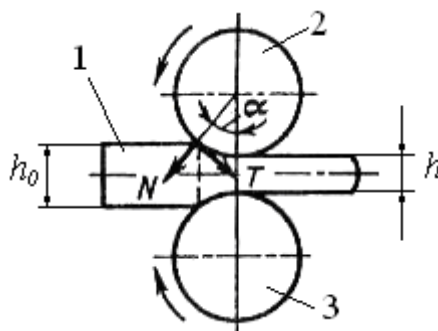


Рисунок 4.1 – Схема прокатування металу: 1 – заготовка; 2, 3 – валки; h_0 – початкова і h – кінцева висота заготовки; α – кут захоплення

Характеристикою процесу прокатування є відносне обтиснення або ступінь деформації ε

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} \times 100\% ,$$

де h_0 і h – висота заготовка до і після прокатування відповідно.

Другою характеристикою при прокатуванні є коефіцієнт витяжки μ

$$\mu = \frac{l_1}{l_2} = \frac{F_0}{F},$$

де l_0 і F_0 – початкова довжина і площа поперечного перерізу;

l і F – довжина і площа поперечного перерізу після прокатування.

За одне прокатування заготовки між валками μ звичайно складає 1,1–1,6, а іноді досягає 2–2,5.

В залежності від взаємного розташування валків і відносного напрямку їх обертання розрізняють поздовжнє, поперечне і поперечно-гвинтове прокатування. До 90 % прокату виготовляють поздовжнім прокатом.

Форму поперечного перерізу прокатоного виробу називають *профілем*. Сукупність форм і розмірів профілів, одержаних прокатуванням, називається *сортаментом*. Весь сортамент виробів поділяють на чотири групи:

1) сортовий прокат, який може бути простої форми (круг, квадрат, шестикутник і т.п.) і складної форми (швелер, двотавр, рейка, кутник і т.п.);

2) листовий прокат, який розділяється по товщині на:

а) товстий $h > 4$ мм;

б) тонкий $h = 0,2 - 4$ мм;

в) фольга $h < 0,2$ мм.

3) трубний прокат, який може бути безшовним і зварним;

4) спеціальний прокат (колеса, кільця, кулі, періодично змінні профілі).

Інструментом для прокатування є валки, які можуть бути *гладкими*, що використовуються для виготовлення листів, стрічок і т.п., і *калібровані*, за допомогою яких прокатуються всі види сортового прокату.

На робочій поверхні каліброваних валків є канавки – *рівчаки*. Сукупність рівчаків пари валків називається *калібром*.

Прокатування здійснюється на прокатних станах. За призначенням прокатні стани поділяються на два види:

1) обтискувальні – для одержання заготовок і напівпродукту. Це блюмінги і слябінги. На блюмінгах одержують заготовки квадратного перерізу – блюми, які використовують для виготовлення

сортового прокату. На слябінгах прокатують заготовки прямокутного перерізу – сляби, які йдуть на виготовлення листів, стрічок і т.п.

2) стани для прокатування готових виробів, які розділяються в залежності від виду продукції на сортові, листопрокатні, рейкобалкові, трубопрокатні, стани для спеціального прокату.

Питання для самоперевірки

1. Які існують основні види обробки металів тиском?
2. Що являє собою прокатування?
3. Що таке профіль і сортамент?
4. Назвіть види сортаменту.
5. Які види валків використовуються при прокатуванні?
6. Що таке калібр?
7. За якими відзнаками розділяються прокатні стани?
8. Яку продукцію одержують на блюмінгах і слябінгах?
9. Яка продукція відноситься до спеціальних видів прокату?

Література: [1, с. 140–149; 2, с. 127–132]

2.2 Пресування

Пресування полягає у витісненні металу із закритого об'єму крізь отвір у матриці, переріз якого відповідає профілю пресованого виробу (рис. 4.2).

Вихідним матеріалом для пресування служить зливки або прокат. Розрізняють два види пресування: *пряме* і *зворотне*. При прямому пресуванні напрямок виходу металу крізь отвір у матриці співпадає з напрямком руху пуансона (рис. 4.2, а, в).

Для одержання порожнистого виробу (труби) до прес-шайби прикріплюють сталеву голку (рис. 4.2, в).

При зворотному пресуванні напрямок виходу з матриці металу є протилежним напрямку руху пуансона (рис. 4.2 б).

Повністю витіснити весь метал заготовки із контейнера не вдається і в контейнері залишається прес-залишок, який при прямому пресуванні складає 10–25 %, а при зворотному 4–6 % від маси заготовки.

Зворотнє пресування відзначається меншими відходами і меншим зусиллям пресування, але внаслідок складності обладнання і процесу воно використовується обмежено.

Пресування – високопродуктивний та економічний спосіб обробки металів і сплавів, що дає змогу одержувати пресовані вироби з більшою точністю, ніж катані.

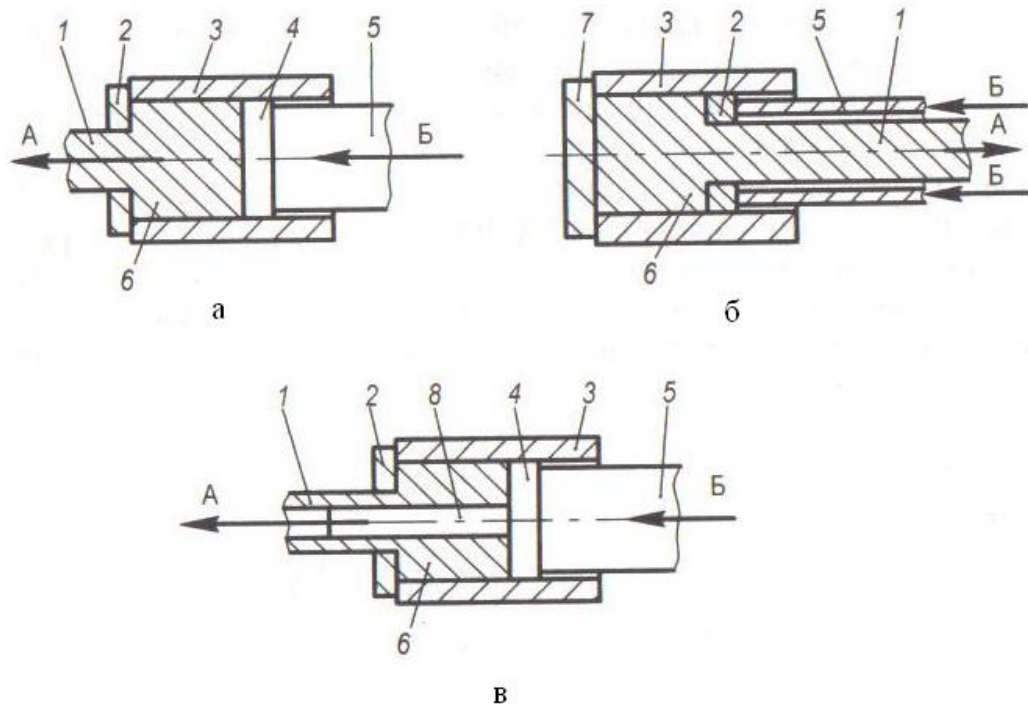


Рисунок 4.2 – Прямий (а, в) і зворотний (б) методи пресування:
 1 – виріб; 2 – матриця; 3 – контейнер; 4 – прес-шайба; 5 – пуансон;
 6 – заготовка; 7 – покриття; 8 – голка

Пресування відбувається в умовах всебічного стискання. При такій схемі деформування метал має найбільшу пластичність, що дає змогу обробляти як пластичні, так і малопластичні сплави.

Недоліками пресування є значні відходи та інтенсивне зношування інструменту.

Чорні метали і сплави піддають гарячому пресуванню, а кольорові як гарячому, так і холодному.

Обладнанням для пресування можуть бути горизонтальні або вертикальні гідравлічні преси. Останнім часом все більше застосовується гідропресування – екструзія металів під безпосередньою дією тиску рідини.

Питання для самоперевірки

1. Що таке пресування?
2. Які переваги і недоліки пресування?
3. Які матеріали піддають пресуванню?
4. Чим відрізняються прямий і зворотний методи пресування?
5. Яке обладнання використовують при пресуванні?

Література: [1, с. 149–150; с. 136–138]

2.3 Волочіння

Волочіння – це процес протягування заготовок крізь отвір у матриці (волоці), переріз якого менший за переріз заготовки (рис. 4.3).

При волочинні виробам надають точні розміри, задану геометричну форму, чисту і гладку поверхню. Волочіння, як правило, здійснюють холодною пластичною деформацією, що призводить до наклепу. Тому між окремими проходами виконують проміжні рекристалізаційні відпали для відновлення пластичності. Волочіння виконують на волочинних станах.

Волочинням обробляють різні сталі, кольорові сплави. Цим способом виготовляють дріт, фасонні профілі, труби, прутки. Волочіння труб проводять з метою зменшення діаметру і одночасно товщини стінки труби, а також для виготовлення фасонних труб.

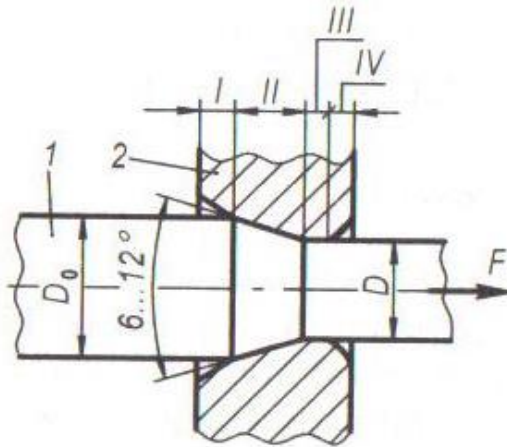


Рисунок 4.3 – Схема волочиння: 1 – заготовка; 2 – волока; D і D_0 – діаметри до і після волочиння; F – зусилля волочиння

Питання для самоперевірки

1. Що таке волочіння?
2. З якою метою роблять проміжні рекристалізаційні відпали при волочінні?
3. Наведіть приклади виробів, які виготовляють волочінням?
4. В чому полягають переваги волочіння?

Література: [1, с. 150–152; 2, с. 139]

2.4 Кування

Куванням називається процес деформування нагрітої заготовки між бойками молота або преса. Суть способу полягає в тому, що заготовку розміщують на нижньому бойку, а верхнім бойком послідовно деформують окремі частини заготовки (рис. 4.4).

Вихідними заготовками для кування служать зливки, блюми і прокат. Одержані куванням заготовки (поковки) піддають подальшій механічній обробці.

Основними операціями кування є такі: видовження, осадка, прошивання, згинання, закручування, рубання, ковальське зварювання (рис. 4.4).

При *видовженні* довжина заготовки збільшується за рахунок зменшення площі її поперечного перерізу. При *осадці* площа поперечного перерізу збільшується за рахунок зменшення її висоти. *Прошивання* виконують з метою одержання наскрізного отвору або заглиблення в металі. *Згинання* – операція, за допомогою якої утворюють або змінюють кути між частинами заготовки. *Рубанням* поділяють заготовки на частини, відокремлюють надлишок металу, утворюють в поковці уступи. *Зварювання* – це утворення нероз’ємних з’єднань частин поковок сумісним їх проковуванням.

Куванням можна одержувати поковки масою від кількох кілограмів до сотень тон. Крупні поковки масою більш 1,5 т можна виготовити тільки куванням.

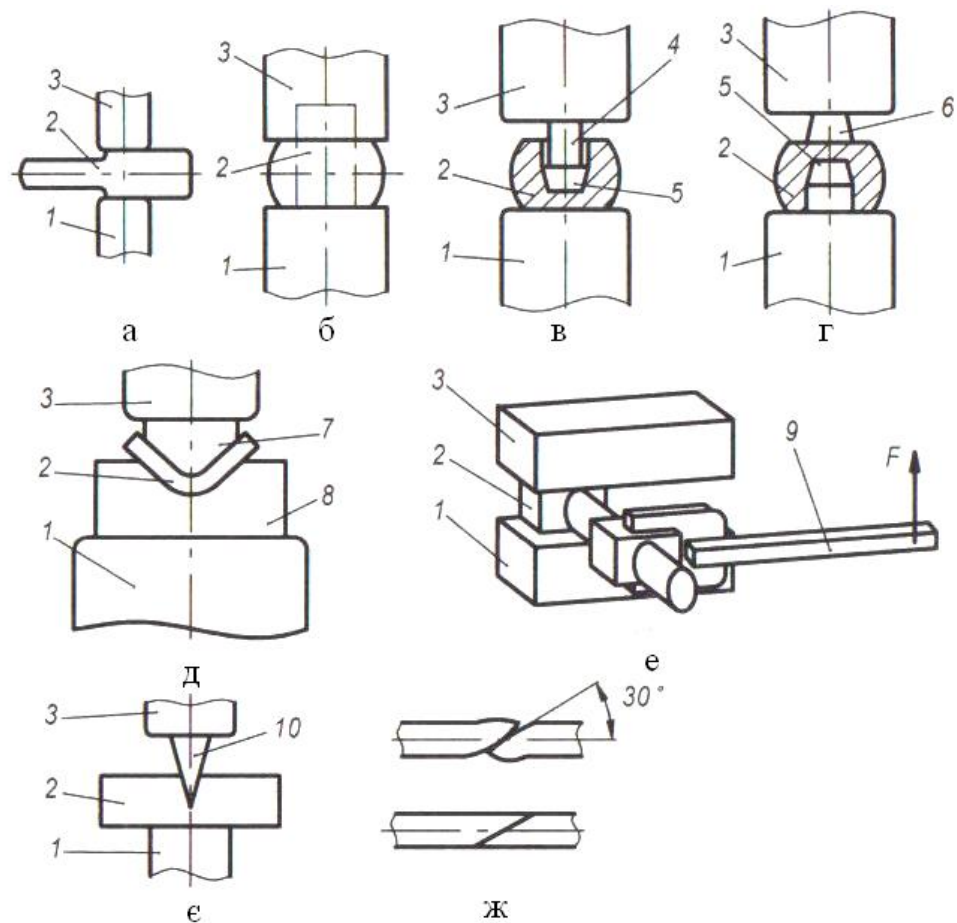


Рисунок 4.4 – Схеми різних операцій кування: а – видовження; б – осадка; в, г – прошивання; д – згинання; е – закручування; є – рубання; ж – ковальське зварювання; 1 – нижній ударник; 2 – заготовка; 3 – верхній ударник; 4 – надставка; 5, 6 – прошивка; 7, 8 – половини підкладного штампа; 9 – вилка; 10 – сокира; F – сила

Питання для самоперевірки

1. Що таке кування?
2. Як називаються заготовки, одержані куванням?
3. Які вихідні заготовки використовують для кування?
4. Назвіть основні операції кування.
5. Які переваги і недоліки має кування?

Література: [1, с. 153–157; 2, с. 133–134]

2.5 Гаряче об'ємне штампування

Об'ємне штампування – це процес одержання поковок у штампах, при якому переміщення металу заготовки від центру в сторони обмежено стінками порожнини штампа.

Робоча порожнина штампа при стулюванні його складових частин у кінці штампування (рівчак) відповідає конфігурації поковок. Штамповкою одержують заготовку, дуже близьку за формою і розмірами до готової деталі. В залежності від типу штампа розрізняють штамповку у *відкритих* і *закритих* штампах.

У відкритих штампах (рис. 4.5) між рухомою і нерухомою частинами штампа є зазор – облойна (задиркова) канавка, куди витікає надлишковий об'єм металу заготовки.

У закритих штампах метал деформується в закритій порожнині. Штампування не супроводжується утворенням облою, і в цьому разі витрати металу менші, але висуваються підвищені вимоги до точності об'єму заготовки. Штампування в закритих штампах забезпечує більший ступінь деформації, поліпшення мікроструктури і дає можливість штампувати малопластичні сплави.

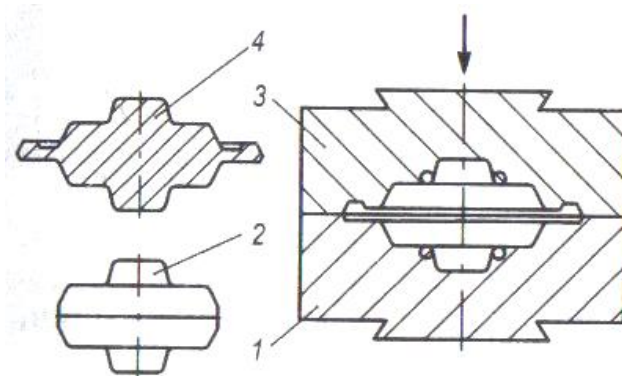


Рисунок 4.5 – Схема об'ємного штампування у відкритих штампах:
1 – нижня частина штампа; 2 – поковка; 3 – верхня частина штампа;
4 – поковка з невідокремленим облоєм

Відкриті і закриті штампи можуть бути *одно-* і *багаторівчакowymi*. Однорівчаківі штампи використовуються для одержання поковок простої форми, а багаторівчаківі – для одержання поковок складної форми.

У порівнянні з куванням об'ємне штампування має в 50-100 разів вищу продуктивність, а поковки відрізняються більшою однорідністю структури і точністю розмірів.

Штамповкою виготовляють шатуни, вали, вісі, шестірні і т.п. До недоліків об'ємного штампування слід віднести обмеженість маси поковок (0,3–200 кг), високу вартість штампів, наявність облою. Тому штампування використовують тільки у крупносерійному і масовому виробництві.

Об'ємне штампування на пресах має ККД в 2 рази і продуктивність в 1,5 – 3 рази вищі ніж на молотах.

Питання для самоперевірки

1. Що таке гаряче об'ємне штампування?
2. В чому полягає різниця між штампуванням у відкритих і закритих штампах?
3. Коли використовують одно- і багаторівчачкові штампи?
4. В чому полягають переваги гарячого об'ємного штампування у порівнянні з куванням?
5. Наведіть приклади деталей, що виготовляють гарячим об'ємним штампуванням.
6. Які недоліки має гаряче штампування?

Література: [1, с. 158–166; 2, с. 134–136]

2.6 Листове штампування

Листове штампування – спосіб виготовлення тиском за допомогою штампа плоских і об'ємних деталей з листового матеріалу, стрічки або штаби. Товщина виготовлених деталей мало відрізняється від товщини вихідної заготовки. Матеріалом для листового штампування служать маловуглецеві сталі, пластичні леговані сталі, мідь, алюміній, титан і сплави на їх основі.

Листовим штампуванням виготовляють шайби, втулки, посуд, баки, облицювання автомобілів, літаків, кораблів тощо.

Операції листового штампування поділяють на:

- *роздільні*, коли відокремлюють частину матеріалу від листа, стрічки, штабу за заданим контуром;
- *формозмінні*, шляхом яких утворюють об'ємну конфігурацію деталі.

До роздільних належать операції *відрізування, вирізування і пробивання*.

До формозмінних належать операції *згинання, витягання, відбортовування, обтискання*.

На рис. 4.6 показана схема формозмінного листового штампування (витягування).

Розрізняють холодне і гаряче листове штампування. Гаряче листове штампування застосовують для матеріалів, недостатньо пластичних, або таких, що мають товщину більше 5-6 мм. З нагрівом виготовляють деталі корпусів корабля, днища цистерн, котлів тощо.

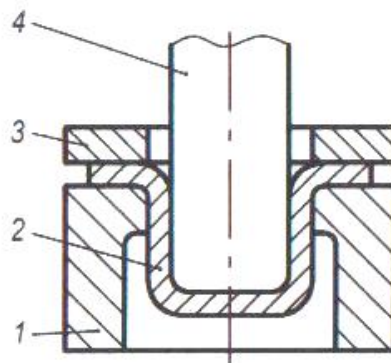


Рисунок 4.6 – Схема листового штампування (витягування): 1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – притискне кільце; 4 – пуансон

Перевагами листового штампування є:

- високі точність розмірів і якість поверхні, що дає змогу відмовитися від подальшої механічної обробки виробів або звести її до мінімуму;
- висока продуктивність і економна витрата металу;
- можливість механізації і автоматизації.

До *недоліків* слід віднести високу вартість штампів.

Питання для самоперевірки

1. Що таке листове штампування?

2. Які матеріали піддають листовому штампуванню?
3. Які операції відносяться до роздільних?
4. Які операції відносяться до формозмінних?
5. В чому полягають переваги листового штампування?

Література: [1, с. 169–174; 2, с. 140–141]

РОЗДІЛ 5. ЗВАРЮВАННЯ

Зварюванням називається технологічний процес отримання нероз'ємного з'єднання деталей шляхом місцевого нагрівання або без нього за рахунок сил міжмолекулярного або міжатомного зчеплення.

Зварювання – економічно вигідний і поширений у промисловості технологічний процес. В залежності від форми енергії, що необхідна для утворення зварного з'єднання, усі види зварювання поділяють на три класи:

- 1) термічний,
- 2) термомеханічний,
- 3) механічний.

Тема 1. Електродугове зварювання

Основні питання теми

Електродугове зварювання, поняття про електричну дугу, джерела зварювального струму, ручне дугове зварювання, електроди для ручного дугового зварювання, автоматичне дугове зварювання під флюсом.

Вказівки до вивчення теми

До термічного класу належать види зварювання, що здійснюються плавленням з використанням теплової енергії (електродугове, газове, електрошлакове, лазерне, зварювання електричним променем та ін.). До термомеханічного класу належать види зварювання, в яких застосовується і нагрівання, і тиск (контактне, дифузійне та

ін.). До механічного класу відносяться види зварювання з використанням тиску (зварювання тертям, холодне та ін.).

Електродугове зварювання – найбільш розповсюджений спосіб з'єднання металевих деталей завдяки теплу електричної дуги, яка горить між електродом і зварюваним виробом.

Розрізняють такі різновиди електродугового зварювання:

1) неплавким електродом (графітним або вольфрамовим), при якому застосовується присадний пруток. Використовується при виправленні дефектів у чавунних виливках, при зварюванні алюмінієвих, титанових сплавів.

2) плавким (металевим) електродом дугою прямої дії. Дуга постійного або змінного струму горить між плавким електродом і виробом. Застосовується при ручному напівавтоматичному або автоматичному зварюванні.

3) дугою побічної дії, що горить між двома електродами.

4) трьохфазною дугою, коли дуга горить між електродами і виробом. Застосовується для автоматичного зварювання металів великої товщини.

1.1 Поняття про електричну дугу

Електрична дуга – це стійкий електричний розряд, що виникає у тому або іншому іонізованому середовищі.

Електричні властивості дуги визначаються статичною вольт-амперною характеристикою, що являє собою залежність між напругою і струмом дуги у стані стійкого її горіння (рис. 5.1).

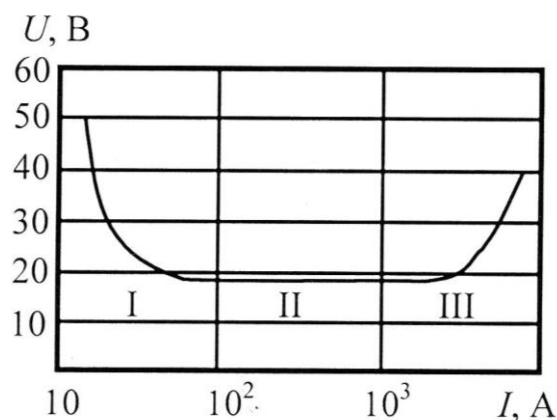


Рисунок 5.1 – Статична вольт-амперна характеристика дуги

Характеристика складається з трьох ділянок: 1 – падаюча; 2 – жорстка; 3 – зростаюча. Найширше застосування знайшла дуга з жорсткою і зростаючою характеристикою. В області падіння дуга горить нестабільно.

Зі збільшенням довжини дуги збільшується робоча напруга. З наведеної залежності видно, що для збереження напруги дуги незмінною, необхідно підтримувати довжину дуги постійною.

1.2 Джерела зварювального струму

При зварюванні постійним струмом електрична дуга живиться від зварювальних генераторів або випрямлячів, а змінним струмом – від зварювальних трансформаторів. Джерела змінного струму більш розповсюджені, тому що вони мають техніко-економічні переваги.

Джерела струму для живлення зварювальної дуги повинні мати спеціальну зовнішню характеристику. Зовнішньою характеристикою джерела струму називається залежність напруги на його вихідних клеммах від струму в електричному ланцюзі. Зовнішня характеристика може бути: 1 – крутопадаюча, 2 – пологопадаюча, 3 – жорстка, 4 – зростаюча (рис. 5.2).

Крива 5 (пунктиром) являє собою ідеальну зовнішню характеристику. Джерело струму вибирають в залежності від вольт-амперної характеристики дуги, відповідно до способу зварювання.

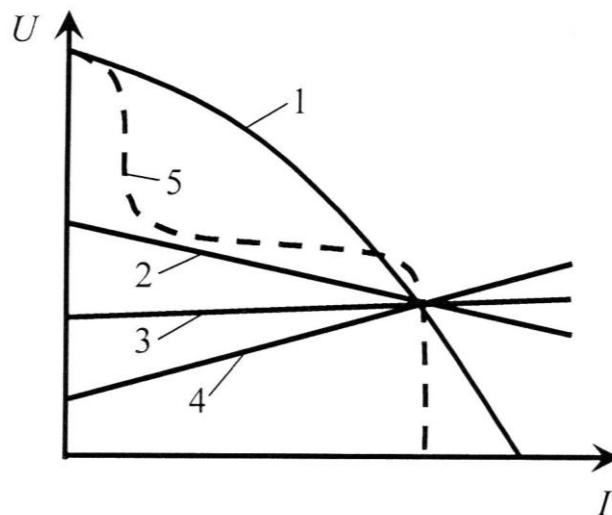


Рисунок 5.2 – Зовнішня характеристика джерела струму

Для живлення дуги з жорстокою характеристикою застосовують джерела з круто- і пологопадаючою зовнішньою характеристикою (ручне дугове зварювання) (рис. 5.3).

Режим горіння дуги визначається точкою перетину характеристик дуги (1) і джерела струму (2).

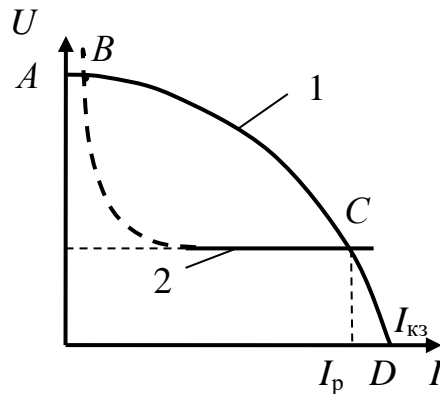


Рисунок 5.3 – Зовнішня характеристика дуги (1) і джерела струму (2)

Точка С відповідає режиму стійкого горіння дуги, точка А – режиму холостого ходу у роботі джерела струму у період, коли дуга не горить і зварювальний ланцюг розімкнутий. Режим холостого ходу характеризується підвищеною напругою (60-80 В). Точка D відповідає режиму короткого замикання при запалюванні дуги.

Струм короткого замикання не повинен перевищувати робочий струм більше ніж у 2 рази, що визначається коефіцієнтом добротності джерела струму Д

$$Д = \frac{I_{к.з.}}{I_p} \leq 2$$

До джерел струму пред'являються наступні вимоги:

- 1) легкість запалювання дуги;
- 2) легкість регулювання струму;
- 3) характеристика джерела зварювального струму повинна бути крутопадаюча;
- 4) джерело зварювального струму повинно витримувати тривале коротке замикання;
- 5) напруга на затискувачах джерела струму повинна бути безпечна для життя ($U = 65 \text{ В}$),

1.3 Ручне дугове зварювання

Ручне дугове зварювання – це маневрений спосіб отримання зварного з'єднання, який виконують зварювальними електродами, що переміщують вручну вздовж зварюваних виробів. У процесі зварювання електродом дуга горить між стержнем електроду і основним металом.

Електроди для ручного дугового зварювання

Призначення електродів двояке: вони є провідниками зварювального струму та беруть участь у формуванні зварного шва. За своєю природою електроди поділяються на дві групи: неплавкі і плавкі. Неплавкі електроди не беруть участі у формуванні зварного шва, тому необхідне застосування присадного прутка. Головним чином – це вугільні і вольфрамові електроди.

Для виготовлення плавких електродів використовують холоднотягнутий дріт, смугу або стрічку, виконану з сталі, міді, мідних або алюмінієвих сплавів. ГОСТ 2246-70/80 на сталевий зварювальний дріт передбачає 77 марок дроту діаметром від 0,2 до 12 мм. За хімічним складом сталевий зварювальний дріт поділяється на 3 групи:

- 1) низьковуглецевий і низьколегований дріт (Св-О8, Св-О8ГА, Св-О8ГС і ін.) застосовується для зварювання маловуглецевої сталі,
- 2) легований дріт (Св-18ХМА, Св-10Х5М і ін.),
- 3) високолегований дріт (Св-О6Х18Н9Т, Св-О6Х19Н10ЗТ і ін.) – використовується для зварювання неіржавіючих сталей і інших високолегованих сталей.

У марках дроту “Св” означає слово “сварочная”, літери і цифри – її хімічний склад.

На електроди при ручному дуговому зварюванні наносяться покриття з метою поліпшення умов запалювання дуги, забезпечення стабільного горіння дуги і захисту розплавленого металу від кисню і азоту повітря. До складу покриття електродів входять розкислюючі, шлакоутворюючі, газоутворюючі, легуючі, зв'язуючі і стабілізуючі компоненти.

Електроди для ручного дугового зварювання класифікуються за двома ознаками: за призначенням і за видом покриття. За призначенням електроди поділяються на 5 класів:

1) для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей із $\sigma_{\text{в}}$ до 600 МПа. Це – електроди Э38, Э42 і ін.

Цифра, що йде після літери «Э» означає тимчасовий опір наплавленого металу в 10^{-1} МПа;

2) для зварювання легованих конструкційних сталей із $\sigma_{\text{в}}$ більше 600 МПа (Э64, Э100 і ін.);

3) для зварювання легованих жароміцних сталей (наприклад, Э-09МХ). У маркуванні відображається хімічний склад наплавленого металу.

4) для зварювання високолегованих сталей з особливим складом, у цьому випадку – маркування, що відображає і хімічний склад, і структуру металу шва. Наприклад, електрод ЭФХ13: літера «Ф» визначає отримання феритної структури за допомогою даного електроду, літера «Х» – означає, що до хімічного складу електроду входить хром, цифра «13» – кількість хрому у цілих відсотках. Електрод такого типу застосовується для зварювання неіржавіючих сталей;

5) електроди для наплавлення шарів з особливими властивостями. Наприклад, ЭН65Х6Н35. Літера «Н» означає наплавлення, цифра «65» – вміст вуглецю у сотих відсотках, «Х» – хром, «6» – вміст хрому у цілих відсотках, «Н» – нікель в кількості 1%. Цифра «35» визначає твердість (35 HRC).

За видом покриття електроди поділяються на електроди з кислим, рутіловим, основним і целюлозним покриттям, що визначається компонентами, які входять до складу покриття.

Основними параметрами режиму ручного дугового зварювання є діаметр електрода і сила зварювального струму. Швидкість зварювання і напруга дуги при ручному зварюванні, як правило, не регламентується, їх добирає сам зварник залежно від марки електрода і положення в просторі.

Сила зварювального струму залежить від діаметра електрода. Для діаметрів 3–6 мм її визначають за формулою

$$I = rd,$$

де I – сила зварювального струму, А;

d – діаметр електрода, мм;

r – коефіцієнт, А/мм, що дорівнює 40–60 – для електродів із стержнем з низьковуглецевої сталі і 35–40 – для електродів із стержнем з високолегованої сталі.

1.4 Автоматичне дугове зварювання під флюсом

Для автоматичного дугового зварювання під флюсом використовують непокритий електродний дріт і флюс для захисту дуги і зварювальної ванни від повітря. Подача і переміщення електродного дроту автоматизовані (рис. 5.4).

У порівнянні з ручним дуговим зварюванням автоматичне зварювання під флюсом має такі переваги:

1) висока продуктивність процесу (у 5–10 разів вище) за рахунок більшої сили струму, що перевищує силу струму при ручному дуговому зварюванні в 5–10 разів, і безперервність процесу;

2) застосування непокритого дроту дозволяє наблизити струмопровід на відстань 30–50 мм від дуги і завдяки цьому усунути небезпечний розігрів електрода при великій силі струму;

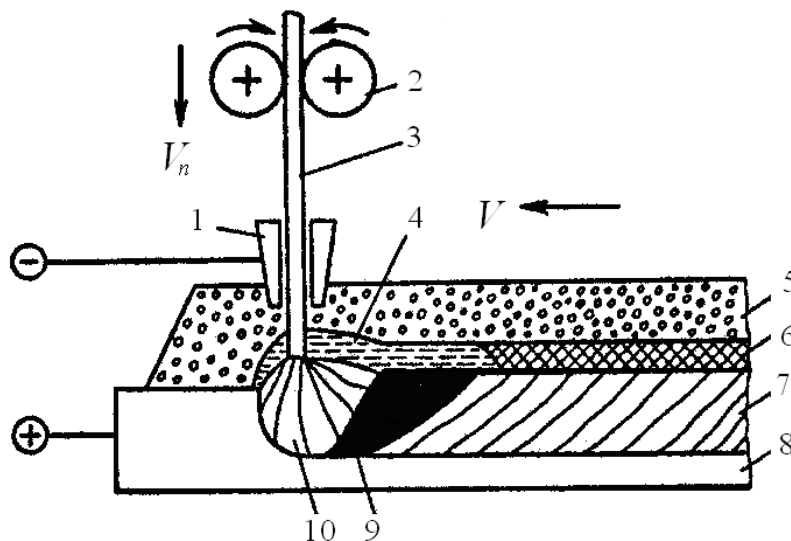


Рисунок 5.4 – Схема автоматичного дугового зварювання під флюсом: 1 – струмопровід; 2 – механізм подачі електродного дроту; 3 – електродний дріт; 4 – ванна рідкого шлаку; 5 – флюс; 6 – шлакова кірка; 7 – зварний шов; 8 – основний метал; 9 – ванна рідкого металу; 10 – зварювальна дуга

3) висока якість зварного з'єднання, що досягається за рахунок: постійності геометричних параметрів шва (форми, ширини, висоти і т. ін.); глибокого проплавлення кромek зварюваних виробів;

відсутності окиснення і наводнення металу зварювальної ванни, та ін. Шар флюсу захищає ванну від кисню і водню.

Недоліки автоматичного зварювання під флюсом полягають у можливості застосування його тільки для нижніх прямолінійних і кільцевих швів великого радіусу округлення і рентабельності цього процесу тільки при крупносерійному виробництві.

Дугове зварювання під флюсом виконують зварювальними автоматами: зварювальними головками або самохідними тракторами, що переміщуються безпосередньо по виробу.

Автоматичне зварювання застосовують для виготовлення зварних автомобільних коліс, котлів, корпусів, мостових балок і ін.

Питання для самоперевірки

1. Що являє собою зварювання?
2. На які класи поділяють усі види зварювання в залежності від форми енергії, яка застосовується?
3. Які існують види електродугового зварювання?
4. Чим визначаються властивості електричної дуги?
5. Які існують джерела зварювального струму?
6. Які види електродів Вам відомі?
7. Які вимоги пред'являються до джерел струму?
8. На які групи розподіляється зварювальний дріт за хімічним складом?
9. На які класи поділяють електроди за призначенням?
10. З якою метою наносять покриття на електроди при ручному дуговому зварюванні?
11. Які компоненти входять до складу покриття, яке наносять на електрод?
12. Які переваги автоматичного зварювання під флюсом?

Література: [1, с. 178–189, 192–196; 2, с. 149–157]

Тема 2. Газове зварювання

Основні питання теми

Зварювальні пальники, будова ацетилено-кисневого полум'я, класифікація газового зварювання.

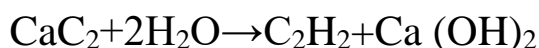
Вказівки до вивчення теми

2.1 Ацетиленові генератори

Газове зварювання – це технологічний процес отримання зварного з'єднання, при якому нагрівання і розплавлення зварюваних деталей, а також присадного матеріалу здійснюється за рахунок екзотермічного тепла, що розвивається при горінні газу у кисні.

Найбільш широко використовується ацетилено-кисневе зварювання. При горінні в технічно чистому кисні ацетилену виділяється велика кількість тепла (до 48 МДЖ/м³), що забезпечує високу температуру полум'я (до 3150 °С).

Для проведення ацетилено-кисневого зварювання необхідно мати ацетилен, що одержують в ацетиленовому генераторі, або металевий балон з ацетиленом, балон з киснем і зварювальний пальник. Ацетилен одержують з карбїду кальцію при взаємодії останнього з водою. Реакція протікає з виділенням значної кількості тепла



Ацетиленові генератори за конструкцією можуть бути переносні і стаціонарні. Переносні генератори забезпечують продуктивність до 0,3 м³/г ацетилену і призначені для обслуговування одного зварника. Продуктивність стаціонарних генераторів досягає 1000 м³/г ацетилену.

За принципом дії розрізняють генератори:

- а) вода на карбїд (рис. 5.5);
- б) карбїд у воду;
- в) контактний.

Для запобігання проникнення киснево-ацетиленової суміші в ацетиленовий генератор застосовують на генераторі водяні запобіжні затвори.

Для пониження тиску кисню, що відбирається з балона, до робочого тиску і для підтримання його постійним у процесі зварювання на балоні з киснем влаштовують редуктор.

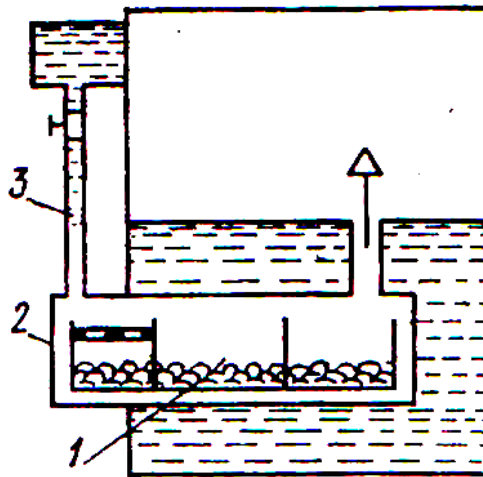


Рисунок 5.5 – Принципова схема ацетиленового генератора «вода на карбід»:
1 – корзина; 2 – реторта; 3 – трубка для подачі води в реторту

З ацетиленового генератора і кисневого балона ацетилен і кисень роздільно надходять до зварювального пальника. Пальник призначений для правильного змішування кисню з паливним газом, подачі пальної суміші до місця зварювання і створення концентрованого полум'я.

2.2 Зварювальні пальники

За принципом дії розрізняють пальники: інжекторні (низького тиску газу) і безінжекторні (середнього і високого тиску). В інжекторному пальнику кисень надходить по шлангу до вентиля і крізь нього в інжектор (рис. 5.6). Виходячи з великою швидкістю з інжектора у камеру змішування, кисень створює розрідження. Це призводить до того, що ацетилен засмоктується. Останній надходить по шлангу до ніпеля, а після цього крізь корпус пальника – до камери змішування, де він змішується з киснем. Отримана пальна суміш надходить у мундштук, на виході з останнього при запалюванні цієї суміші утворюється зварювальне полум'я.

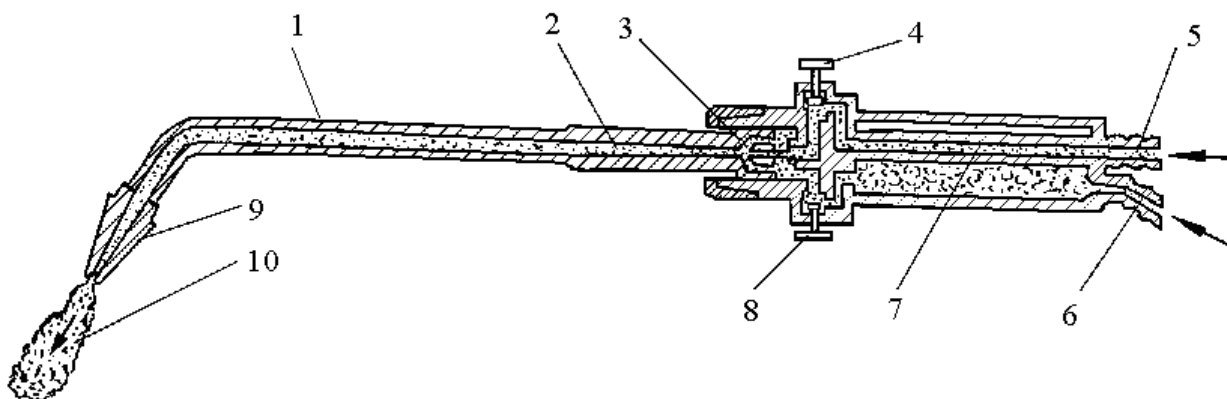


Рисунок 5.6 – Схема зварювального пальника: 1 – трубка; 2 – камера змішування; 3 – інжектор; 4 – вентиль для регулювання; 5 – ніпель для підводу кисня; 6 – ніпель для підводу горючого газу; 7 – трубка; 8 – вентиль для регулювання; 9 – мундштук; 10 – зварювальне полум'я

2.3 Будова ацетилено-кисневого полум'я

Ацетилено-кисневе полум'я утворюється внаслідок згорання ацетилену, що змішується у певних пропорціях з киснем, у зварювальних пальниках. Полум'я складається з трьох зон.

В залежності від співвідношення O_2 і C_2H_2 ацетиленокисневе полум'я може бути:

1. Навуглецьовувальним – при $O_2/C_2H_2 < 1,0$ (0,8–0,9), використовується, головним чином, для наплавлення, а також для зварювання чавуну і високовуглецевих сталей.

2. Окиснювальним – при $O_2/C_2H_2 \geq 1,2$ (1,2–1,5), тобто дається великий надлишок кисню. Використовується для зварювання латуней.

3. Нормальним при $O_2/C_2H_2 = 1,0–1,2$, використовується для зварювання сталей і кольорових металів.

Таким чином, регулюючи подачу кисню у пальник, можна отримати необхідне полум'я.

2.4 Класифікація газового зварювання

Газове зварювання здійснюється двома способами – лівим і правим. При лівому способі зварювання присадний пруток переміщують попереду пальника справа наліво і полум'я пальника спрямоване на незварені кромки, а при правому способі попереду при-

садного прутка переміщують пальник зліва направо і полум'я спрямоване в бік утвореного зварного шва.

Таким чином, при правому способі полум'я спрямоване на вже зварений шов, при лівому – на ще не зварену ділянку. Тому лівий спосіб застосовується при зварюванні матеріалів малої товщини, а правий – великої.

Однак при виборі способу зварювання керуються не тільки товщиною зварюваного металу, а і розташуванням шва у просторі. Нижні шви в залежності від товщини листів зварюють лівим або правим способом. Вертикальні шви, незалежно від товщини – тільки лівим способом, а стельові – тільки правим.

Треба пам'ятати, що пальник міститься у правій руці, а присадний прутки у лівій – при будь-якому способі зварювання.

Питання для самоперевірки

1. В чому полягає суть газового зварювання?
2. Як одержують ацетилен?
3. Який принцип роботи зварювального пальника?
4. Основні види ацетилено-кисневого полум'я?

Література: [1, с. 202–210; 2, с. 160-166]

Тема 3. Термомеханічне і механічне зварювання

Основні питання теми

Контактне зварювання, стикове зварювання, точкове зварювання, шовне (роликове) зварювання, зварювання вибухом, види зварних швів

Вказівки до вивчення теми

3.1. Контактне зварювання

Контактне зварювання – процес з'єднання деталей нагріванням їх у місці контакту до пластичного або рідкого стану з застосу-

ванням одночасного або наступного стиску. Суть контактного зварювання полягає в тому, що крізь зварювані деталі пропускають струм великої сили. За рахунок тепла Джоуля-Ленца ($Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot RT$) метал у місці контакту виробів розігрівається і під тиском відбувається їх зварювання.

Процес контактного зварювання полягає у доведенні зварюваних виробів до такого стану, коли починають діяти сили міжатомного зчеплення. Для полегшення цього процесу вироби нагрівають до пластичного стану або до оплавлення.

Існують три види контактного зварювання: стикове, точкове, роликкове або шовне,

Стикове зварювання

Розрізняють два види стикового зварювання: опором і з оплавленням. При зварюванні опором торці деталей ретельно обробляють, деталі стискають і включають струм. Після нагрівання металу у місці контакту до пластичного стану сила стиску підвищується.

Найбільш розповсюджене зварювання оплавленням, при якому не потрібна ретельна підготовка кромки. Після включення струму деталі стискають і у місці контакту за рахунок високої щільності струму відбувається оплавлення.

І при зварюванні з оплавленням, і при зварюванні опором зварювані вироби закріплюють у затискачах, один з яких є рухомим.

Під час зварювання опором нагрівання досягає температури 1200–1300°C, тобто метал доводиться до пластичного стану. Слід за цим струм вимикається і відбувається осадження (стискання). У місці контакту залишаються оксиди, що знижують міцність з'єднання. Стикове зварювання опором може бути застосоване для зварювання вуглецевих, легированих і кольорових металів, використовується для деталей простих перерізів і тонкостінних труб до 15 мм.

Стикове зварювання оплавленням буває: безперервне і переривчасте. При безперервному оплавленні між деталями (заготовками) залишають проміжок, включають струм і рівномірно зближують заготовки. Після досягнення рівномірного оплавлення всієї поверхні стику заготовки осаджують.

При переривчастому оплавленні затиснуті заготовки зближають під струмом, доводять їх до короткочасного зіткнення і знову роз'єднують на невелику відстань. Повторюється один за одним зближення і роз'єднання.

Зварювання оплавленням має переваги перед зварюванням опором за рахунок того, що при осадженні видавлюванням видаляються оксиди та інші забруднення, можна зварювати заготовки з перерізом складної форми, а також різномірні метали (наприклад, швидкорізальну і вуглецеву сталь).

Точкове зварювання

Точкове зварювання – вид контактного зварювання, при якому заготовки (деталі) з'єднуються в окремих точках, причому одночасно можуть зварюватись одна, дві або декілька точок.

Точкове зварювання залежно від розташування електродів відносно зварюваних заготовок може бути однобічне і двобічне.

Для отримання зварної точки деталі розміщують між електродами. Через певний час, необхідний для створення щільного контакту між деталями, включається зварювальний струм, що розплавлює метал між електродами.

Для правильного формування зварної точки процес зварювання відбувається у певній послідовності. Заготовки стискаються для забезпечення повного контакту. Після стискування включається струм. Деякий час стиснуті заготовки перебувають під струмом, після цього струм вимикається і тиск знімається. Для поліпшення структури зварної точки у деяких випадках тиск перед виключенням збільшується.

Шов при точковому зварюванні негерметичний, для отримання герметичного шва використовують шовне (роликоче) зварювання.

Точкове зварювання широко застосовується в автомобілебудуванні; у вантажному автомобілі близько 7–8 тисяч зварних точок, а у легковому – до 15–18 тисяч.

Шовне (роликове) зварювання

У цьому разі електроди виготовляють у вигляді плоских роликів, між якими пропускають зварювані заготовки. При переміщенні роликів по заготовці утворюються зварні точки, що перекривають одна одну, внаслідок чого одержується суцільний герметичний шов. Шовне зварювання, також як і точкове, можна виконувати при однібічному і двобічному положенні електродів (роликів).

Роликове зварювання виконують безперервним, переривчастим і кроковим способом. При безперервному зварюванні деталі переміщуються безупинно, причому увесь час до електродів надходить струм. Поверхня зварюваних деталей дуже перегрівається, електроди швидко зношуються, що погіршує якість зварювання.

При переривчастому зварюванні деталі переміщуються безупинно, а струм до електродів надходить періодично.

При кроковому зварюванні у момент включення струму деталі нерухомі, після кристалізації зварної ділянки відбувається переміщення деталей на певний крок.

Роликове зварювання застосовують у масовому виробництві при зварюванні листів товщиною 0,3–3 мм, при виготовленні різноманітного посуду, резервуарів, тощо.

Питання для самоперевірки

1. У чому суть контактного зварювання?
2. Які види стикового зварювання Вам відомі?
3. У чому суть точкового зварювання?
4. Яка послідовність операцій точкового зварювання?
5. Як здійснюється роликове зварювання?

Література: [1, с. 212–217; 2, с. 166–171]

3.2. Зварювання вибухом

Цей вид зварювання заснований на використанні сили направленої вибуху. Схема такого зварювання представлена на рис. 5.7.

У цьому разі з'єднувані поверхні двох заготовок 3 і 4 (пластин), одна з яких нерухома і служить підставкою, розміщують під кутом одна до одної на відстані h_0 . На заготовку укладають вибухову речовину 2 товщиною H , а з боку, над вершиною кута, встановлюють детонатор 1. Тиск, що виникає під час вибуху, дає імпульс розташованій під зарядом пластині. Детонація вибухової речовини відбувається з великою швидкістю.

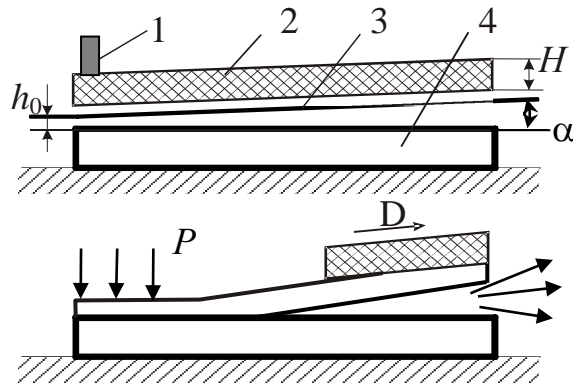


Рисунок 5.7– Принципова схема зварювання вибухом: 1 – детонатор; 2 – вибухова речовина; 3 і 4 – заготовка (пластини)

Зіткнення пластин викликає пластичну деформацію у поверхневих шарах і розплавлення мікроділянок, внаслідок чого і відбувається зварювання.

Особливістю цього виду зварювання є той факт, що міцність з'єднань, виконаних зварюванням вибухом, вища, ніж міцність зварюваних матеріалів. Її використовують при виготовленні заготовок для прокату біметалу, при зварюванні заготовок з різнорідних матеріалів.

3.3 Види зварних з'єднань

В залежності від розташування у просторі розрізняють такі зварні шви: нижні, вертикальні, горизонтальні, стельові.

Якщо провести порівняння зварних швів, то самим складним з точки зору виконання і якості є горизонтальний. У цьому випадку від верхньої кромки розплавлений метал стікає униз, що веде до утворення напливу. Стельовий шов технологічно виконувати складно, але за якістю він кращий.

Можна виділити такі різновиди зварних з'єднань: стикові, внапусток, таврові, кутові. Найбільш часто у зварних конструкціях зустрічаються стикові з'єднання. В залежності від товщини зварюваного виробу проводять відповідну розділку кромки:

1) при товщині виробу до 3 мм ($d < 3$ мм) між зварюваними виробами проміжок повинен дорівнювати $2d$ або для запобігання пропалювання роблять притуплення кромки (рис. 5.8).

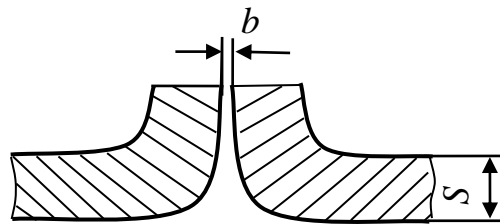


Рисунок 5.8 – Розділка кромки при товщині виробу $S = 1,5-3,0$ мм

2) при товщині виробу від 14 до 30 мм пропонується V-подібна розділка кромки (рис. 5.9).

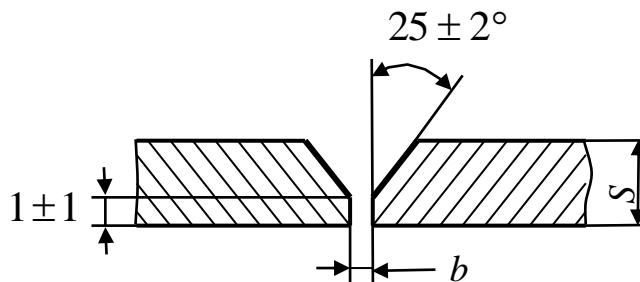


Рисунок 5.9 – Розділка кромки при товщині виробу $S = 14-30$ мм

3) при товщині виробу від 24 до 60 мм пропонується X-подібна розділка кромки (рис. 5.10). Як бачимо, при певних товщинах виробу можлива розділка кромки за двома варіантами. При X-подібній розділці зварюють спочатку з одного боку, а потім перевертають виріб і варять з іншого боку.

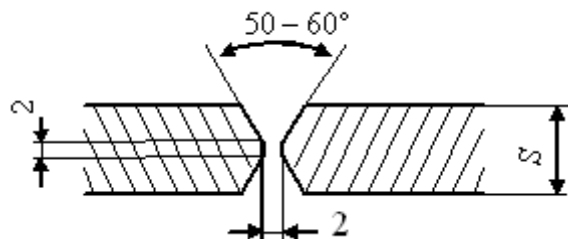


Рисунок 5.10 – Розділка кромки при товщині виробу $S = 24-60$ мм

Такий спосіб зварювання забезпечує рівномірний підігрів, що приводить до меншого короблення виробу.

Варіантом X-подібного з'єднання є k-подібне, коли розділку кромки проводять лише з одного боку. (рис. 5.11).

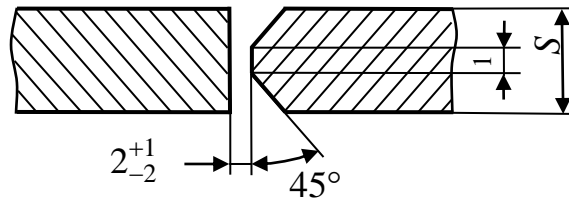


Рисунок 5.11 – Розділка кромки при товщині виробу $S=20-50$ мм

4) при товщині від 20 до 40 мм рекомендується чашеподібна розділка кромки для кращого прогріву металу (рис. 5.12).

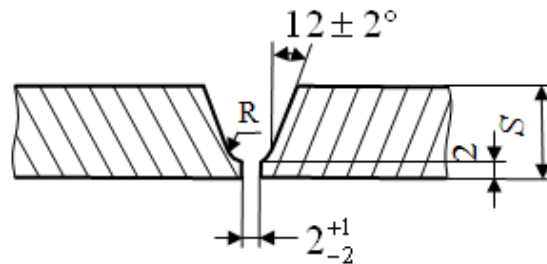


Рисунок 5.12 – Розділка кромки при товщині виробу $S > 30$ мм

Питання для самоперевірки

1. Які Вам відомі види зварних швів в залежності від розташування їх у просторі?
2. Які існують види зварних з'єднань?
3. Назвіть типи розділки кромки виробів, які зварюються встик?

Література: [1, с. 222, 189–190; 2, с. 172, 178–180]

Тема 4. Зварюваність сталей і чавунів

Зварюваність вуглецевих сталей, зварюваність легованих сталей, зварюваність чавуну, холодне та гаряче зварювання,

Зварюваність – це здатність металу забезпечувати отримання міцного зварного з'єднання без тріщин і інших дефектів.

Вказівки до вивчення теми

4.1 Зварюваність вуглецевих сталей

Зварюваність сталей залежить від вмісту вуглецю. Чим більше вуглецю, тим гірша зварюваність. Це пов'язане з тим, що високі швидкості охолодження при зварюванні призводять до утворення у сталі гартівних структур, які відрізняються високою твердістю і крихкістю, що збільшує ризик виникнення тріщин. При цьому чим більше вуглецю, тим вища твердість і крихкість зварного з'єднання. Щоб зменшити швидкість охолодження при зварюванні, виконують попередній підігрів зварюваних деталей.

У зв'язку з цим вуглецеві сталі поділяються на:

- добре зварювані ($C < 0,25\%$) – сталі, які не вимагають попереднього нагрівання і забезпечують утворення якісного шва;
- задовільно зварювані ($C = 0,25-0,35\%$), якщо зварювання проводиться при температурі нижче 10°C , то вимагається попереднє підігрівання до 100°C ;
- обмежено зварювані, вміст вуглецю $0,35-0,45\%$, вимагається обов'язкове попереднє підігрівання до температури $250-350^{\circ}\text{C}$;
- погано зварювані ($C > 0,45\%$), потрібне обов'язкове попереднє підігрівання до температури вище 400°C .

Підігрівання може бути попереднім і супутнім (ведеться постійно підігрівання у процесі зварювання).

Сталі з вмістом вуглецю більш $0,35\%$ (обмежено і погано зварювані) вимагають обов'язкового підігрівання ще і тому, що при швидкому охолодженні зварного шва виникають напруження, які часто перевищують допустиму границю міцності (тимчасовий опір) $\sigma_{\text{в}}$. Це викликане тим, що рідкий метал зварної ванни кристалізуєть-

ся і при цьому у навколошовній зоні утворюються напруження розтягу (рис. 5.13). При прискореному охолодженні за рахунок відведення тепла в основну масу деталі у ділянках, що містяться на межі зварного шва і зварюваного виробу, виникає імовірність появи тріщин.

Якщо охолодження зварного шва буде відбуватися повільно (за рахунок підігріву), то імовірність утворення тріщин практично зводиться до нуля.

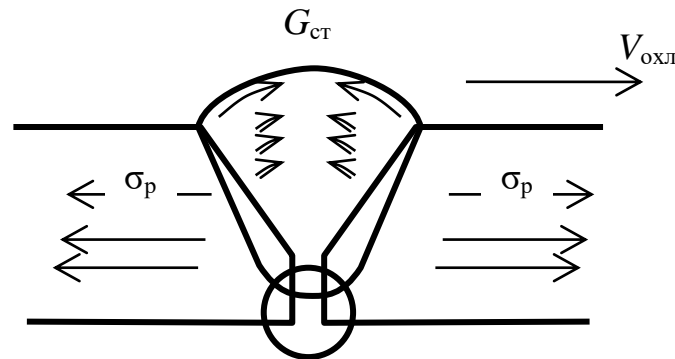


Рисунок 5.13– Схема виникнення напружень при зварюванні

4.2 Зварюваність легованих сталей

Всі легуючі елементи підвищують схильність сталі до утворення тріщин. Тому більшість легованих сталей вимагає у процесі зварювання підігрівання. У зв'язку з цим вводиться вуглецевий еквівалент, що враховує хімічний склад зварюваної сталі

$$C_{\text{екв}} = \%C + \%Mn/6 + \%Si/24 + \%Cr/5 \dots$$

За вуглецевим еквівалентом визначають здатність сталі до зварювання.

Хромисті сталі, що містять від 12 до 18% хрому, необхідно при зварюванні підігрівати. Навпаки, хромонікелеві сталі, що мають високу корозійну стійкість і широко використовуються для виготовлення хімічної і нафтової апаратури, при зварюванні необхідно прискорено охолоджувати, щоб уникнути утворення і виділення карбідів хрому по границях зерен. Ця обставина істотно погіршує антикорозійні властивості зварних з'єднань.

4.3 Зварюваність чавуну

Чавун, як відомо, містить більше вуглецю (2,5–3,5 %), кремнію (1,0–4,5%), сірки (до 0,2%) і фосфору (до 0,2%) в порівнянні зі сталлю, що істотно погіршує зварюваність.

При швидкому охолодженні чавуну утворюється відбілений чавун, в якому присутні крихкі включення Fe_3C , що роблять чавун твердим і крихким. Високий вміст шкідливих домішок – сірки і фосфору ще більше знижує пластичність чавуну і збільшує його схильність до утворення тріщин.

Щоб уникнути цих небезпечних наслідків, необхідно вести зварювання чавуну з підігрівом.

В залежності від температури підігріву розрізняють:

- 1) холодне зварювання ($t_{під} < 200\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- 2) гаряче зварювання ($t_{під} = 600\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$). При цьому тільки гаряче зварювання може гарантувати уникнення тріщин.

Холодне зварювання

Існують такі основні види холодного зварювання:

1) зварювання за допомогою шпильок, що використовується при зварюванні великих виробів і полягає у їх вкручуванні на різьбі; шпильки передають термічні напруження, що виникають при зварюванні, на весь виріб;

2) зварювання пучком електродів, що складається з одного або двох сталевих електродів і одного мідного електрода.

У цьому разі утворюється стільки дуг, скільки електродів і має місце блукаюча дуга, що приводить до розповсюдження тепла по всьому об'єму і усуває відбілювання;

3) зварювання залізо-нікелевими електродами, в цьому разі в шві утворюється сплав заліза з нікелем.

Гаряче зварювання

Для проведення гарячого зварювання використовуються чавунні електроди з покриттям, яке містить до 50 % графіту, що поповнює вуглець, який вигорає у процесі зварювання. Гаряче зварювання чавуну забезпечує найвищу якість зварного з'єднання без відбі-

лювання і усуває утворення тріщин. Використовується, головним чином, для зварювання найбільш відповідальних деталей і виробів, що мають складну форму.

Питання для самоперевірки

1. Що таке зварюваність?
2. Від яких факторів залежить зварюваність?
3. На які групи поділяють вуглецеві сталі за зварюваністю?
4. Чому чавуни мають гіршу зварюваність, ніж сталі?
5. Які Вам відомі види зварювання чавунів?

Література: [1, с. 224–229; 2, с. 180–182]

РОЗДІЛ 6. ОБРОБКА МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ. МЕТАЛОРИЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ І ВЕРСТАТИ

Тема 1. Фізичні основи процесу різання

Основні питання теми

Основні методи обробки різанням. Поверхні на заготовці. Види рухів в металорізальних верстатах. Режим різання. Основні частини і елементи токарного прохідного різця. Процес стружкоутворення. Сили різання. Температура різання. Оброблюваність. Спрацювання різального інструмента. Інструментальні матеріали.

Вказівки до вивчення теми

Обробкою конструкційних матеріалів різанням називається процес відділення різальним інструментом шару матеріалу у вигляді стружки із заготовки для одержання деталі потрібної форми, заданих розмірів і якості.

Основні методи обробки різанням: точіння, свердління, фрезерування, стругання, довбання, протягування, хонінгування, нарізання зубців зубчастих коліс та різьби, шліфування, полірування та ін.

При обробці різанням заготовки на ній розрізняють такі поверхні: оброблювану (1), оброблену (3) і поверхню різання (2) (рис. 6.1):

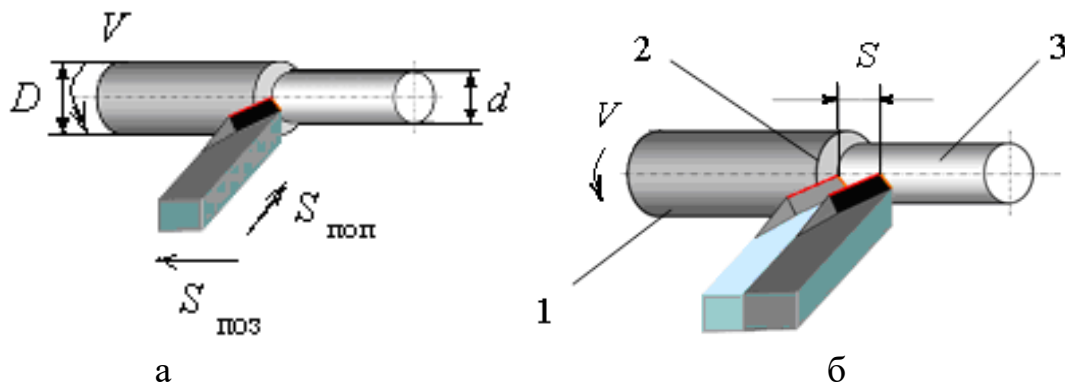


Рисунок 6.1 – Схема поверхонь на заготовці і елементи режиму різання: $S_{пр}$ – поздовжня подача, $S_{поп}$ – поперечна подача

Для обробки різанням заготовка та інструмент повинні здійснювати певні рухи: обертальні чи поступальні. *Головний рух і рух подачі* називаються робочими рухами. Робочі рухи призначені для відділення стружки. Прямолінійний поступальний чи обертальний рух інструмента чи заготовки, який відбувається з найбільшою швидкістю і визначає швидкість відділення стружки, називають *головним рухом різання*. Швидкість головного руху позначають літерою V чи n , де V – швидкість різання, а n – число обертів шпинделя. Рух інструмента чи заготовки, призначений для того, щоб поширити процес відділення стружки на всю оброблювану поверхню, називають *рухом подачі*. Швидкість руху подачі позначають буквою S .

Процес різання здійснюється з певним режимом різання. *Елементами режиму різання* є: швидкість різання, подача і глибина різання. Сукупність їхніх значень прийнято називати *режимом різання*.

Швидкість різання – це шлях точки, яка розташована на оброблюваній поверхні заготовки, відносно головної різальної кромки в одиницю часу. Її вимірюють у м/хв чи в м/с і позначають літерою V . Швидкість різання при точінні розраховують за формулою, м/хв

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000},$$

де n – частота обертів заготовки чи інструмента, об/хв;

D – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

При шліфуванні, м/с

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000 \cdot 60}$$

Подача – переміщення різальної кромки інструмента відносно заготовки в напрямку подачі за 1 оберт заготовки чи інструмента; позначається літерою S , розмірність – мм/об. *Розрізняють подачу: поздовжню, поперечну, тангенціальну.*

Глибина різання – товщина шару металу, що знімається за 1 прохід. Вона визначається відстанню між обробленою та оброблюваною поверхнями, яку вимірюють перпендикулярно до останньої. Глибина різання позначається літерою t і вимірюється в мм. При поздовжньому точінні циліндричної поверхні, мм

$$t = \frac{D - d}{2},$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні, мм;

d – діаметр обробленої поверхні, мм.

Одним з найбільш розповсюджених різальних інструментів є токарний різець. *Основні частини та елементи різця* (рис. 6.2):

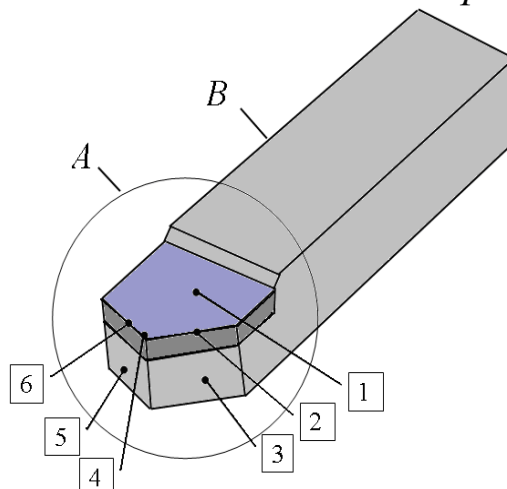


Рисунок 6. 2 – Основні частини і елементи токарного прохідного різця

передня поверхня (1), головна задня поверхня (3), допоміжна задня поверхня (5), головна різальна кромка (2), допоміжна різальна кромка (6), вершина різця (4).

Різець складається з робочої частини (А) і державки (В).

Для полегшення процесу різання поверхні різця заточують з певними кутами. Величини кутів вибираються залежно від властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів, від вимог до якості обробленої поверхні.

Процес стружкоутворення був досліджений ще в ХІХ сторіччі і дана класифікація стружки. Розрізняють стружку: елементну, суглобисту і зливну, що отримують при обробці пластичних матеріалів – сталей, і надлому, яку отримують при обробці крихких матеріалів – чавунів. При обробці одного і того ж матеріалу можна отримати різні типи стружки в залежності від режиму різання та геометрії інструменту.

При зрізанні стружки різець долає опір оброблюваного матеріалу різанню і сили тертя стружки об передню поверхню різця і задніх його поверхонь об оброблювану заготовку. Тому на різець можуть діяти дуже значні зусилля різання. Зрізання шару металу у вигляді стружки супроводжується значними пружними і пластичними деформаціями. Рівнодіючу сил, що діють на різець, називають рівнодіючою силою різання R . Її величина і напрямок у просторі під впливом ряду факторів змінюються. Тому при токарній обробці рівнодіюча сила різання R розкладається на три взаємно перпендикулярні складові сили, які спрямовані по осях x , y , z і діють на різець та верстат — радіальна P_y , тангенціальна P_z і осьова P_x .

Процес зрізання стружки супроводжується певним рівнем температур. Джерело теплоутворення при різанні — це пружна та пластична деформації, тертя між поверхнями інструменту і стружкою та поверхнями заготовки. Найбільший вплив на рівень температур має швидкість різання. Для зниження температури використовують різноманітні змащувально-охолоджувальні середовища — рідини (мастило та емульсії), тверді речовини (дісульфід молібдену), гази (повітря, азот, що подають під тиском в зону різання).

В умовах високих температур і зусиль різання, в результаті тертя стружки об передню поверхню інструмента і його задніх по-

верхонь об заготовку відбувається поступове руйнування контактних поверхонь інструмента, тобто його спрацювання.

Залежно від властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів, а також умов різання розрізняють за зовнішніми ознаками наступні види спрацювання різальних інструментів, наприклад різців (рис. 6.3):

- спрацювання по задній поверхні різця, величина спрацювання визначається висотою фаски спрацювання h_3 (а, г);
- спрацювання по передній поверхні, величина спрацювання визначається глибиною $h_л$ і шириною $b_л$ лунки спрацювання (б);
- спрацювання по передній і задній поверхні одночасно (в).

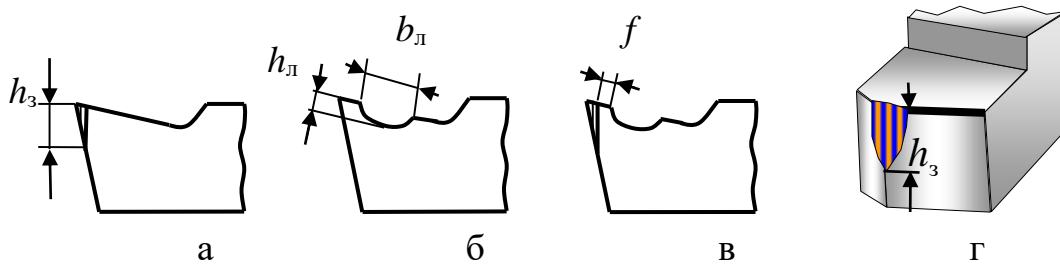


Рисунок 6.3 – Схема спрацювання різця

У процесі спрацювання інструмента, коли ширина лунки $b_л$ буде такою, що досягне різальної кромки, остання руйнується і різець втрачає працездатність. Щоб різець знову міг працювати, його необхідно заточити. Дуже важливим є питання: коли необхідно закінчити роботу цим інструментом і віддати його на переточування? Інакше кажучи, який варто встановити критерій спрацювання різця? Найбільш поширені критерії: оптимального спрацювання (використовують при напівчистовій і чорновій обробці) і технологічний (при чистовій обробці).

Час роботи інструмента між переточуваннями при визначеному режимі різання називають *стійкістю інструмента* (T , хв). На стійкість впливають: властивості оброблюваного матеріалу і матеріалу різального інструмента, геометричні параметри різальної частини, елементи режиму різання та ін. Стійкість в свою чергу впливає на продуктивність обробки. Складні дорогі інструменти (протяжки, прошивки, модульні фрези) повинні мати великий період стійкості,

наприклад, циліндричні фрези мають стійкість 180-240 хв, а токарні різці із швидкорізальної сталі – 30-60 хв.

Стійкість у першу чергу залежить від швидкості різання. У логарифмічній шкалі залежність $T=f(V)$ має вигляд

$$V = \frac{C}{T^m}$$

де m – показник відносної стійкості, що характеризує вплив стійкості на швидкість різання;

C – постійна величина, що залежить від умов обробки.

Найважливіша технологічна властивість матеріалу – *оброблюваність різанням*. Під оброблюваністю розуміють властивість оброблюваного матеріалу піддаватися обробці різанням. Прийнято вважати, що матеріал має гарну оброблюваність, якщо при його обробці спрацювання інструмента і сили різання незначні, а стійкість інструмента і якість обробленої поверхні досить високі.

У зв'язку з тим, що процес різання супроводжується значним рівнем сил і температур, то інструментальні матеріали повинні мати високу твердість, зносостійкість, гарну теплопровідність, а також високу теплостійкість. *Теплостійкість* – це здатність інструментального матеріалу зберігати свої різальні властивості до певної температури.

Групи інструментальних матеріалів:

1. Вуглецеві сталі: У7 – У13 (0,7 – 1,3 % С), У7А – У13А (сталі високоякісні); теплостійкість – 200–250 °С. Із сталей У7, У8 виготовляють молотки, зубила, із сталей У10–У13 – мітчики, плашки, ножівкові полотна, дрібнорозмірні свердла, які працюють при малих швидкостях різання.

2. Леговані сталі: 9ХС (0,9 % С, 1 % Сr), ХВГ, Х; теплостійкість – 250–300 °С. Ці сталі використовуються для виготовлення розверток (ХВГ), зенкерів, мітчиків, плашок, які можуть виготовлятися трохи більшого діаметру, ніж з вуглецевої сталі, і теж працюють з малими швидкостями різання.

3. Швидкорізальні сталі: Р9, Р18 (18 %W), Р6М5 (6 % W, 5 % Мо), Р6М5К5, Р9К10, Р12М3Ф2К8; теплостійкість – 620-720°С. Ви-

готовляють свердла, зенкери, розвертки, різці, фрези, зуборізний інструмент та ін.

4. Металокерамічні тверді сплави (найчастіше виготовляють пластини, які кріплять на державці пайкою або за допомогою механічного кріплення):

– однокарбідні: ВК3, ВК6 (6 % Со, інше – WC), ВК8; теплостійкість – 800–900°C. Використовують для обробки чавунів, важкооброблюваних матеріалів.

– двокарбідні: Т15К6 (6 % Со, 15 % TiC, інше – WC); теплостійкість – 900–1000°C. Використовують для чорнової та чистої обробки сталей.

– трикарбідні: ТТ7К12 (7 % (TiC+TaC), 12% Со, інше – WC), ТТ21К9; теплостійкість – 900–1000°C. Використовують для чорнової обробки з ударами (стругання, фрезерування) сталей і сплавів.

– безвольфрамові: ТН-20, КНТ-16; теплостійкість – 900–1000 °C. Використовують для напівчистої і чистої обробки сталей і чавунів.

5. Мінералокерамічні тверді сплави: ВОК60, ВОК71 (на основі оксиду алюмінію); теплостійкість – 1100–1200 °C. Використовують при чистовому і напівчистовому точінні і фрезеруванні загартованих сталей і чавунів, важкооброблюваних сталей і сплавів, високоміцних чавунів з високою швидкістю різання.

6. Надтверді інструментальні матеріали:

– алмази штучні і природні: баллас, карбонадо; теплостійкість – 800–950 °C. Використовують при обробці матеріалів, до складу яких не входить залізо, для кольорових сплавів, склопластиків, магнітної кераміки, твердих сплавів, горних порід та ін.

– інструментальні матеріали на основі нітриду бора: композити 01, 02, 05, 10, киборит; теплостійкість – до 1500 °C. Використовують при чистовій і напівчистовій обробці сталей і чавунів, важкооброблюваних сплавів з великими швидкостями різання.

Питання для самоперевірки

1. Який рух при точінні є головним?
2. Як визначають глибину різання?

3. Як визначають швидкість різання при точінні?
4. Назвіть розмірність швидкості різання при точінні.
5. Наведіть розмірність швидкості різання при шліфуванні.
6. Що таке подача?
7. Для чого потрібен рух подачі?
8. Наведіть розмірність подачі.
9. Назвіть типи стружки.
10. На які складові розкладають силу різання при точінні?
11. Назвіть джерела теплоутворення при різанні.
12. Як знизити температуру різання при свердлінні?
13. Що є причиною спрацювання інструментів?
14. Назвіть види спрацювання різця.
15. Якими явищами супроводжується процес зрізання стружки?
16. Дайте визначення теплостійкості інструментального матеріалу.
17. Виберіть матеріал для виготовлення свердла діаметром 5 мм для обробки дерева.
18. Який інструментальний матеріал потрібен для чистового точіння деталі із загартованої сталі?
19. Розшифруйте марку швидкорізальної сталі Р6М5К5.
20. Розшифруйте марку легованої інструментальної сталі ХВГ.
21. Який інструментальний матеріал можна використовувати при чистовому фрезеруванні загартованого чавуну?
22. Які матеріали обробляють алмазними інструментами?
23. Дайте визначення стійкості інструмента.
24. Від яких факторів залежить стійкість інструменту?

Література: [1, с. 241–254; 7, с. 22–58, 70–77; 8; 9]

Тема 2. Різальні інструменти

Основні питання теми

Різці. Інструменти для обробки отворів. Фрези. Протяжки і прошивки. Зуборізні інструменти. Інструменти для нарізання різьби

Вказівки до вивчення теми

2.1 Різці

Різці підрозділяються за призначенням, напрямком руху, формою різальної кромки і за конструкцією. Різці, призначені для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь, не мають спеціальної назви, а для обробки внутрішніх поверхонь називаються розточувальними.

За призначенням (видом виконуваної роботи) розрізняють різці: прохідні, прохідні упорні, підрізні, відрізні, розточувальні, різьбові, фасонні та ін. (рис. 6.4).

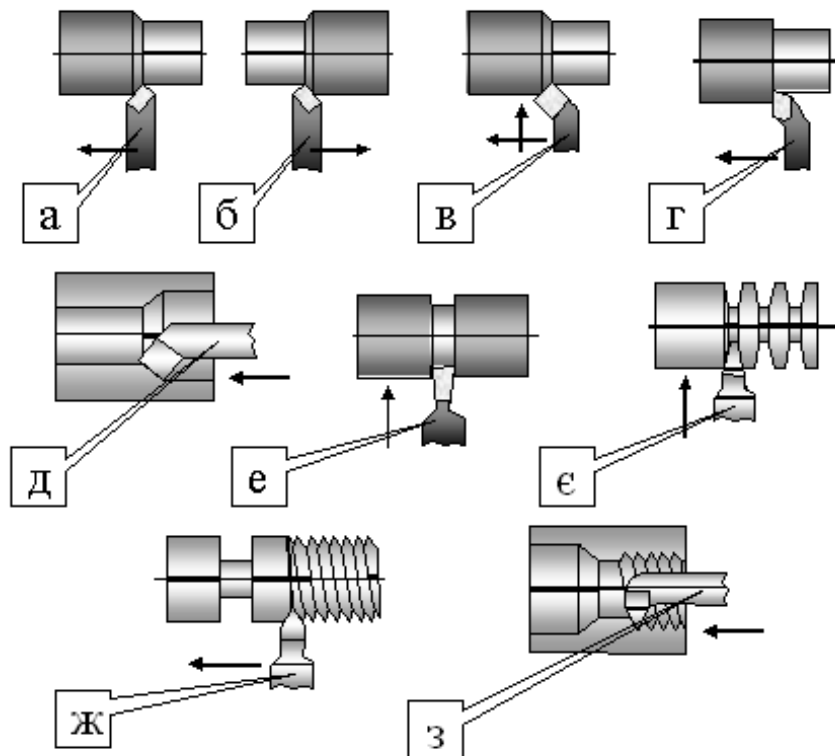


Рисунок 6.4 – Типи різців

За призначенням (або видом виконуваної роботи) розрізняють токарні різці: прохідні (а-г), упорні прохідні (г), підрізні, відрізні (е), розточувальні (д), фасонні (є), різьбові (рис. 6.4, ж, з).

За напрямком руху різці бувають праві (рис. 6.4, а), і ліві (рис. 6.4, б).

За конструкцією поділяють різці на цільні і збірні. Збірні різці бувають: нероз'ємні (зварені, паяні, клеєні, закарбовані, запресовані) і роз'ємні. Широке застосування знаходять різці з механічним кріпленням багатогранних пластин.

2.2 Інструменти для обробки отворів

Для обробки глухих і наскрізних отворів застосовують свердла (число зубців $z=2$), зенкери ($z=3-9$) і розвертки ($z=6-14$).

Основні *типи свердел*: перові (із прямими канавками), спіральні (із гвинтовими канавками), для глибокого свердління, центрувальні – для обробки центрових отворів, кільцеві, спеціальні та ін. Свердло — це інструмент для чорнової обробки отворів.

Зенкер – це інструмент для напівчистої обробки отворів після свердління перед розвертанням. Зенкери бувають цільні і збірні. Для одержання конічних отворів під голівки гвинтів використовують зенковки.

Цільний циліндричний зенкер (рис. 6.5) складається з робочої частини (ріжучої 1, калібруючої 2), шийки 3 і хвостовика 4. На відміну від свердла зенкер має більше число зубців і збільшений діаметр серцевини, що підвищує його жорсткість і забезпечує краще направлення його в отворі. Зазвичай зенкер має 3-4 зуба.

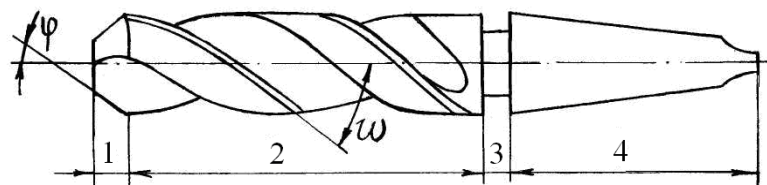


Рисунок 6.5. – Циліндричний зенкер

Розвертка – це інструмент для чистої обробки отворів. Розвертки бувають ручні і машинні, регульовані і не регульовані, цілі-

ндричні і конічні. Розвертка відрізняється від зенкера більшою кількістю зубців ($z > 6$), наявністю калібрувальної частини.

Регульована розвертка (рис. 6.6) складається з корпусу 1, гвинта 2 і кульки 3.

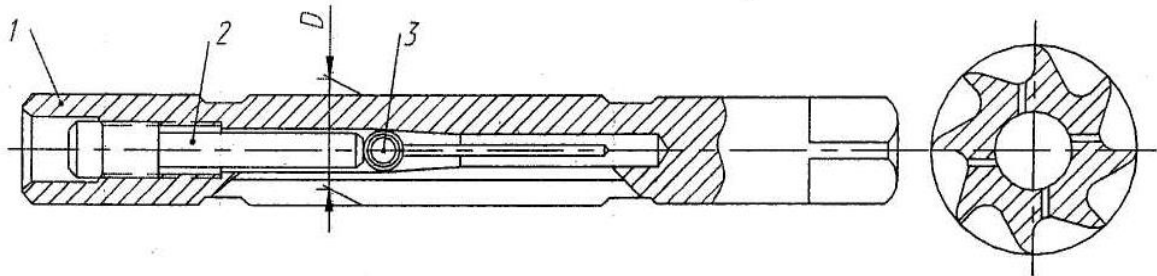


Рисунок 6.6 – Регульована розвертка

Переміщуючи гвинтом кульку всередині конічного отвору, можна відновити діаметр розвертки після її переточування.

2.3 Фрези

Фрезерування – високопродуктивний процес обробки багатозубим інструментом – фрезою – плоских, фасонних та кутових поверхонь, пазів.

Серед усіх видів різальних інструментів фрези виділяються найбільшою різноманітністю (рис. 6.7).

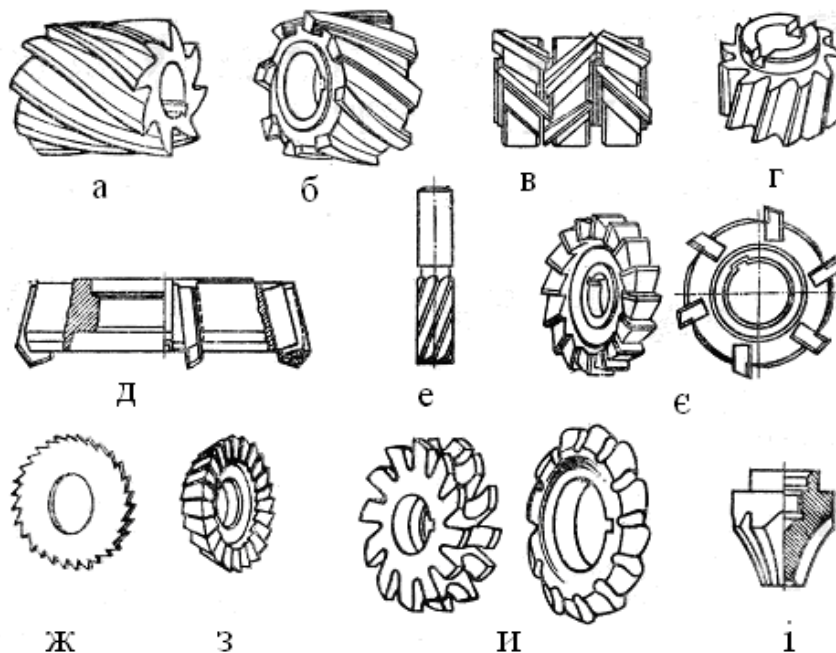


Рисунок 6.7 – Основні типи фрез

Залежно від характеру виконуваної роботи фрези підрозділяються на: циліндричні (а, б, в), торцеві (г, д), дискові (є), кінцеві (е), шліцеві (ж), кутові (з), фасонні (и), різьбові, черв'ячні, модульні (і) та ін. (рис. 6.7).

За формою задньої поверхні розрізняють фрези з гострозаточеним і затилованим зубом.

За конструктивними ознаками фрези поділяються на цільні і збірні.

2.4 Протяжки і прошивки

Протягання – високопродуктивний метод обробки різанням наскрізних отворів і зовнішніх лінійних поверхонь, який здійснюється протяжками та забезпечує високу точність форми і розмірів обробленої поверхні. Протяжка – багатолезовий різальний інструмент, форма якого відповідає формі оброблюваного отвору чи зовнішньої поверхні. Висота кожного наступного зуба різальної частини протяжки більше висоти попереднього, і кожен зуб зрізає з оброблюваної поверхні стружку невеликої товщини.

Особливістю протягання є відсутність руху подачі – подача закладена в конструкції самого інструмента: висота кожного наступного ріжучого зуба протяжки більше висоти попереднього на деяку величину, яку називають подачею на зуб S_z , і кожен зуб зрізає з оброблюваної поверхні стружку невеликої товщини, що дорівнюється S_z .

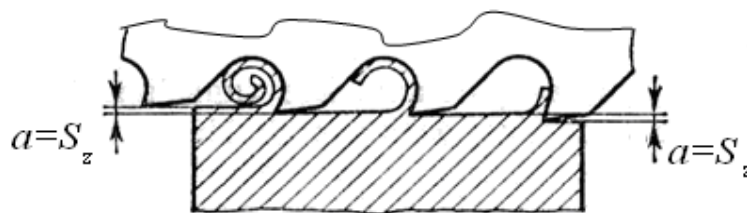


Рисунок 6.8 – Схема зрізання припуску при протяганні

Протяжки класифікують:

1. за характером оброблюваної поверхні: внутрішні і зовнішні;
2. за формою: круглі, квадратні, шліцеві та ін.;
3. за конструкцією: збірні і цільні.

Подібним протягання є *прошивання*, яке здійснюється прошивками на пресах чи спеціальних верстатах. Прошивки прошовують через отвір заготовки.

Кругла протяжка складається з частин: l_1 – хвостовик, l_2 – шийка, l_3 – перехідний конус, l_4 – передня напрямна, l_5 – задня напрямна, l_p – ріжучі зубці, l_k – калібруючі зубці (рис. 6.8).

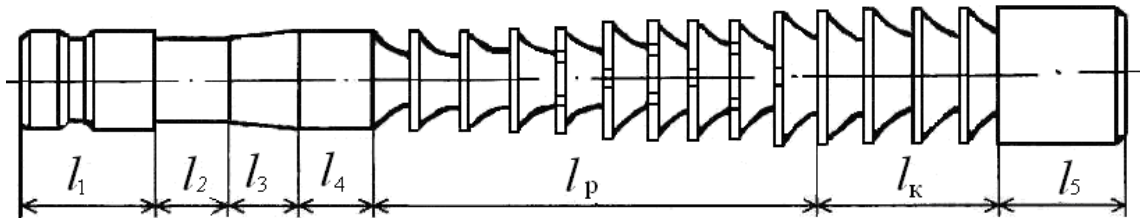


Рисунок 6.8 – Кругла протяжка

2.5 Зуборізні інструменти

Існує два основні методи нарізання зубців зубчастих коліс: метод копіювання та метод обкатки або огинання.

Метод копіювання. При нарізанні зубчастих коліс цим методом видалення матеріалу із западини між зубцями колеса виконується інструментом, який має профіль, що відповідає формі цієї западини. За методом копіювання в дрібносерійному виробництві працюють дискові (рис. 6.9, а) і пальцеві (рис. 6.9, б) модульні фрези, а в масовому виробництві – зуборізні головки і протяжки.

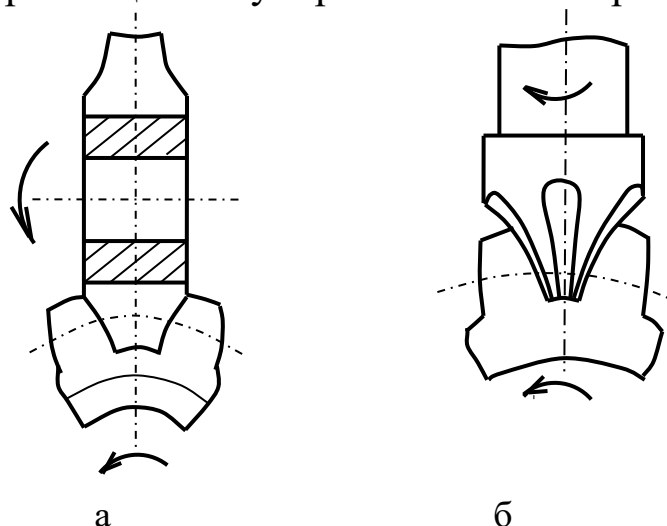


Рисунок 6.9 – Схема нарізання зубчастих коліс модульними фрезами

Недоліком цього методу є невисока точність зубчастих коліс і невисока продуктивність. Перевагою є його простота і можливість зубонарізання на універсальних верстатах.

Метод обкатки. Цей метод більш універсальний, тому що в зуб інструменту може бути перетворений зуб будь-якого колеса даного модуля, в тому числі рейки. Така рейка може зачіплятися з будь-яким колесом-заготовкою даного модуля. Одночасно можна обробляти кілька западин. За цим методом в основу роботи верстата покладено реальне або уявне зубчасте зачеплення. При нарізанні прямих і гвинтових зубців циліндричних коліс методом обкатки в серійному і масовому виробництві використовують зуборізні довбачі, гребінки і черв'ячні модульні фрези.

2.6 Інструменти для нарізання різьби

Різьбу обробляють: різьбовими різцями і гребінками, мітчиками, плашками, різьбовими головками, фрезами, різьбошліфуванням, накатними роликками, пласкими накатними плашками та ін.

Питання для самоперевірки

1. Дайте класифікацію різців за напрямком руху.
2. Як поділяються різці за призначенням?
3. Як класифікують різці за конструкцією?
4. Які Ви знаєте інструменти для чорнової обробки отворів?
5. Назвіть інструмент для чистової обробки отворів?
6. Дайте класифікацію фрез за характером виконуваної роботи.
7. Як поділяються фрези за формою задньої поверхні?
8. Як класифікують фрези за конструкцією?
9. Що таке протяжка?
10. Як поділяють протяжки за формою? конструкцією?
11. Що таке прошивка?
12. В чому суть методу копіювання?
13. В чому суть методу обкатування?
14. Які інструменти працюють за методом копіювання?
15. Назвіть інструменти, що працюють за методом обкатки?
16. Які інструменти використовують для обробки різьби?

Література: [7, с. 262-263, 277–279, 287–288, 298–299, 301–306; 8; 9]

Тема 3. Металорізальні верстати

Основні питання теми

Класифікація металорізальних верстатів за масою, ступенем спеціалізації, точністю, ступенем автоматизації, призначенням. Нумерація верстатів вітчизняного виробництва. Будова токарно-гвинторізного верстата.

Вказівки до вивчення теми

Металорізальні верстати класифікують за різними ознаками – масою, ступенем спеціалізації, точністю, ступенем автоматизації, призначенням.

Залежно від маси і габаритів верстати діляться на категорії: легкі – масою до 1 т; середні – до 10 т; крупні – від 10 до 30 т; важкі – від 30 до 100 т; особливо важкі (унікальні) – більше 100 т.

За спеціалізацією: універсальні, спеціалізовані і спеціальні.

За точністю сучасні верстати поділяються на наступні групи: нормальної точності (Н), підвищеної точності (П), високої точності (В), особливо високої точності (А), особливо точні – прецизійні (С).

За ступенем автоматизації: не автоматизовані, частково автоматизовані, напіваавтомати, автомати.

Розроблена єдина класифікація і нумерація верстатів вітчизняного виробництва. В основу класифікації верстатів покладено технологічний принцип обробки, призначення верстата, характер оброблюваних поверхонь, схема обробки та ін. Всі верстати підрозділяються на 9 груп, а групи, у свою чергу, підрозділяються на дев'ять типів. Групи верстатів: 1 – токарні; 2 – свердлильні, розточувальні; 3 – для абразивної обробки; 4 – для електрофізичної і електрохімічної обробки; 5 – різьбонарізні, зубонарізні; 6 – фрезерні; 7 – стругальні, довбальні, протяжні; 8 – розрізні; 9 – різні.

Система нумерації верстатів вітчизняного виробництва заснована на присвоєнні кожній моделі верстата певного номера. Позначення моделі верстата складається з цифр і букв.

Перша цифра вказує групу, до якої відноситься верстат; друга – тип (підгрупу) верстата в межах даної групи; третя – умовно характеризує основні технологічні особливості верстата. Прописна літера після першої цифри вказує на модернізацію (поліпшення) верстата. Літера, що знаходиться після всіх цифр, позначає модифікацію (видозміну) базової моделі верстата, його технологічні особливості.

Універсальний токарно-гвинторізний верстат 1К62 призначений для виконання чистових і напівчистових токарних робіт в дрібносерійному і індивідуальному виробництві (рис. 6.10).

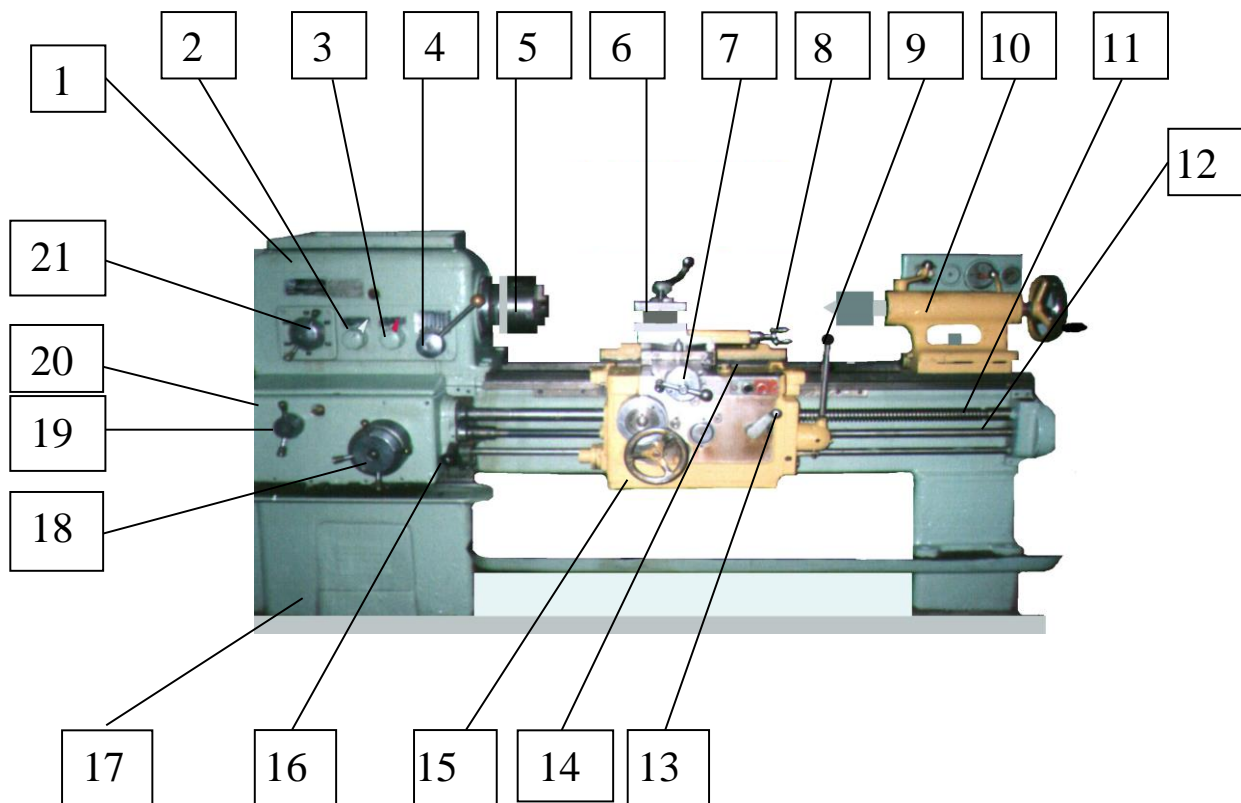


Рисунок 6.10 – Основні вузли і органи управління токарно-гвинторізним верстатом 1К62: 1 – передня бабка з коробкою швидкостей; 2 – рукоятка встановлення збільшеного і нормального кроку різьби; 3 – рукоятка встановлення правої і лівої різьби; 4, 21 – рукоятки зміни частоти обертання шпинделя; 5 – патрон; 6 – різцетримач; 7 – рукоятка поперечної подачі супорта; 8 – рукоятка переміщення верхніх полозків супорта; 9 – рукоятка включення механічної подачі супорта; 10 – задня бабка; 11 – ходовий гвинт; 12 – ходовий вал; 13 – рукоятка включення роз'ємної гайки; 14 – супорт; 15 – фартух; 16 – станина; 17 – рукоятка включення, останову і реверсування шпинделя; 18 – рукоятка встановлення величини подачі і кроку різьби; 19 – рукоятка включення подачі; 20 – коробка подач

На ньому можна нарізати різьбу: метричну, дюймову, модульну і архімедову спіраль.

На токарно-гвинторізних верстатах виконують різноманітні операції з обробки поверхонь обертання: обточування зовнішніх і внутрішніх циліндричних і конічних поверхонь, підрізання торців, проточування канавок, свердління, зенкерування, розвертання отворів, нарізання різьби і ін

Обточування зовнішніх циліндричних поверхонь виконується токарними прохідними різцями з поздовжньою подачею. При відношенні довжини заготовки до діаметра менше чотирьох заготовку кріплять в кулачковому патроні, при відношенні більше чотирьох, але менше десяти заготовку кріплять в патроні і підтискають в центрі. Центрувальні отвори виконують спеціальними центрувальними свердлами.

Підрізання торців виконують підрізними різцями з поперечною подачею до центру або від центру.

Відрізають деталі відрізними різцями з поперечною подачею.

Розточування внутрішніх поверхонь виконують розточувальними різцями, що закріплюються в різцетримачі верстата, з поздовжньою подачею, аналогічно обточуванню зовнішніх поверхонь.

Література: [1, с. 260–261, 280–282, 289–293; 7, с. 230–384; 8]

Питання для самоперевірки

1. Назвіть класифікацію верстатів за масою і габаритами.
2. На які групи поділяються верстати за точністю?
3. Надайте класифікацію верстатів за ступенем автоматизації.
4. Наведіть класифікацію верстатів за ступенем спеціалізації.
5. Які ознаки покладено в основу єдиної класифікації верстатів?
6. Розшифруйте модель верстата 16К20В.
7. Розшифруйте модель верстата 2Н135, 1722.

Список літератури

1. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін.; За ред. М.А. Сологуба. – К.: Вища шк., 2002. – 374с.
2. Технология конструкционных материалов и материаловедение / И.П. Гладкий, В.И. Мощенок, В.П. Тарабанова, Н.А. Лалазарова, Д.Б. Глушкова. – Харьков: Изд-во ХНАДУ. – 2008. – 476 с.
3. Гладкий І.П. Властивості та технологія обробки конструкційних металевих та неметалевих матеріалів / І.П. Гладкий, В.І. Мощенок, В.П. Тарабанова. – Харків: Вид-во ХНАДУ, 2004. – 280 с.
4. Технология конструкционных материалов. Под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2003. – 511 с.
5. Методические указания к практикуму для иностранных студентов по дисциплине «Технология конструкционных материалов» (раздел «Литейное производство» / Д.Б. Глушкова И.В. Дощечкина, Н.А. Лалазарова, В.П. Тарабанова. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2010. – 30 с.
6. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» (розділ «Ливарне виробництво») / І.П. Гладкий, К.М. Гладун, В.П. Тарабанова, Д.Б. Глушкова. – Харків.: Вид-во ХНАДУ, 2003. – 22 с.
7. Технология обработки конструкционных материалов / П.Г. Петруха и др. – М.: Высш. шк., 1991. – 512с.
8. Мощенок В.І. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» (розділ «Обработка металлов резанием») / В.І. Мощенок, Н.О. Лалазарова. – Харків: Вид-во ХНАДУ, 2008. – 35 с.
9. Методические указания к практикуму для иностранных студентов по дисциплине «Технология конструкционных материалов» (раздел «Обработка металлов резанием» / В.И. Мощенок, Н.А. Лалазарова, Е.А. Нестеренко. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2010. – 30 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи з дисципліни
«Технологія конструкційних матеріалів
та матеріалознавство»
(розділ «Гаряча і холодна обробка
конструкційних матеріалів»)
для студентів напрямку підготовки
„Автомобільний транспорт” 6.070106,
«Машинобудування» 6.050503

Укладачі:

ГЛАДКИЙ Іван Павлович
МОЩЕНОК Василь Іванович
БОНДАРЕНКО Світлана Іванівна
ГЛУШКОВА Діана Борисівна
ДОЩЕЧКІНА Ірина Василівна
ТАРАБАНОВА Валентина Павлівна
ЛАЛАЗАРОВА Наталія Олексіївна
КОСТИНА Людмила Леонідівна

Відповідальний за випуск
Редактор

План 2012, поз.

Підписано до друку _____ Формат 60×84 1/16
Умовн. друк. арк.. 1.0. Обл. вид. Арк..
Замовлення № _____ Тираж 50 прим. Ціна договірна.

Видавництво ХНАДУ, 61002, м. Харків – МСП, вул. Петровського, 25

Свідоцтво державного комітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України про внесення суб'єкта виробничої справи до державного реєстру видавців, виробників і розповсюджувачів видавничої продукції.

Серія ДК № 407 від 9.04.2001 р.