

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ВИРОБНИЦТВА**

І.А. Бабин

К О Н С П Е К Т Л Е К Ц І Й

з дисципліни

**«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО І ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ»**

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Галузі знань 13 Механічна інженерія

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва напряму підготовки)

Освітньо-професійна програма Галузеве машинобудування

ВІННИЦЯ 2023

Теми лекційних занять

з дисципліни

«Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів»

(32 год. – 16 тем) (Денна форма навчання)

Конструкційні матеріали: властивості, класифікація.	2
Класифікація конструкційних матеріалів.	2
Листове штампування.	2
Способи литва металів.	2
Інструментальні матеріали.	2
Технологічні процеси виготовлення гумових виробів. Вироби із деревини.	2
Основи ливарного виробництва.	2
Суть та способи обробки тиском.	2
Теоретичні основи обробки тиском.	2
Процеси кування.	2
Зварювання металів та сплавів	2
Неметалеві конструкційні матеріали.	2
Фізичні основи різання металів.	2
Технологія обробки заготовок на верстатах токарної і свердлильно - розточувальної групи.	2
Обробка на верстатах шліфувальної групи. Чистові методи обробки.	2
- Зварювання під флюсом. Зварювання в захисних газах. Плазмове зварювання.	2
Разом	32

ЛЕКЦІЯ №1.

КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ: ВЛАСТИВОСТІ, КЛАСИФІКАЦІЯ.

План лекції:

1. *Предмет вивчення дисципліни ТКМ.*
2. *Властивості конструкційних матеріалів.*

1.1 Предмет вивчення дисципліни ТКМ

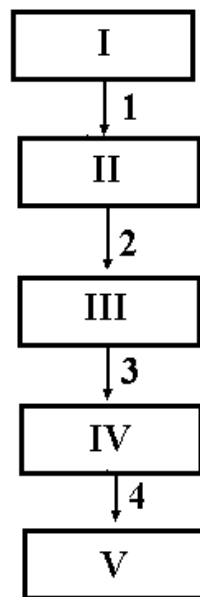


Рис.1.1 – Блок-схема процесу виготовлення машин

Конструкційним матеріалом називають такий матеріал, який іде на створення машин і механізмів різноманітного технологічного призначення.

Представимо процес виготовлення будь-якої машини у вигляді блок-схеми (рис.1.1). На ній елементами I, II, III, IV і V позначимо продукцію (матеріали), що виготовляється внаслідок здійснення технологічних процесів, показаних стрілками 1, 2, 3, 4:

Матеріали:

- I - сировинні (вихідні) матеріали (руди, паливо тощо);
- II - конструкційні матеріали (сталь, чавун, латунь, бронза та ін.);
- III - заготовки для деталей машин (виливки, поковки тощо);
- IV - готові деталі машин;
- V - машини.

Технологічні процеси:

- 1 - металургійні процеси;
- 2 - заготівельні процеси (лиття, обробка металів тиском, зварювання);
- 3 - процеси механічної обробки заготовок (точіння, фрезерування, свердління, шліфування та ін.);
- 4 - процеси збирання машин і механізмів.

Предметом вивчення дисципліни ТКМ є вивчення технологічних процесів, позначених як 1, 2, 3 і продукції цих процесів – II, III і IV.

1.2 Властивості конструкційних матеріалів

Конструкційним матеріалом називається матеріал, що йде на виготовлення деталей конструкцій, які сприймають силове навантаження.

Матеріал може називатися конструкційним лише в тому випадку, якщо він має певний комплекс властивостей. Ці властивості прийнято поділяти на фізичні, хімічні, механічні, технологічні та експлуатаційні.

1.2.1 Фізичні та хімічні властивості

До фізичних властивостей конструкційних матеріалів відносяться температура плавлення, густина, коефіцієнти лінійного та об'ємного розширення, електропровідність, теплопровідність, магнітна проникність тощо. Фізичні властивості сплавів зумовлюються їхніми складом і структурою. В більшості випадків при призначенні матеріалу для виготовлення тієї чи іншої деталі фізичні властивості до уваги не приймаються.

До хімічних властивостей належать хімічна активність, здатність до хімічної взаємодії з агресивними середовищами, антикорозійні властивості.

1.2.2 Механічні властивості

Механічні властивості матеріалів - це сукупність показників, які характеризують опір матеріалу діючому на нього навантаженню, його здатність деформуватися при цьому, а також особливості його поведінки в процесі руйнування. До механічних властивостей зазвичай відносять опір матеріалу деформації (міцність) та опір руйнуванню (пластичність, в'язкість, здатність металу не руйнуватися при наявності тріщин).

Опір деформації, як правило, об'єднують у загальне поняття **міцність**, а опір руйнуванню – **надійність**.

Міцність – це показник, який характеризує здатність матеріалу чинити опір руйнуванню при навантаженнях. Основним, обов'язковим при випробуваннях для оцінки міцності, є такий показник як тимчасовий опір або границя міцності σ_s : $\sigma_s = \frac{P}{S}$, МПа, де P – найбільше навантаження, що передувало руйнуванню зразка, (МН); S – площа поперечного перерізу зразка, m^2 .

Пластичність – це здатність матеріалу до пластичного деформування під дією механічних навантажень. Вона оцінюється такою характеристикою як відносне видовження : $\delta = \frac{L_k - L_o}{L_o} \cdot 100 \%$, де L_k – довжина зразка після руйнування, L_o – довжина зразка до руйнування.

Важливою характеристикою механічних властивостей є твердість.

Твердість – це властивість поверхневого шару матеріалу чинити опір пружній та пластичній деформаціям або руйнуванню при місцевій пластичній взаємодії з боку іншого, більш твердого тіла (**індентора**) відповідної форми та розмірів.

Для багатьох сплавів установлена чітка залежність між твердістю, механічними та технологічними характеристиками (міцністю, зносостійкістю, оброблюваністю різанням, тиском тощо). Тому вимірювання твердості є найбільш поширеним методом механічних випробувань, тим більше, що здійснюється воно швидко, просто і без руйнування виробу.

Способи визначення твердості поділяються на статичні та динамічні в залежності від швидкості прикладання навантаження. Найбільш поширені методи, де використовується статичне навантаження індентора перпендикулярно до поверхні зразка. Це методи *Брінелля*, *Роквелла* та *Віккерса*.

При вимірюванні твердості за методом Брінелля як індентор використовується стальна загартована кулька діаметром 10; 5 або 2,5 мм, яка вдавлюється в поверхню матеріалу під навантаженням від 153 до 29400 Н (від 15,6 до 3000 кг). На поверхні зразка утворюється відбиток (лунка) діаметром d . Число твердості за Брінеллем, що позначається літерами HB (H – від англ. *hardness* – твердість, B – *Brinell*), вимірюється відношенням навантаження P , що діє на кульку діаметром D , до площі відбитка S :

$$HB = \frac{P}{S} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ де } P \text{ в кг, } D \text{ і } d \text{ в мм, } HB \text{ в кг/мм}^2$$

Одиниця вимірювання твердості за Брінеллем – кг/мм^2 або МПа . В першому випадку твердість записується так: $HB\ 200$, $HB\ 169$, де 200, 169 – величини твердості в кг/мм^2 . Якщо твердість вимірюється в МПа , то запис такий: $HB\ 2000\ \text{МПа}$, $HB\ 1690\ \text{МПа}$.

Твердість за методом Роквелла визначається шляхом вдавлювання в зразок індентора у вигляді алмазного конуса з кутом при вершині 120° або сталюї загартованої кульки діаметром 1/16 дюйма (1,588 мм). В першому випадку твердість записується HRC або HRA , у другому – HRB .

При вимірюванні твердості за Віккерсом у поверхню зразка вдавлюється алмазний індентор у формі чотиригранної піраміди з кутом при вершині 136° . Твердість за Віккерсом вимірюється в кг/мм^2 і записується $HV200$ без одиниць вимірювання, або в МПа і записується з указуванням одиниць вимірювання, наприклад, $HV2000\ \text{МПа}$.

Алмазні індентори в методах Роквелла та Віккерса дозволяють визначати твердість практично будь-яких металевих матеріалів, тоді як метод Брінелля обмежується матеріалами з твердістю до значення приблизно $HB350\dots HB400$. Вище цих значень метод Брінелля дає спотворені результати внаслідок деформації самого індентора (сталюї кульки). Існують і інші методи визначення твердості.

До механічних властивостей конструкційних матеріалів відносять і такі, що визначають здатність металевих виробів сприймати ударні навантаження. До таких властивостей відноситься **ударна в'язкість**. Зазвичай ударна в'язкість оцінюється роботою, необхідною для деформування й руйнування призматичного зразка перерізом 10×10 мм і довжиною 55 мм з одностороннім поперечним надрізом при дослідженні на ударний згин, віднесеною до площі поперечного перерізу зразка в місці надрізу. Позначається символом KC і вимірюється в Дж/м^2 або в $\text{кг}\cdot\text{м/см}^2$.

1.2.3 Технологічні властивості конструкційних матеріалів

Технологічні властивості конструкційних матеріалів – це комплекс фізико-хімічних властивостей, що характеризують здатність цих матеріалів до переробки тим чи іншим технологічним методом чи способом. До основних технологічних властивостей відносяться **ливарні властивості**, тобто здатність до переробки в рідкому стані з метою отримання виливків визначених розмірів, форми та якості металу; **оброблюваність тиском** – здатність сприймати пластичну деформацію без руйнування суцільності в процесі формозміни тиском в холодному або гарячому стані; **зварюваність** – здатність утворювати нероз'ємне зварне з'єднання потрібної якості; **оброблюваність різанням**, що визначає опір матеріалу стружкоутворенню при заданих шорсткості, точності та механічних властивостях оброблених поверхонь; **термічна оброблюваність** – здатність матеріалу до поліпшення механічних властивостей шляхом теплової дії на матеріал. Ця дія може поєднуватись також із хімічною, деформаційною, магнітною та ін.

Технологічні властивості конструкційних матеріалів нарівні з механічними є основними чинниками, що визначають вибір матеріалу для деталей, які сприймають великі та середні за значенням навантаження. Для деталей же, які або зовсім не навантажені, або несуть незначні навантаження, вирішальними чинниками є лише технологічні властивості того матеріалу, який вибирають з точки зору економічної доцільності.

1.2.4 Експлуатаційні властивості конструкційних матеріалів

Експлуатаційними властивостями прийнято називати такі, що визначають поведінку матеріалу в конкретних умовах його експлуатації. Це, наприклад, **корозійна стійкість** – здатність не реагувати з агресивним середовищем; **жароміцність і жаростійкість** – відповідно міцність та корозійна стійкість при високих температурах; **зносостійкість** – опір матеріалу зношуванню; **холодноламкість** – утрата матеріалом механічних характеристик при низьких температурах тощо.

Контрольні питання

1. Які властивості конструкційних матеріалів відносяться до фізичних?
2. Які властивості конструкційних матеріалів відносяться до механічних?
3. Які властивості конструкційних матеріалів називаються технологічними?
4. Які властивості конструкційних матеріалів називаються експлуатаційними?

Лекція №2. КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

План лекції:

1. *Класифікаційні ознаки конструкційних матеріалів.*
2. *Конструкційні матеріали на основі заліза.*

2.1 Класифікаційні ознаки конструкційних матеріалів.

Конструкційні матеріали поділяються: за природою матеріалів – на металеві, неметалеві, композиційні та порошкові; за технологією виробництва – на деформовані (прокат, поковки, пресовані профілі та ін.), литі, спечені, зварні; за умовами роботи – на такі, що працюють при низьких температурах, жароміцні, корозійно-, окалино-, зносо-, паливо-, мастилостійкі тощо; за критеріями міцності – на матеріали малої й середньої міцності з великим запасом пластичності, високоміцні з помірним запасом пластичності.

Найбільш характерною класифікаційною ознакою є природа конструкційних матеріалів, серед яких в першу чергу виділяються металеві, оскільки понад 95% усіх деталей у машинобудуванні виробляються саме з них.

Металеві конструкційні матеріали виготовляють із сплавів, створених сплавленням кількох металів, а також металів із різними неметалами. Зазвичай сплави мають більш високі фізичні, механічні, технологічні та експлуатаційні властивості ніж їх складові – чисті компоненти.

Для сплавів також характерна можливість суттєвого покращання всього комплексу властивостей шляхом термічної, хіміко-термічної, механічної та термомеханічної обробки.

Головною ознакою класифікації металевих конструкційних матеріалів слід вважати тип металу, що є основою сплаву. За цією ознакою конструкційні матеріали в машинобудуванні обмежуються сплавами на основі заліза, міді, алюмінію, магнію, титану. Сплави на основі інших металів (берилію, нікелю, молібдену, кобальту та деяких інших) застосовуються в спеціальних галузях техніки, наприклад, в авіаційних та ракетних двигунах, парових турбінах, електротехніці тощо.

2.2 Конструкційні матеріали на основі заліза

Властивості заліза: температура плавлення 1539°C , густина $7,874 \text{ г/см}^3$, міцність $170\text{...}210 \text{ МН/м}^2$, відносне видовження $45\text{...}55\%$, твердість НВ $350\text{...}450 \text{ МПа}$, ударна в'язкість 300 МДж/м^2 ($30 \text{ кг}\cdot\text{м/см}^2$).

Залізо – найважливіший метал сучасної техніки. В чистому вигляді залізо через його низьку міцність практично не використовується, хоча в побуті “залізними” часто називають його сплави – сталь та чавун. Значення заліза в сучасному житті визначається як його широким розповсюдженням у природі ($4,65\%$ за масою, друге місце серед металів після алюмінію), так і здатністю утворювати різноманітні сплави, в яких поєднуються досить цінні властивості. На частку залізних сплавів припадає приблизно 95% усієї металевої продукції.

Найважливішими залізними сплавами, що застосовуються в сучасній техніці, є сплави заліза з вуглецем, вміст якого в сплаві визначає, практично,

весь комплекс властивостей сплаву. Крім того, характерною особливістю залізовуглецевих сплавів є те, що різноманітною обробкою (термічною, механічною, термомеханічною тощо) можна змінювати їхню структуру, а, значить, і властивості. Варіюючи склад і структуру, отримують залізовуглецеві сплави з різноманітними властивостями, що робить їх універсальними матеріалами.

Технічні залізовуглецеві сплави, які застосовують у машинобудуванні, крім вуглецю вміщують ще і різні домішки. Одні з них (фосфор, сірка, марганець, кремній, кисень, азот, водень) є звичайними, що з'явилися в сплавах під час здійснення технологічних процесів при їхньому виготовленні, інші ж (хром, нікель, молібден, титан, ванадій, вольфрам, кобальт, мідь та ін.) називаються легуючими і вводяться в сплави спеціально для покращання властивостей.

Технічні залізовуглецеві сплави називаються **сталями й чавунами**.

2. 2.1 Сталі

Сталлю називається сплав заліза з вуглецем, вміст якого в сплаві не перевищує 2,14%. За хімічним складом сталь поділяється на вуглецеву та леговану.

Вуглецева сталь є найбільш розповсюдженою, її виплавка складає до 80% від загального об'єму виробництва. Сталь поділяється на три основні групи: 1) звичайної якості; 2) якісна загального призначення; 3) спеціалізована (інструментальна, котельна, мостова, суднобудівельна та ін.). Властивості вуглецевої сталі у значній мірі змінюються в залежності від вмісту вуглецю. Так, із збільшенням вмісту вуглецю підвищується твердість та міцність, покращуються ливарні властивості та здатність до загартовування, знижуються пластичність, ударна в'язкість, погіршуються зварюваність, оброблюваність тиском та різанням.

Сталь вуглецева звичайної якості (ДСТУ 2651-94) – це широко вживана і недорога сталь, з якої випускається до 70% всього прокату, що використовується в машинобудуванні, будівництві, транспорті та інших галузях. Маркується така сталь літерами Ст, цифрою від 0 до 6 (порядковий номер) та індексами *сп*, *кп*, або *пс*, що означає, відповідно, сталь *спокійна* (розкислена), сталь *кипляча* (нерозкислена) та сталь *напівспокійна* (розкислена неповністю).

Розкислення – це видалення зі сталі кисню. Про мету та технологію цього процесу будемо говорити в наступних лекціях.

Сталь звичайної якості в залежності від марки містить 0,06...0,49% С, 0,25...1,1% Mn, 0,05...0,35% Si, до 0,04% P та до 0,05% S.

Приклади марок сталі звичайної якості : **Ст 1кп, Ст 3сп, Ст 5пс.**

Зі сталі звичайної якості виготовляють гарячекатаний сортовий, фасонний, листовий, штабовий прокат і холоднокатаний тонколистовий, а також труби, поковки, стрічки, дріт, метизи та ін. Ці сталі широко використовуються у будівництві для зварних, клепаних та болтових конструкцій (корпуси суден, каркаси парових котлів, конструкції підйомних кранів та ін.).

Сталь вуглецева якісна конструкційна (ГОСТ 1050-88) за хімічним складом поділяється на марки від **Сталь 05** до **Сталь 85**, де число показує вміст вуглецю в сотих долях процента (відповідно 0,05%, 0,85%). Числа в марках сталі кратні 5 (10, 15, 20...85). Поділяється на киплячу (кп), напівспокійну (пс) і спокійну (без індексу). В деяких марках якісної сталі в кінці стоїть літера Г, що означає вміст марганцю до 1% (наприклад, Сталь 65Г). Умовно якісна вуглецева конструкційна сталь поділяється на низьковуглецеву (Сталь 05...Сталь 20), середньовуглецеву (Сталь 25...Сталь 40) та високовуглецеву (Сталь 45 ... Сталь 85).

Сталі якісні конструкційні відрізняються меншою масовою часткою сірки та фосфору ($\leq 0,04\%$), обмеженим вмістом інших елементів, неметалевих включень.

Низьковуглецеві сталі використовуються для малонавантажених деталей – прокладки, шайби, кузови легкових автомобілів, елементів зварних конструкцій тощо (сталі 08, 08кп, 10), а також для деталей, що піддаються цементації (насиченню вуглецем) для підвищення твердості та зносостійкості (малонавантажені шестерні, шпинделі, кулачкові валики, втулки та ін. (сталі 15, 20) та відповідальних зварних конструкцій.

Середньовуглецеві сталі 30, 35, 40 та високовуглецеві сталі 45, 50 після термічної обробки, поверхневого гартування використовують для різних деталей багатьох галузей машинобудування (розподільчі вали, фрикційні диски, шестерні, шатуни, шпинделі, вали).

Сталі 60...85, маючи високу міцність, твердість, пружність, використовують для виготовлення деталей, які після відповідної термічної обробки працюють в умовах тертя під дією високих вібраційних навантажень (пружини, ресори, прокатні валки тощо).

Легованими називаються сталі, до складу яких крім заліза, вуглецю та неминучих домішок, входять *легуючі елементи*, які надають сталям визначених фізико-хімічних, механічних, технологічних або експлуатаційних властивостей. В марках легованих сталей про присутність легуючих елементів свідчить наявність літер: Н – нікель (*Ni*), Х – хром (*Cr*), Г – марганець (*Mn*), С – кремній (*Si*), В – вольфрам (*W*), Ф – ванадій (*V*), М – молібден (*Mo*), Д – мідь (*Cu*), К – кобальт (*Co*), Б – ніобій (*Nb*), Т – титан (*Ti*), Ю – алюміній (*Al*), Р – бор (*B*), А – азот (*N*). Але, якщо літера А стоїть в кінці марки, то це свідчить про те, що сталь має більш низький вміст сірки й фосфору (до 0,03% кожного), тобто є високоякісною (сірка і фосфор є безумовно шкідливими елементами у залізобуглецевих сплавах). Сталі, в марках яких у кінці не стоїть літера А, можуть мати вміст сірки та фосфору до 0,05...0,06%. Цифри після літер вказують на приблизний вміст відповідного елемента в процентах, але якщо вміст елемента складає 1,0...1,5% і менше, то цифра не ставиться. Перші цифри в марці сталі показують вміст вуглецю в сотих частках процента (в інструментальній сталі – в десятих частках процента). В деяких випадках, наприклад, в інструментальних сталях, які містять вуглецю більше 1%, цифри, що визначають його вміст, відсутні. Так, наприклад, інструментальна сталь з 1,45...1,70% *C*, 11,0...12,5% *Cr* і 0,5...0,8% *Mo* позначається Х12М.

Леговані сталі зазвичай поділяються на конструкційні, інструментальні та сталі особливих властивостей (електротехнічні, нержавіючі, жароміцні, зносостійкі тощо)

Приклад маркування легованих сталей: **Сталь 08X21H6M2TA** містить (у середньому) 0,08% C, 21% Cr, 6% Ni, 2% Mo, 1% Ti, високоякісна.

В деяких випадках маркування сталей відступає від загальноприйнятого і літера вказує на призначення цих сталей. Так, літерою **Р** позначаються інструментальні швидкорізальні сталі (від англ. *rapid* – швидкий) – Р18 (18% W), **Е** – електротехнічні сталі – ЕЗА (3% Si), **Ш** – підшипникові сталі – ШХ15 (1,5% Cr).

Легування здійснюється, як правило, шляхом сплавлення основного металу з легуючими елементами, які вводять у рідкий метал зазвичай у вигляді **феросплавів**, тобто сплавів заліза з відповідними елементами (**ферохрому, ферованадію** тощо) або ж у вигляді чистих металів.

2. 1. 2 Чавуни

Чавуном називають сплав заліза з вуглецем при вмісті останнього більше 2,14%. До складу чавуну входять також постійні домішки – марганець (до 1,0%), кремній (до 3,5%), сірка й фосфор (до 0,1% кожного).

Слід розрізняти чавуни доменні (чавуни первинної плавки) та конструкційні (чавуни вторинної плавки). Доменні чавуни виплавляються в доменних цехах металургійних заводів і використовуються переважно для подальшої переробки в сталь (переробні чавуни) і частково (ливарні чавуни) – як один із компонентів **шихти** для виготовлення конструкційних чавунів у ливарних цехах машинобудівних заводів (**шихта** – це суміш матеріалів у визначеній пропорції, що підлягає переробці в металургійних печах для отримання кінцевих продуктів із заданими властивостями).

В цій лекції розглянемо суто конструкційні чавуни, із яких виробляють литі деталі машин. Вони є одним з основних конструкційних матеріалів сучасного машинобудування. Застосовуються тільки як ливарний матеріал. На деталі, виготовлені із чавуну, припадає біля 75% від загальної маси виливків. Цьому сприяють його високі механічні та технологічні властивості. Деякі чавуни за міцністю мало чим поступаються вуглецевим сталям, але є дешевшими за них.

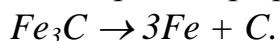
В залежності від того, в якому стані знаходиться вуглець, чавуни поділяють на **білі** та **графітізовані**. В білих чавунах весь вуглець, не розчинений у залізі, знаходиться у зв'язаному стані у вигляді хімічної сполуки Fe_3C – карбиду заліза (**цементиту**). Назву білий чавун отримав за виглядом зламу, який має матово-білий колір. Білий чавун надто твердий, крихкий, практично не піддається обробці різальним інструментом і знаходить обмежене застосування (для виготовлення деталей, від яких потребують високу зносостійкість – прокатні валки, робочі тіла кульових млинів тощо). Процес утворення в чавуні цементиту називається **віблінням**.

На процес вібління впливають такі чинники як хімічний склад і швидкість охолодження чавунних виливків. Так, віблінню сприяють такі елементи як марганець, а графітізації – вуглець і кремній.. Чим швидше

охладжуються виливки, тим більша вірогідність утворення в їх структурі цементиту.

У промисловості застосовуються чавуни, в яких весь вуглець (або його більша частина) знаходиться у вигляді графіту, що забезпечує зниження твердості, підвищення оброблюваності різанням, високі ливарні і антифрикційні властивості. Такий чавун називається графітизованим. Чавун, в якому частина вуглецю знаходиться у вигляді цементиту Fe_3C , а частина – у вигляді графіту, називається **половинчастим**.

Якщо чавун, в якому вуглець знаходиться у вигляді цементиту (білий або половинчастий) зазнає тривалого впливу високої температури, то в ньому відбудеться процес графітизації, тобто розпад цементиту на вуглець і залізо:



Така термічна обробка білого або половинчастого чавуну називається **відпалюванням**.

В залежності від форми графітних включень у графітизованих чавунах останні поділяються на **сірий, ковкий, високоміцний** та чавун із **вермикулярним графітом**.

Структура чавуну складається з металевої основи та графіту. Графітні включення в металевій основі з огляду на те, що графіт має дуже низькі механічні властивості порівняно з металевою основою, можна розглядати як пустоти, тріщини. Природно, що чим більший об'єм займають ці пустоти, тобто чим більше в чавуні вуглецю, тим нижчі механічні властивості чавуну. При однаковому об'ємі пустот властивості чавуну будуть залежати також від площі їхньої поверхні, тобто від форми. Включення пластинчастої форми мають найбільш розгалужену поверхню і тому найбільше знижують механічні властивості. З округленням графітних включень їхній негативний вплив зменшується й стає найменшим у випадку включень кулястої форми.

В багатьох випадках, завдяки графіту, чавун має переваги перед сталлю: 1) наявність графіту полегшує оброблюваність різанням, робить стружку ламкою; 2) чавун має добрі антифрикційні властивості завдяки змащувальній дії графіту; 3) наявність графітних включень швидко гасить вібрації та резонансні коливання; 4) чавун майже нечутливий до дефектів поверхні, надрізів тощо; 5) чавун має добрі ливарні властивості, особливо рідкотекучість, тобто заповнюваність ливарної форми.

Сірий чавун (ГОСТ1412-85). Сірим називається чавун, в якому графіт має форму дещо вигнутих пластин різної довжини та товщини в залежності від марки чавуну (рис.2.1).

Сірий чавун – складний сплав, хімічний склад якого коливається в таких межах: 3,2...3,8% C; 1,0...3,5% Si; 0,5...0,8% Mn; 0,2...0,4% P; до 0,12% S. Сірий чавун поділяється на марки : СЧ10; СЧ15; СЧ20; СЧ25; СЧ30; СЧ35; СЧ40; СЧ45 (С – сірий, Ч – чавун, цифри показують міцність чавуну в $кг/мм^2$). Твердість сірого чавуну коливається від НВ129 до НВ269 в залежності від марки. Пластичність сірого чавуну мізерно мала (відносне видовження δ не перевищує 0,5%), тому він може застосовуватись для виготовлення деталей, які не зазнають навантажень на розтяг і удар. Це корпуси редукторів, насосів, стійки, кришки, маховики, гільзи та поршні циліндрів, циліндри парових машин і компресорів, станини верстатів, гальмівні барабани тощо.



Рис. 2.1 - Форма графіту в сірому чавуні

Ковкий чавун (ГОСТ 1215-79). Ковким називається чавун, в якому графіт має пластівчасту (кляксоподібну) форму (рис. 2.2). Така форма графіту утворюється з білого чавуну внаслідок його тривалій витримці (відпалюванні) при температурі 950...1000°С. Назва “ковкий” не означає, що цей чавун можна кувати, або піддавати будь-якій іншій обробці тиском. Це суто ливарний матеріал а назва свідчить тільки про його більшу пластичність порівняно із сірим чавуном. Ковкий чавун поділяється на марки: КЧ30-6; КЧ33-8; КЧ35-10; КЧ37-12; КЧ45-6; КЧ50-4; КЧ56-4; КЧ60-3; КЧ63-2 (К – ковкий, Ч – чавун, перші дві цифри показують міцність у $кг/мм^2$, другі – відносне видовження в процентах). Хімічний склад ковкого чавуну знаходиться в межах: 2,4...2,8%С; 0,8...1,4% Si; 0,3...1,0% Mn; 0,08...0,1% S; до 0,2% P. Понижені значення вмісту вуглецю та кремнію і підвищений марганцю потрібні для того, щоб у виливках була структура білого чавуну. З цією ж метою товщина стінок виливків не повинна перевищувати 40...50 мм. При більших розмірах в стінках можливе утворення пластинчатого графіту і чавун стає непридатним для відпалювання.

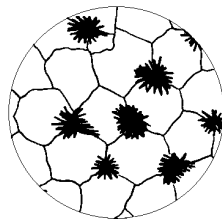


Рис. 2. 2 - Форма графіту в ковкому чавуні

Ковкі чавуни знайшли широке застосування в сільськогосподарському, автомобільному, текстильному машинобудуванні. З нього виготовляють деталі високої міцності, що працюють у важких умовах зношування, здатні сприймати ударні та змінні за напрямом навантаження (картери редукторів, гаки, скоби, фланці, ступиці коліс, елементи карданних валів, ланцюги та ролики конвеєрів тощо). Добрі ливарні властивості вихідного білого чавуну дають можливість виготовляти виливки складної форми.

Високоміцний чавун (ДСТУ 3925-99). Високоміцним називається чавун, в якому графітні включення мають кулясту форму (рис. 2.3). Така форма графіту утворюється при обробці рідкого чавуну невеликими дозами таких елементів як магній, церій, кальцій, ітрій. Ці елементи називаються **модифікаторами**. Вони, практично, не змінюють хімічний склад сплавів, зате суттєво впливають на їхню структуру, змінюючи форму графітних включень, розмір зерен, їх розташування тощо. Як модифікатор для виготовлення чавуну з кулястим графітом найчастіше всього використовується магній – найбільш ефективний і дешевий елемент. Остаточний вміст магнію для отримання кулястого графіту становить 0,04...0,06%. За вмістом решти елементів

високоміцний чавун не відрізняється від сірого, за винятком сірки, якої у високоміцному чавуні 0,01...0,03%. Таке зменшення вмісту сірки відбувається завдяки тому, що магній при обробці рідкого чавуну активно реагує із сіркою з утворенням нерозчинних у чавуні сульфідів магнію Mg_2S , переходять у шлак і видаляються разом з ним.

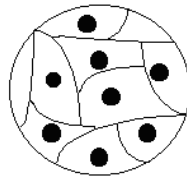


Рис. 2.3 – Форма графіту у високоміцному чавуні

Високоміцний чавун поділяється на марки: ВЧ 350-22; ВЧ 400-15; ВЧ 420-12; ВЧ 450-10; ВЧ 450-5; ВЧ 500-7; ВЧ 600-7; ВЧ 700-2; ВЧ 800-2; ВЧ 900-2; ВЧ 1000-2 (В – високоміцний, Ч – чавун, перше число вказує межу міцності на розтяг в МПа, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках).

Високоміцний чавун використовується для виготовлення середньо – та важко навантажених деталей відповідального призначення: прокатного, ковальсько-пресового обладнання, корпусів парових турбін, колінчастих валів для автомобілів, тракторів та комбайнів, поршнів, кронштейнів та інших деталей.

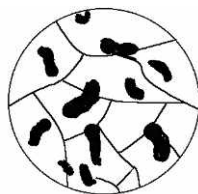


Рис.2. 4 – Вермикулярна форма графіту

Чавун із вермикулярним графітом. Високоміцний чавун із кулястим графітом поряд із його позитивними якостями (високі механічні та експлуатаційні характеристики) має і суттєві недоліки (підвищену об'ємну усадку, понижену теплопровідність, схильність до вибілювання). В чавуні з **вермикулярним** графітом ці недоліки відсутні. В ньому поєднуються високі механічні і ливарні властивості, висока теплопровідність, низька собівартість.

Графіт в такому чавуні має вигляд коротких потовщених пластин з закругленими кінцями (рис.2.4), форма яких є перехідною між пластинчатим і кулястим графітом. Як конструкційний матеріал чавун із вермикулярним графітом є найбільш молодим типом чавуну. Перша технологія його виробництва була розроблена лише в 1966 році. Суть цієї технології полягає в тому, що рідкий чавун обробляється модифікаторами в кількості, недостатній для отримання цілковито кулястої форми графіту. У структурі чавуну утворюється вермикулярний графіт і 20..30% кулястого. Наприклад, при обробці чавуну магнієвими модифікаторами остаточний вміст магнію для забезпечення вермикулярного графіту повинен бути біля 0,02%.

За ДСТУ 3326-99 "Чавун з вермикулярним графітом" цей чавун поділяється на марки: ЧВГ 300-4; ЧВГ 400-4; ЧВГ 500-1 (Ч – чавун, В –

вермикулярний, Г – графіт, перше число вказує межу міцності на розтяг в МПа, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках).

Чавун з вермикулярним графітом є ефективним матеріалом для деталей машин, які зазнають досить високих статичних, ударних і циклічних навантажень, працюють в умовах теплосмін тощо. В автомобілебудуванні цей чавун застосовується для виготовлення головок блоків циліндрів, випускних колекторів, гальмівних дисків, колінчастих і розподільчих валів, блоків циліндрів, зубчастих коліс, корпусів турбокомпресорів тощо.

Контрольні питання

1. Які сплави називаються сталями? Чавунами?
2. Як маркуються вуглецеві сталі звичайної якості? Що означають літери **кп**, **сп**, **пс** в марках цих сталей?
3. Як маркуються якісні вуглецеві сталі?
4. Які сталі називаються легованими? Як маркуються леговані сталі?
5. Які сплави називаються чавунами?
6. Як поділяються чавуни за станом вуглецю в них? За формою графіту?

Лекція № 3 ЛИСТОВЕ ШТАМПУВАННЯ

План лекції

1. Суть процесу.
2. Основні операції листового штампування.
3. Інструмент та обладнання для листового штампування.

3.1 Суть процесу.

Листовим штампуванням називають процес виробництва плоских і об'ємних тонкостінних деталей з листа, стрічки, штаби товщиною зазвичай не більше 5 мм. Матеріалом для листового штампування є сталь і сплави кольорових металів.

Широке застосування листового штампування в промисловості пояснюється низкою його позитивних якостей: а) високою продуктивністю (до 30...90 тис. деталей за зміну; б) точністю деталей, що забезпечує їх взаємозамінність і виключає у більшості випадків їх механічну обробку; в) сприятливими умовами для автоматизації процесу.

3.2 Основні операції листового штампування

Технологічні операції листового штампування можна поділити на дві групи: роздільні та формозмінні.

Роздільні операції листового штампування пов'язані з відокремленням однієї частини матеріалу від іншої по замкнутому або незамкнутому контуру. До них відносяться:

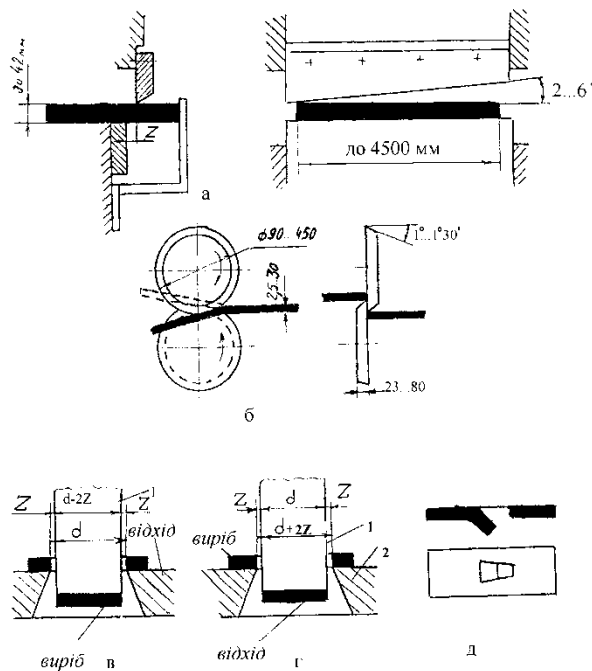


Рис. 3.1 - Схеми роздільних операцій листового штампування

• *відрізання* – розділення заготовки на частини за допомогою ножів або штампа. Його найчастіше виконують на гільйотинних ножицях з поступальним рухом ріжучих кромek ножів (рис.3.1, а), дискових ножицях з обертотвим рухом ножів (рис.3.1, б), а також на відрізних штампах;

* *вирізування (вирубубвання)* – повне відокремлення матеріалу по замкнутому контуру. При цьому частина, що відокремлюється, є виробом (рис.3.1, в);

* *пробивання* – операція отримання в деталі наскрізного отвору (рис.3.1, г);

* *надрізання* – операція часткового відокремлення матеріалу по незамкнутому контуру без видалення залишків, тобто без відходів (рис.3.1, д).

Операції вирізування та пробивання виконуються за допомогою штампів. Основними робочими деталями штампів є пуансон 1 і матриця 2 (рис.3.1, в, г), які працюють як ножі замкнутої форми. Зазор Z між пуансоном та матрицею, що дорівнює $(0,05...0,1)S$, де S - товщина вихідної заготовки, забезпечується за рахунок зменшення діаметра пуансона при вирізуванні (вирубубванні) і за рахунок збільшення діаметра матриці при пробиванні.

Формозмінні операції листового штампування – це такі операції, коли плоска або порожниста заготовка перетворюється в просторову деталь потрібних форми та розмірів. До них належать:

* *Витягання* – процес одержання порожнистих виробів з плоскої вихідної заготовки без стоншування її стінки. Витяганням виготовляють кузови автомобілів, каструлі, гільзи тощо. Неглибокі деталі простої форми витягають за один перехід. Деталі більшої глибини а також складної форми витягають за кілька послідовних переходів. При багаторазовому витяганні діаметр деталі зменшується з кожним переходом, а глибина збільшується. На рис.3.2 а показана схема витягання стакана діаметром d_1 з вихідної заготовки діаметром D . На рис.3.2, б показана схема другого переходу для одержання стакана діаметром d_2 із стакана діаметром d_1 , отриманого в першому переході.

Відношення зовнішнього діаметра одержаної деталі до діаметра вихідної заготовки називається коефіцієнтом витягання K . Для практичних розрахунків заготовок із сталі і сплавів кольорових металів користуються такими значеннями коефіцієнтів витягання: для першого переходу $K = d/D = 0,5...0,7$; для другого і наступних переходів $K_2 = K_3 = ... = K_i = d_1/d_2 = ... = d_i/d_{i-1} = 0,75...0,90$, де i - кількість переходів.

Зазор між пуансоном і матрицею Z повинен бути таким, щоб заготовку можна було зтягнути в цей зазор. Зазвичай приймають $Z = (1,2...1,3)S$, де S - товщина стінки. Для останнього переходу витягання $Z = 1,1S$.

* *Витягання зі стоншуванням стінки (редукування)* є додатковою операцією, яка застосовується для стоншування бічних стінок попередньо витягнутої деталі. Це досягається тим, що зазор між пуансоном і матрицею беруть меншим, ніж товщина вихідної заготовки, а робочий отвір матриці у верхній частині виконують конічним (рис.3.2, в). За один перехід допускається стоншування стінки 40...60 %.

* Згинання - операція, яка змінює напрямлення осі деталі. При згинанні формозміна обмежується мінімальним радіусом інструмента R в зоні згинання. В залежності від пластичних властивостей металу радіус R приймається рівним $0,1 \dots 0,2$ товщини заготовки (рис.3.2, з).

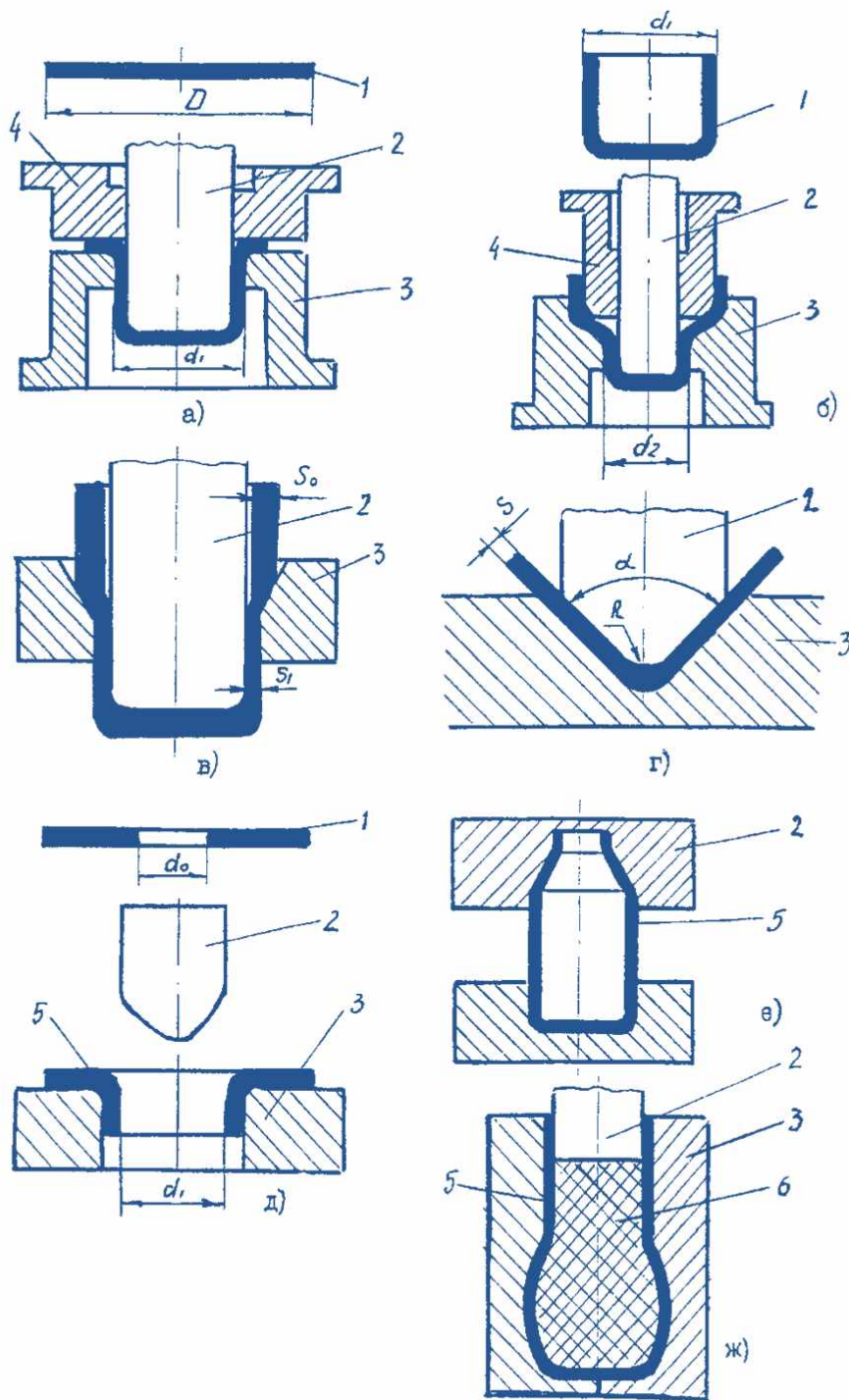


Рис.3.2 - Формозмінні операції листового штампування:
 1 - вихідна заготовка; 2 - пуансон; 3 - матриця; 4 - притискувач; 5 - виріб;
 б - гумовий вкладиш.

* *Розбортування* полягає в утворенні борта в заготовці з попередньо пробитим отвором (рис.3.2, д). Розбортуванням можна одержувати порожнисті заклепки, фланці, люки в днищах котлів та ін. Коефіцієнтом розбортування K_p називається відношення діаметра отвору у вихідній заготовці d_0 до діаметра борта d_1 . Допустиме без руйнування значення $K_p = 0,45 \dots 0,65$.

• *Обтискання* – це місцеве зменшення поперечного перерізу порожнистого виробу, одержаного витяганням (рис.3.2, е). Величина обтискання за один перехід складає 20...30 %.

• *Формування* – операція, яка виконується з метою одержання остаточного профілю (форми) чи більш точних розмірів попередньо витягнутого виробу. Прикладом формування є *випинання* – формування зсередини, коли опуклості, орнаменти, ребра тощо одержують тиском гуми або рідини. На рис.3.2, ж показане випинання попередньо витягнутого виробу за допомогою гумового вкладиша б, на якого тисне зверху пуансон 2.

Більшість листоштампувальних робіт виконуються на кривошипних механічних пресах, яким властива надійність в роботі, економічність і простота в керуванні.

3.3 Інструмент та обладнання для листового штампування

Інструментом для листового штампування є штамп, який складається з технологічних (робочих) і конструктивних деталей (блока). Перші безпосередньо забезпечують виконання технологічних операцій. До них належать пуансони, матриці, притискувачі, виштовхувачі, напрямні планки та інші. Другі потрібні для з'єднання всіх деталей штампа в єдину конструкцію і для закріплення штампа в пресі. Це верхня та нижня плити, хвостовик, напрямні колонки, скріплювальні деталі.

За технологічними ознаками штампи поділяються на штампи простої, послідовної та суміщеної дії.

На рис.3.3 показано штамп послідовної дії для виготовлення шайб з штаби. В ньому за один хід повзуна преса виконуються дві операції: пробивання отвору в одній деталі і вирізування контуру другої. Нижня плита штампа 8 болтами прикріплена до столу, а верхня плита 1 за допомогою хвостовика 2 – до повзуна преса. На нижній плиті у матрицетримачі 9 встановлені матриці 11, а на них дві напрямні пластини 14 і знімач 3. На верхній плиті в пуансонотримачі 4 закріплені пуансони вирубаня 5 та пробивання 6. Точне сполучення робочих деталей штампа забезпечується напрямними колонками 13, закріпленими в нижній плиті, і напрямними втулками 12. Процес штампування здійснюється так: штаба 7 подається в зазор під знімач. Коли верхня частина штампа опускається, пуансони 5 і 6 одночасно входять у відповідні матриці 11 і виконують відразу дві операції: вирізування і пробивання. При підніманні повзуна знімачем 3 штаба скидається з пуансонів. Перед наступним ударом штаба подається вперед до упора 10.

В штампах суміщеної дії одночасно з вирубуванням і пробиванням можуть здійснюватись також операції витягання, розбортовування, згинання тощо.

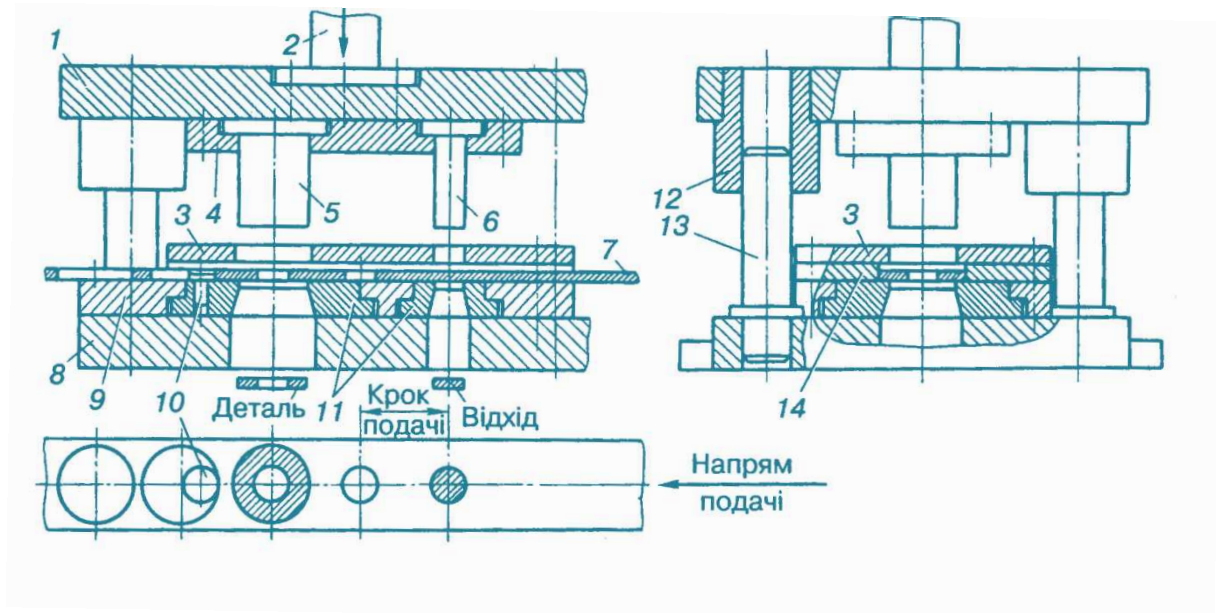


Рис. 3.3 - Штaмп послідовної дії для пробивання і вирізування

Контрольні питання

1. Суть і листового штампування.
2. Основні роздільні операції листового штампування.
3. Основні формозмінні операції листового штампування.

ЛЕКЦІЯ №4. СПОСОБИ ЛИТВА МЕТАЛІВ

План лекції:

- 4.1. Загальна характеристика ливарного виробництва
- 4.2. Теоретичні основи виготовлення відливок
- 4.3. Виготовлення відливок у разових піщано-глинястих формах
- 4.4. Спеціальні методи литва

4.1 Загальна характеристика ливарного виробництва

З різних видів виробництва, які використовують для отримання заготовок деталей, в машинобудуванні важлива роль належить ливарному виробництву. Це пояснюється тим, що литвом можна отримувати деталі масою від декілька грамів до сотень тон з товщиною стінки 0,5...500 мм та більше, з розмірами від декількох міліметрів до десятків метрів, самою складною формою, яку не можна отримати іншими методами та з різноманітних сплавів (пластичних або крихких). Литвом можна отримати заготовку, максимально наближену за формою до готової деталі, що значно зменшує витрату металу та обсяг механічної обробки. Не дивлячись на велику масу литих деталей порівняно, наприклад зі зварними, їх виготовлення в багатьох випадках обходиться дешевше та забезпечує високу якість. *Загальна технологічна схема виготовлення відливки.* Сутність ливарного виробництва полягає в тому, що фасонні деталі (заготовки) отримують заливкою рідкого металу в ливарну форму, порожнина якої відповідає їх розмірам та формі. Після кристалізації металу литу деталь (заготовку), яку називають відливкою, видаляють з ливарної форми та у випадку необхідності відправляють в механічний цех для наступної обробки. Загальна схема технологічного процесу виготовлення відливки наведена на рис. 4.1.

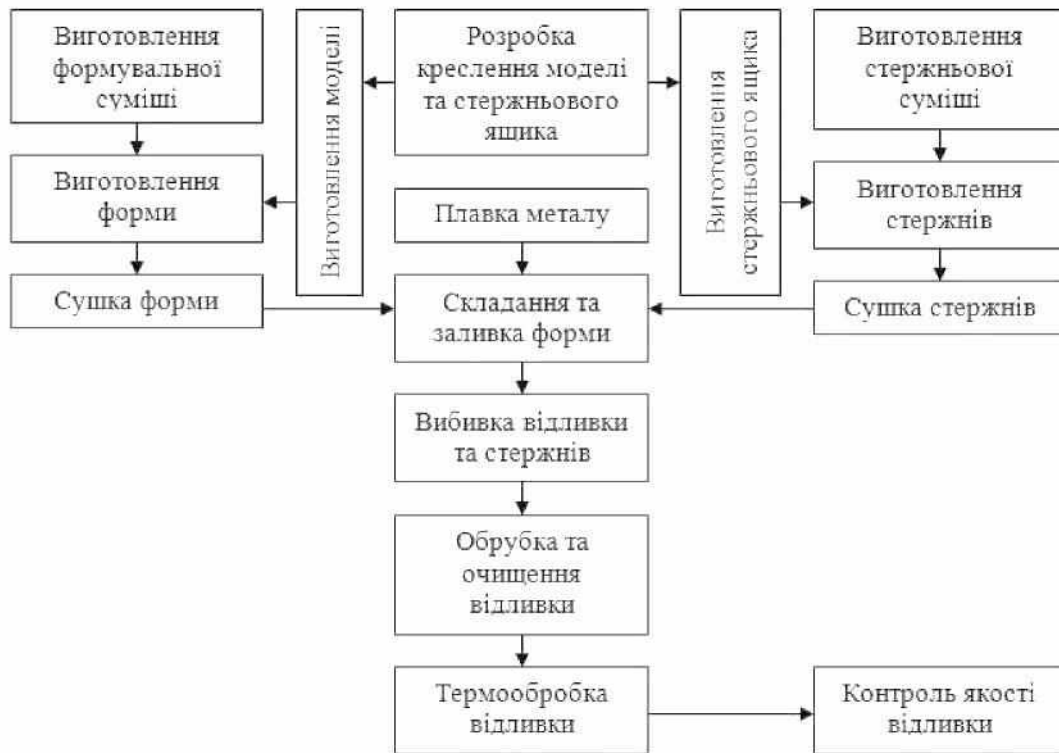


Рис. 4.1. Схема технологічного процесу виготовлення відливки

Технологія виготовлення відливки починається з розробки її креслення та робочих креслень модельного комплексу (моделі та стержньового ящика). До складу ливарного цеху входять відділення: модельне, землевигоготовільне, стержньове, формувальне, плавильне, вибивне, обрубне, очищувальне. В модельному відділенні по робочим кресленням виготовляють модельний комплект. В землевигоготовільному виготовляють формувальну та стержньову суміші. В формувальному виготовляють ливарну форму. В стержньовому виготовляють стержні. В плавильному отримують рідкий метал. Готову ливарну форму заливають рідким металом та після його затвердіння в вибивному відділенні видаляють з форми відливку, обрубують ливникову систему та очищують відливку від пригару в очищувальному відділенні. Заключною операцією є контроль якості відливки.

4.2 Теоретичні основи виготовлення відливок

Ливарні властивості сплавів. Отримання якісних відливок без раковин, тріщин та інших дефектів залежить від ливарних властивостей сплавів, які виявляються при заповненні ливарної форми, кристалізації та охолодженні

відливків у формі. До основних ливарних властивостей сплавів відносять: рідкотекучість, усадку сплавів, схильність до утворення тріщин, газопоглинання, ліквация. *Рідкотекучість* - здатність розплавленого металу заповнювати порожнини ливарної форми та чітко відтворювати контури відливки. При високій рідкотекучості сплави заповнюють всі елементи ливарної форми. Рідкотекучість залежить від багатьох факторів: від температурного інтервалу кристалізації, в'язкості та поверхневого натягіння розплаву, температури заливки та форми, властивостей форми та ін. Чисті метали та сплави, які кристалізуються при постійній температурі мають кращу рідкотекучість, чим сплави, які кристалізуються в інтервалі температур (тверді розчини). Чим вища в'язкість, тим менша рідкотекучість. З підвищенням поверхневого натягіння, рідкотекучість погіршується. З підвищенням температури заливки розплавленого металу та форми рідкотекучість покращується. Підвищення теплопровідності матеріалу форми знижує рідкотекучість. Так, піщана форма відводить теплоту повільніше, та розплавлений метал заповнює її краще, чим металеву форму. Наявність неметалевих включень знижує рідкотекучість. Також впливає хімічний склад сплаву (з підвищенням вмісту сірки, кисню, хрому рідкотекучість знижується, з підвищенням вмісту фосфору, кремнію, алюмінію, вуглецю рідкотекучість збільшується). *Усадка*-властивість металів та сплавів зменшувати об'єм при охолодженні в розплавленому стані, в процесі кристалізації та в затверділому стані при охолодженні до температури навколишнього середовища. Змінення об'єму залежить від хімічного складу сплаву, температури заливки, конфігурації відливки. Розрізняють об'ємну та ливарну усадку. В результаті об'ємної усадки з'являються усадочні раковини та усадочна пористість в масивних частинах відливки. Для попередження утворення усадочних раковин встановлюють додаткові резервуари з розплавленим металом, а також зовнішні або внутрішні холодильники. *Лінійна усадка* визначає розмірну точність отриманих відливків, тому вона враховується при розробці технології литва та виготовлення модельної оснастки. Лінійна усадка становить: для сірого чавуну (0,8...1,3%), для вуглецевих сталей (2,2,4%), для алюмінієвих сплавів

(0,9.1,45%), для мідних сплавів (1,4.2,3%). *Газопоглинання-здатність* ливарних сплавів в розплавленому стані розчиняти водень, азот, кисень та інші гази. Ступінь розчинності газів залежить від стану сплаву, а саме, з підвищенням температури твердого сплаву вона збільшується, також зростає при плавленні, різко підвищується при перегріванні розплаву. При затвердінні та наступному охолодженні розчинність газів зменшується, в результаті їх виділення в відливку можуть утворюватись газові раковини та пори. Розчинність газів залежить від хімічного складу сплаву, температури заливки, в'язкості сплаву та властивостей ливарної форми. *Ліквіація*- неоднорідність хімічного складу сплаву в різних частинах відливки. Ліквіація утворюється в процесі затвердіння відливки, із за різної розчинності окремих компонентів сплаву в його твердої та рідкої фазах. В сталях та чавунах помітно піддаються ліквіації сірка, фосфор та вуглець. Розрізняють ліквіацію *зональну*, коли різні частини відливки мають різний хімічний склад, та *дендритну*, коли хімічна неоднорідність спостерігається у кожному зерні (дендриті). *Класифікація способів отримання відливок та різновидності ливарних форм.* Сучасне ливарне виробництво містить в собі наступні способи виготовлення відливок: 1) в піщано-глинястих формах з ручною та машинною формовкою; 2) в металевих формах; 3) під тиском; 4) за виплавленими моделями; 5) в оболонкові форми; 6) центробіжним литвом; 7) електрошлаковим литвом; 8) безперервним литвом. Область застосування цих способів визначається багатьма факторами: типом виробництва (одиничне, серійне, масове); масою відливок (дрібні-до 100 кг, середні-до 1000 кг, крупні-більше 1000 кг); точністю та чистотою поверхні відливок; ливарними властивостями сплавів; економічною доцільністю використання того чи іншого способу. *Різновидності ливарних форм.* Для отримання відливок використовують різноманітні ливарні форми, які відрізняються: строком служби (разові, багаторазові); станом перед заливкою (сухі, підсушені, сирі, хімічно твердіючі, самотвердіючі); та технологією виготовлення (вручну, на машинах, за виплавленими моделями та ін.). *Разові форми* виготовляють з піщано-глинястих, піщано-смоляних формувальних сумішей, вони призначені для отримання тільки однієї відливки.

За товщиною стінки разові форми можуть бути товстостінні (30...250 мм та більше), тонкостінні (10.20 мм) та оболонкові (до 10 мм). Разову ливарну форму виготовляють роз'ємною, вона складається з нижньої та верхньої напівформ. До разових форм належать також нероз'ємні форми, виготовлені за виплавленими моделями. Після заливки разову форму руйнують для звільнення затверділої відливки. *Багаторазові роз'ємні форми* виготовляють з шамоту, азбесту, алебастру, цементу та інших вогнетривких матеріалів. Такі форми витримують декілька десятків та сотень заливок. Після заливки багаторазову форму розкривають, не руйнуючи її, витягують готову відливку та знову збирають для чергової заливки. *Багаторазові форми (кокілі)* виготовляють металевими: з чавуну, сталі а іноді з мідних та алюмінієвих сплавів. Строк служби кокілю залежить від температури плавлення сплаву, з якого отримують відливку. Так, в одному кокілі можна виготовити до декілька сотень відливок з сталі, до декілька тисяч відливок з чавуну та до сотень тисяч відливок зі сплавів кольорових металів. Із за високої вартості кокілі використовують тільки в серійному або масовому виробництві відливок. Відливка витягується з кокілю спеціальними штовханами, які при розкритті половин кокілю виходять з своїх гнізд та виштовхують відливку.

4.3. Виготовлення відливок у разових піщано-глинястих формах

Литво в піщано-глинясті форми є самим розповсюдженим способом виготовлення відливок. Виготовляють відливки з чавуну, сталі, кольорових металів від декількох грам до сотень тон, з товщиною стінки від 3.5 до 1000 мм та довжиною до 10000 мм. Сутність литва в піщані форми полягає в отриманні відливок з розплавленого металу, який затвердіває в формах, виготовлених з формувальних сумішей шляхом ущільнення з використанням модельного комплекту. Ливарна форма (рис. 4.1) в більшості випадків складається з верхньої 1 та нижньої 2 напівформ, які виготовляються в опоках 7, 8 (пристосування для утримання формувальної суміші). Напівформи орієнтують за допомогою штирів 10, які вставляють в отвори ручок опок 11.

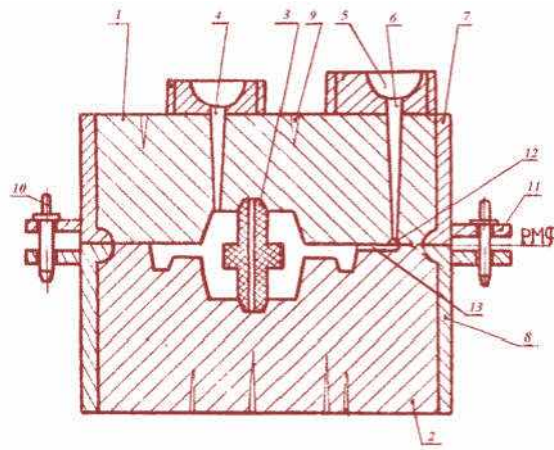


Рис. 4.1. Ливарна форма

Для утворення порожнин отворів або інших складних контурів в формі встановлюють ливарні стержні 3, які фіксують завдяки виступам, що входять в відповідні западини форми (знаки). Ливарну форму заливають розплавленим металом через ливникову систему. *Ливникова система-сукупність* каналів та резервуарів, по яким розплав потрапляє з розливающего ковшу в порожнину форми. Основними елементами ливникової системи є: ливникова чаша 5, яка служить для прийому розплавленого металу та подачі його в форму; стояк 6 (вертикальний або нахилений канал для подачі металу з ливникової чаші в робочу порожнину або до інших елементів форми); шлаковловлювач 12, за допомогою якого уловлюється шлак та інші неметалеві домішки; живильник 13 (один або декілька, через які розплавлений метал потрапляє до порожнини ливарної форми). Для виводу газів, контролю заповнення форми розплавленим металом живлення відливки при її затвердінні служать додатки або випар 4. Для виводу газів призначені також вентиляційні канали 9. *Різновидності ливникових систем* наведені на рис. 4.2.

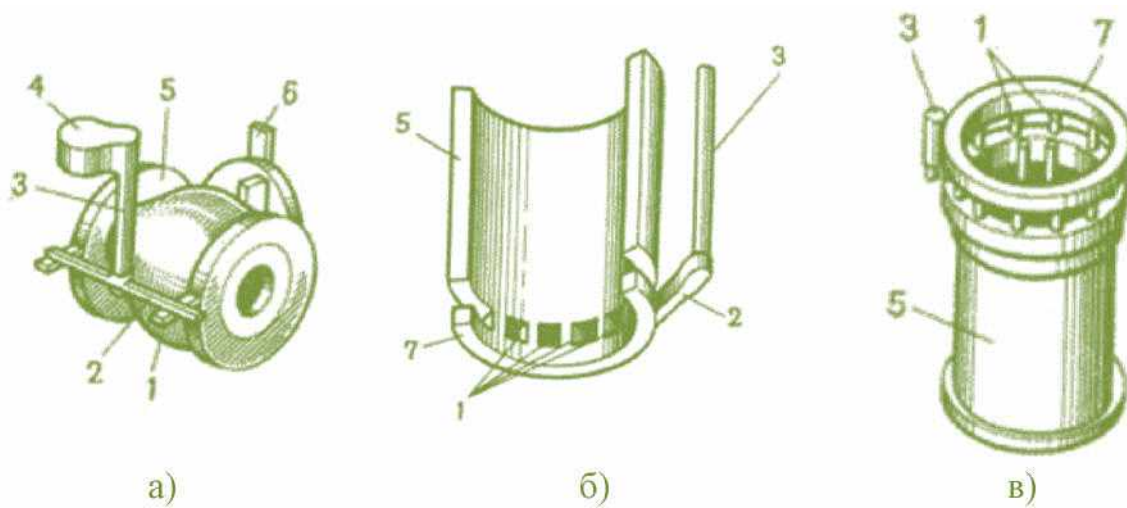


Рис. 4.2. Різновидності ливникових систем

Розрізняють ливникові системи з живильниками, розташованими в горизонтальній та вертикальній площинах. По способу підводу розплаву в робочу порожнину форми ливникові системи поділяють на: нижню, верхню, бокову. Нижня ливникова система (рис. 4.2, б) широко застосовується для литва сплавів, які легко окислюються та насичуються газами (алюміній), забезпечує спокійний підвід розплаву до робочої порожнини форми та поступове заповнення її металом, якій поступає з низу. При цьому ускладнюється конструкція ливникової системи, збільшується витрата металу на її виготовлення, створюється несприятливе розподілення температури в залитій формі завдяки сильному розігріву її нижньої частини. Можливе утворення усадочних дефектів та внутрішніх напружень. При такій системі обмежена можливість отримання високих тонкостінних відливків (при відливанні алюмінієвих сплавів форма не заповнюється металом, якщо відношення висоти відливки до товщині її стінки перевищує $60 H/d > 60$). Нижній підвід через велику кількість живильників часто використовують при виготовленні складних за формою, крупних відливків з чавуну. Верхня ливникова система (рис. 4.2, в). Перевагами системи є: невелика витрата металу, конструкція проста та легка в реалізації при виготовленні форм, подача розплаву зверху забезпечує сприятливе розподілення температури в залитій формі (температура збільшується від нижньої частини до верхньої), а також відповідно й сприятливі умови для спрямованої кристалізації та живлення відливки. Верхню ливникову систему застосовують для невисоких відливків,

невеликих за масою та нескладної форми, виготовлених зі сплавів нескхильних до сильного окислення в розплавленому стані (чавуни, вуглецеві та конструкційні сталі, латуні). Бокова ливникова система (рис 4.2, а). Підвід металу відбувається в середню частину відливки (по лінії роз'єднання форми). Таку систему застосовують при отриманні відливоків з різних сплавів, невеликих та середніх за масою деталей, площа симетрії яких співпадає з площиною роз'єднання форми. Така система є проміжною між верхньою та нижньою і відповідно містить в собі деякі їх переваги та недоліки. *Модельні комплекти для ручної та машинної формовки. Модельний комплект-пристосування, яке включає ливарну модель, моделі ливникової системи, стержньові ящики, модельні плити, контрольні та складальні шаблони. Ливарна модель-пристосування, за допомогою якого в ливарній формі отримують відбиток, який відповідає конфігурації та розмірам відливки. Застосовують моделі роз'ємні та нероз'ємні, дерев'яні, металеві та пластмасові. Розміри моделі більші розмірів відливки на величину лінійної усадки сплаву. Дерев'яні моделі (сосна, бук, ясень), краще виготовляти не цільним а з клеєним з окремих фрагментів з різним напрямком волокон, для попередження короблення. Переваги:* дешевизна, простота виготовлення, невелика вага. *Недоліки:* недовговічність. Для кращого видалення моделі з форми її фарбують (чавун-червоний, сталь-синій). Металеві моделі характеризуються великою довговічністю, точністю та чистою робочою поверхнею. Виготовляються з алюмінієвих сплавів, легкі, стійкі до корозії, гарно оброблюються. Для зменшення маси моделі їх виготовлюють порожнистими з ребрами жорсткості. Моделі з пластмаси вологостійкі при експлуатації та зберіганні, не піддаються коробленню, мають невелику вагу. *Стержньовий ящик - формоутворюючий виріб, який має робочу порожнину для отримання в неї ливарного стержня необхідних розмірів та конфігурації з стержньової суміші. Забезпечує рівномірне ущільнення суміші та швидке звільнення стержня. Виготовляють з тих же матеріалів, що й моделі. Можуть бути як роз'ємні так й нероз'ємні а іноді з нагрівачами. Виготовлення стержнів може відбуватися як в ручну так і на спеціальних стержньових машинах. Модельні плити формують роз'єм*

ливарної форми, на них закріплюють частини моделі, а також використовують для виготовлення опочних та безопочних напівформ. Для машинної формовки застосовують координатні модельні плити та плити зі змінними вкладишами (металева рамка плюс металеві або дерев'яні вкладиші). Ручна формовка застосовується для отримання одної або декількох відливок дослідного виробництва, в ремонтному виробництві, для крупних відливок масою 200.300 тон. Прийоми ручної формовки: в парних опоках по роз'ємній моделі, формовка шаблонами, формовка в кесонах. Формовка шаблонами застосовується для отримання відливок, які мають конфігурацію тіл обертання в одиничному виробництві. Шаблон-профільна дошка. Виготовлення для шлакової чаші (рис. 4.3).

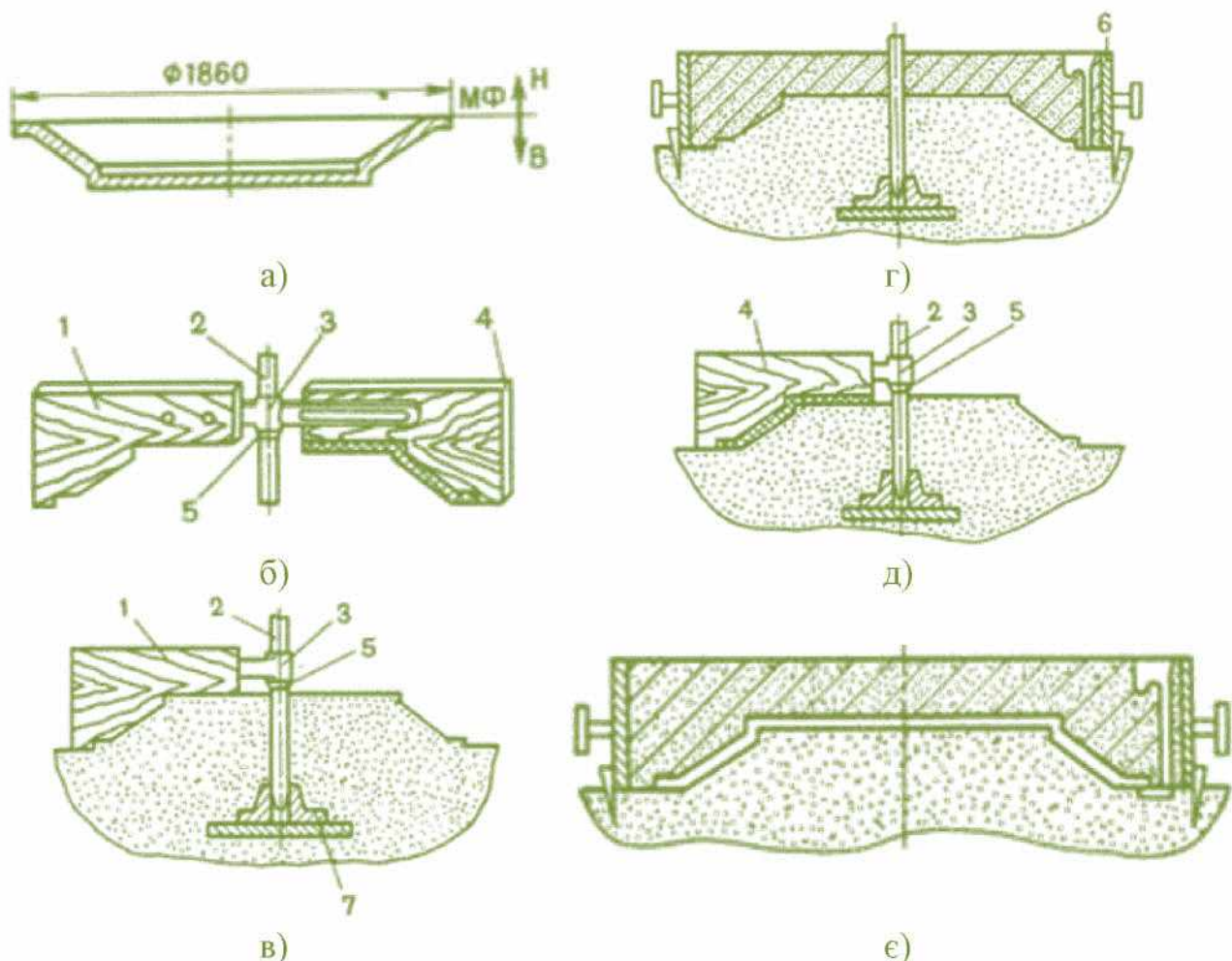


Рис. 4.3. Шаблонна формовка

В ущільненій формувальній суміші поворотом шаблону 1, який закріплений на шпинделі 2 за допомогою серги 3, оформлюють зовнішню поверхню відливки (рис. 4.3, в) та використовують її як модель в опоці верхньої

напівформі 6 (рис. 4.3, г). Знімають сергу з шаблоном, площину роз'єму вкривають розділяючим шаром сухого кварцового піску, встановлюють моделі ливникової системи, опоку, засипають формувальну суміш та ущільнюють її. Потім знімають верхню напівформу. В підп'ятник 7 встановлюють шпindel з шаблоном 4, яким оформлюють нижню напівформу, стискаючи шар суміші, якій дорівнює товщині стінки відливки (рис. 4.3, д). Знімають шаблон, видаляють шпindel, встановлюють верхню напівформу (рис. 4.3, є). В готову ливарну форму заливають розплавлений метал. *Формовка в кесонах.* Формовкою в кесонах отримують крупні відливки масою до 200 тон. *Кесон-залізобетонна яма*, яка розташована нижче рівня пола цеха, водонепроникна для ґрунтових вод. Механізований кесон має дві рухомі та дві нерухомі стінки з чавунних плит. Дно з порожнистих плит, які можна продувати (для прискорення охолодження відливоків) та кесону. Кесон має механізм для руху стінок та призначений для встановлення та закріплення верхньої напівформи. *Машинна формовка.* Використовується в масовому та серійному виробництві, а також дрібних серій та окремих відливоків. Підвищується продуктивність праці, покращується якість форм та відливоків, знижується брак, полегшується умови праці. За характером ущільнення розрізняють машини: пресові, що струшують, та інші. Ущільнення пресуванням може здійснюватися за різними схемами, вибір якої залежить від розмірів форми моделей, ступеню та рівномірності ущільнення та інших умов. В машинах з верхнім ущільненням (рис. 4.4, а) тиск, що ущільнює діє зверху

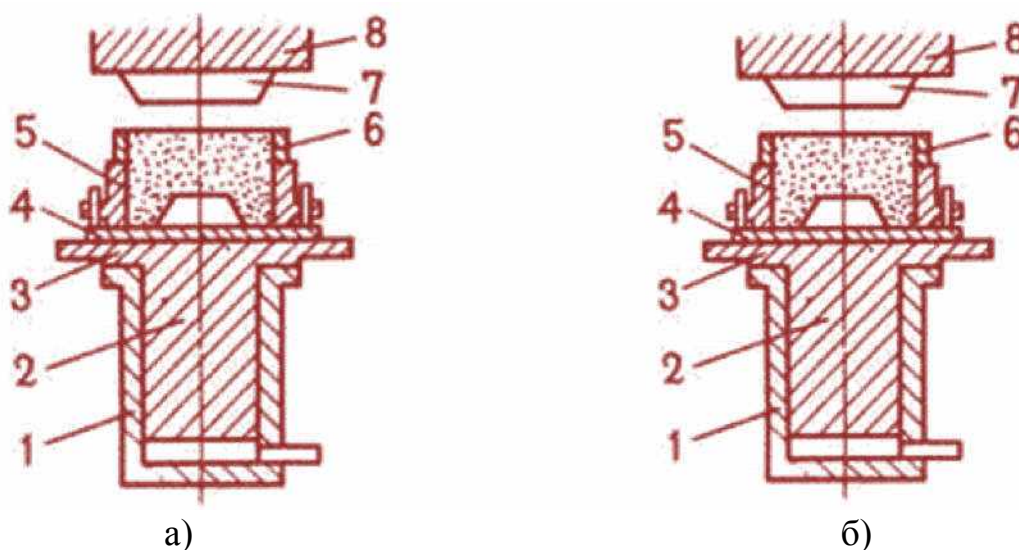


Рис. 4.4. Схеми способів ущільнення ливарних форм при машинній формовці: а) пресуванням; б) струшуванням.

Використовують рамку для наповнення. При подачі стислого повітря в нижню частину циліндра 1 пресовий поршень 2, стіл 3 з прикріпленою до нього модельною плитою 4 з моделлю піднімається. Пресова колодка 7, яка закріплена на траверсі 8 входить в рамку для наповнення 6 та ущільнює формувальну суміш в опоці 5. Після пресування стіл з модельною оснасткою опускають в вихідне положення. У машин з нижнім пресуванням формувальна суміш ущільнюється самою моделлю та модельною плитою. Ущільнення струшуванням відбувається в результаті багаторазового повторення струшувань (рис. 4.4, б). Під дією стислого повітря, яке подається в нижню частину циліндра 1, струшувачий поршень 2 та стіл з закріпленою на ньому модельною плитою 4 з моделлю піднімається на 30... 100 мм до випускного отвору, потім падає. Формувальна суміш в опоці 5 та рамки, що наповнює 6 ущільнюється в результаті виникання сил інерції. Спосіб характеризується нерівномірністю ущільнення, ущільнення верхніх шарів досягається додатковим пресуванням. *Вакуумна формовка.* Модельна плита має вакуумну порожнину. В моделі є наскрізні отвори діаметром 0,5... 1 мм, які співпадають з отворами в плиті. Модельну плиту з моделлю закривають нагрітою полімерною плівкою. В повітряній коробці насосами створюється вакуум 40.50 кПа. Потім встановлюється опока з сухим кварцовим піском, який ущільнюється за допомогою вібрацій. На верхню поверхню поміщають розігріту плівку, щільно прилягаючи до опоки. Напівформу знімають з моделі. При заливанні металу плівка згорає, утворюючи протипригарне покриття. Ущільнення піскометом відбувається робочим органом піскомету (метальною головкою). Формувальна суміш подається в головку безперервно. Піскомет забезпечує завантаження суміші та її ущільнення. При обертанні ковшу (1000.1500 хв⁻¹) формувальна суміш викидається в опоку зі швидкістю 30.60 м/с. Метальна головка може переміщуватися над опокою. Піскомет є високопродуктивною формувальною машиною, його застосовують при виготовленні крупних відливків в опоках та кесонах. *Безопочна автоматична формовка.* Використовується при виготовленні форм для дрібних відливків з чавуну та сталі в серійному та

масовому виробництві. Виготовлення ливарних форм здійснюється на високопродуктивних піскодувно-пресувальних автоматичних лініях (рис. 4.5).

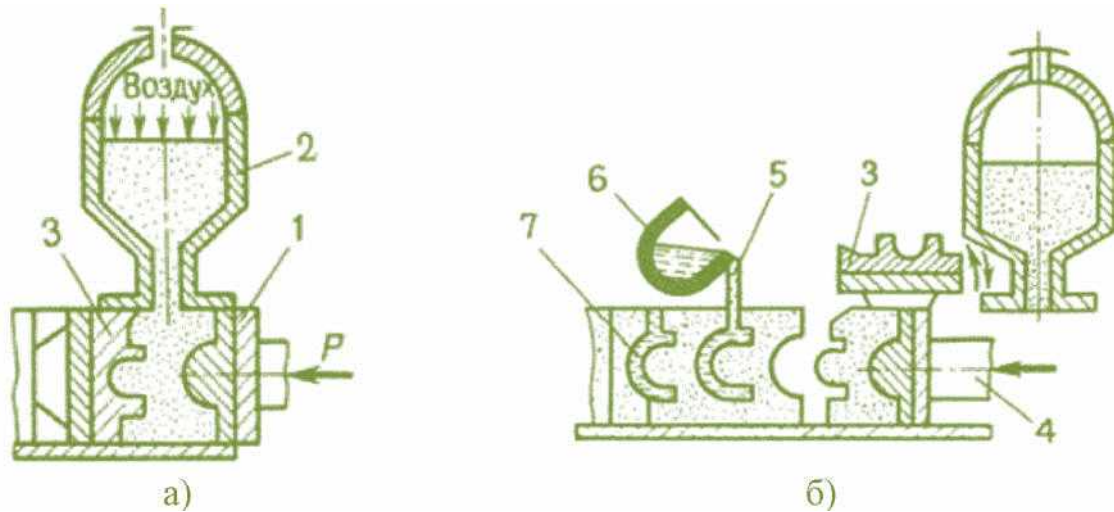


Рис. 4.5. Схема виготовлення безопочних ливарних форм

Формувальна камера заповнюється сумішшю за допомогою стислого повітря з головки 2. Ущільнення здійснюється при переміщенні модельної плити 1 плунжером 4. Після ущільнення поворотна модельна плита 3 відходить вліво та повертається в горизонтальне положення. Напівформа переміщується плунжером 4 до дотикання з попередньою грудкою, утворюючи порожнину 5. Потім проводять заливку металу з ковша 6. Після затвердіння та охолодження відливків, форми подаються на вибивну решітку, де відливки 7 від формувальної суміші. *Виготовлення стержнів.* Виготовлення стержнів здійснюється вручну або на спеціальних стержньових машинах з стержньових сумішей. Виготовлення стержнів включає операції: формовка сирого стержня, сушка, фарбування сухого стержня. Якщо стержень складається з декількох частин, то після сушіння їх склеюють. Ручна формовка здійснюється в стержньових ящиках. В готових стержнях виконують вентиляційні канали. Для придання стержням необхідної міцності використовують арматурні каркаси зі сталюго дроту або литого чавуну. Готові стержні підвертають сушінню при температурі 200_230 С, для підвищення газопроникання та міцності. Під час сушіння з стержня видаляється волога, частково або повністю вигорають органічні домішки. Часто стержні виготовляють на піскодувних машинах. При використанні сумішей з синтетичними смолами, стержні виготовляють в

оснастці, яку нагрівають. Виготовлення стержнів з сумішей на основі рідкого скла полягає в хімічному затвердінні рідкого скла шляхом продування стержня вуглекислим газом. Формувальні та стержневі суміші. Для приготування сумішей використовують природні та штучні матеріали. Пісок-основний компонент формувальних та стержньових сумішей. Зазвичай використовують кварцовий або цирконієвий пісок з кремнезему. Глина є єднальною речовиною, яка забезпечує міцність, пластичність та термічну стійкість. Широко застосовуються бентонітові та каолінові глини. Для попередження пригару та покращення чистоти поверхні відливків використовують протипригарні матеріали (для сирих форм-припили; для сухих форм-фарби). В якості припилів використовують (для чавунних відливків-суміш оксиду магнію, деревинного вугілля, порошкоподібного графіту; для сталевих відливків-суміш оксиду магнію та вогнетривкої глини, пиловидний кварц). Протипригарні фарби представляють собою водні суспензії цих матеріалів з додатками єднальних компонентів. Суміші повинні володіти рядом властивостей. Міцність - здатність суміші забезпечувати збереження форми без руйнування при виготовленні та експлуатації. *Поверхнева міцність* - опір стираючій дії струменя металу при заливці. *Пластичність* - здатність сприймати контур моделі і зберігати отриману форму. *Податливість* - здатність суміші зменшуватися в об'ємі під дією усадки сплаву. *Текучість* - здатність суміші обтікати моделі при формуванні, заповнювати порожнину стержньового ящика. *Термохімічна стійкість* - здатність суміші витримувати високу температуру сплаву без оплавлення або хімічної взаємодії з ним. *Негігроскопічність* - здатність після сушки не поглинати вологу з повітря. *Довговічність* - здатність зберігати свої властивості при багатократному використанні. По характеру використання розрізняють облицювальні, наповнювальні та єдині суміші. Облицювальна - використовується для виготовлення робочого шару форми. Містить підвищену кількість вихідних формувальних матеріалів і має високі фізико-механічні властивості. *Наповнювальна* - використовується для наповнення форми після нанесення на модель облицювальної суміші. Готується шляхом переробки оборотної суміші з малою кількістю вихідних формувальних

матеріалів. Облицювальна і наповнювальна суміші необхідні для виготовлення крупних та складних відливків. *Єдина* - застосовується одночасно як облицювальна і наповнювальна. Використовують при машинному формуванні і на автоматичних лініях в серійному і масовому виробництві. Виготовляється з найбільш вогнетривких пісків та глин з найбільшою єднальною здатністю для забезпечення довговічності. Приготування формувальних сумішей. Спочатку готують пісок, глину і інші вихідні матеріали. Пісок сушать і просіюють. Глину сушать, подрібнюють, розмелюють в кулькових млинах або бігунах і просіюють. Аналогічно отримують вугільний порошок. Готують оборотну суміш. Оборотну суміш після вибивки з опок розминають на гладких валках, очищають від металевих часток в магнітному сепараторі та просіюють. Приготування формувальної суміші включає декілька операцій: перемішування компонентів суміші, зволоження і розпушування. Перемішування здійснюється в змішувачах-бігунах з вертикальними або горизонтальними катками. Пісок, глину, воду та інші складові завантажують за допомогою дозатора, перемішування здійснюється під дією катків і плужків, що подають суміш під катки. Готова суміш витримується в бункерах-відстійниках протягом 2,5 годин, для розподілу вологи та утворення водних оболонок навкруги глинястих часток. Готову суміш розпушують в спеціальних пристроях та подають на формування. Стержньова суміш. Стержньові суміші відповідають умовам технологічного процесу виготовлення ливарних стержнів, які випробовують теплові та механічні дії. Вони повинні мати більш високі вогнетривкість, газопроникність, податливість, легко вибиватися з відливка. *Вогнетривкість* - здатність суміші і форми чинити опір розтягуванню або розплавленню під дією температури розплавленого металу. *Газопроникність* - здатність суміші пропускати через себе гази (пісок сприяє її підвищенню). Залежно від способу виготовлення стержнів суміші розділяють: на суміші із затвердінням стержнів тепловою сушкою в оснащенні, що нагрівається; рідкі самотвердіючі; рідкі холоднотвердіючі суміші на синтетичних смолах; рідкостекольні суміші, твердіючі вуглекислим газом. Приготування стержньових сумішей здійснюється перемішуванням компонентів протягом 5... 12 хвилин з

подальшим вистоюванням в бункерах. У сучасному ливарному виробництві виготовлення сумішей здійснюється на автоматичних лініях. *Види браку та контроль якості відливків.* Причинами браку відливків можуть бути властивості вихідних матеріалів, а також порушення технології виготовлення форм та стержнів, виготовлення рідкого металу та заливки форм. Основними видами браку відливків є:

1) Газові раковини-пузири повітря або газів в тілі відливки, які мають чисту гладку поверхню округленої форми. Утворюються при недостатній газопроникненості, підвищеної вологості формувальних та стержньових сумішей або занадто ущільненої набивки форми.

2) Піщані та шлакові раковини-відкриті чи закриті порожнини в тілі відливки, заповненні формувальною сумішшю або шлаком.

3) Усадочні раковини, рихлість та пористість-відкриті або закриті порожнини в тілі відливки, які мають нерівну поверхню. Утворюються в стовщених місцях відливки, а також при неправильному підводі металу в форму, або з занадто високої металу, що заливається (сильний перегрів збільшує об'ємну усадку).

4) Холодні тріщини-розриви тіла відливка значної довжини. Утворюються при охолодженні відливки в області невисоких температур та тому мають світлу поверхню. Причини: внутрішні напруження спричинені різною швидкістю охолодження різних перерізів відливки; ушкодження при вибиванні, обрубунні та очищенні відливків.

5) Гарячі тріщини-розриви тіла відливки невеликої довжини. Виникають при високих температурах, тому мають темну окислену поверхню. Причини: недостатня податливість стержнів та форми; недостатня витримка відливків в формі перед вибиванням.

6) Заливи-тонкі, непередбачені кресленням, виступи на відливку повздовж роз'єднання форми. Утворюються при недостатньому навантаженні форми.

7) Недолив-неповна відливка. Причини: погана рідкотекучість металу; низька температура заливки; невеликий переріз живильників; втрачання

розплаву з форми. Виправлення браку відливків проводять наплавленням, заварюванням, замазуванням мастиками та пропиткою. Наплавлення та заварювання застосовуються для виправлення дефектів в відливках, призначених для великих навантажень. Застосовують газове та електричне наплавлення та заварювання. Для попередження утворення тріщин відливку попередньо нагрівають до 350.600°C, та після заварювання повільно охолоджують. Виправлення дефектів замазками або мастиками є суто декоративним та припускається на невідповідальних відливках. Після заповнення дефектів мастикою це місце згладжують, висушують та затирають пемзою, графітом або коксом. В останній час застосовують замазку з стіракрілу, змішаного з чавунною стружкою з додаванням ефіру. Така замазка твердіє при нормальній температурі за 3.4 години. Пропиткою виправляють пористість відливків, які підвертаються гідравлічним випробуванням. Відливки завантажують на 8.12 годин у водний розчин нашатирю. Проникаючи між зернами металу, розчин утворює окисли, які заповнюють пори відливки. Застосовують пропитку під тиском розчином мідного купоросу, рідкого скла або бакелітовим лаком (для кольорового литва).

4.4. Спеціальні методи литва

У сучасному ливарному виробництві усе більш широке застосування отримують спеціальні способи литва: у оболонкові форми, по моделях, що виплавляються, кокільне, під тиском, відцентрове та інші. Ці способи дозволяють отримувати відливання підвищеної точності, з малою шорсткістю поверхні, мінімальними припусками на механічну обробку, а інколи повністю виключають їх, що забезпечує високу продуктивність праці. Кожен спеціальний спосіб литва має свої особливості, що визначають сфери застосування. *Виготовлення відливків в металевих формах.* Литво в металеві форми (кокілі) набуло широкого застосування. Цим способом отримують більше 40% всіх відливків з алюмінієвих та магнієвих сплавів, відливки з чавуну й сталі. *Литво в кокіль-виготовлення відливків з розплавленого металу в металевих формах - кокілях.* Формування відливки відбувається при інтенсивному відведенні теплоти від розплавленого металу, від відливки, що твердіє й охолоджується,

до масивного металевого кокілю, що забезпечує вищі щільність металу та механічні властивості, чим у відливків, отриманих в піщаних формах. Схема отримання відливків в кокілі наведена на рис. 4.1. Робочу поверхню кокілю з вертикальною плоскістю роз'єму, що складається з піддону 1, двох симетричних напівформ 2 та 3 и металевого стержня 4, попередньо нагріту до температури 150...180°C покривають з пульверизатора 5 шаром вогнетривкого покриття (рис. 4.1, а) товщиною 0,3...0,8 мм. Покриття оберігає робочу поверхню кокілю від різкого нагріву та сплавлення з відливкою. Покриття готують з вогнетривких матеріалів (тальк, крейда, графіт), еднального матеріалу (рідке скло) та води.

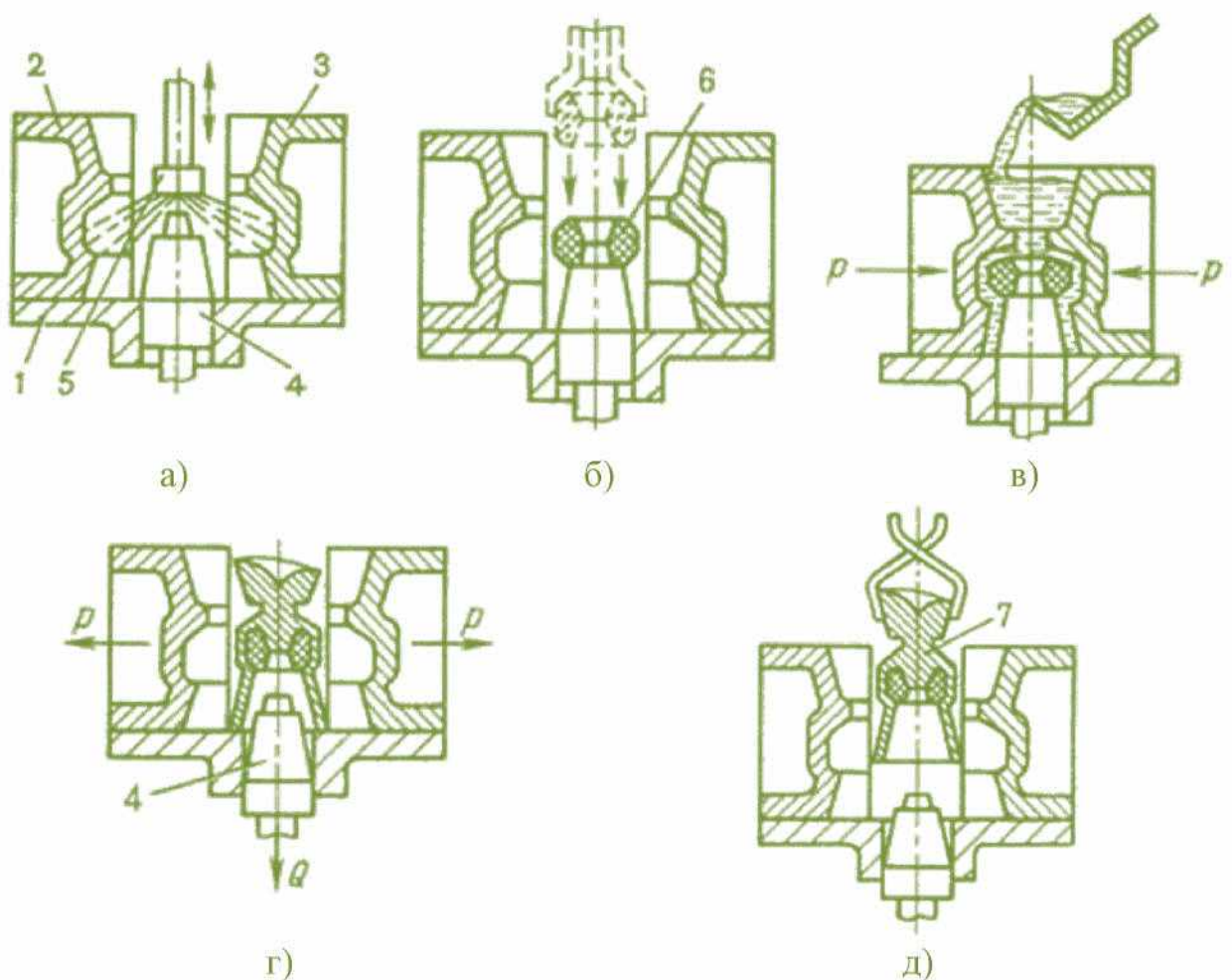


Рис. 4.1. Технологічні операції виготовлення відливки в кокілі

Потім за допомогою маніпулятора встановлюють піщаний стержень 6, за допомогою якого у відливки виконується порожнина (рис. 4.1, б). Половинки кокілю з'єднують та заливають розплав. Після затвердіння відливки 7 (рис. 4.1, в) та охолодження її до температури вибивання кокіль розкривають (рис.

4.1, г) та протягують вниз металевий стержень 4. Відливка 7 видаляється маніпулятором з кокілю (рис. 4.1, д). Відливки простої конфігурації виготовляють в нероз'ємних кокілях, нескладні відливки з невеликими виступами та западинами на зовнішній поверхні (в кокілях з вертикальним роз'ємом).

Крупні, прості по конфігурації відливки отримують в кокілях з горизонтальним роз'ємом. При виготовленні складних відливок застосовують кокілі з комбінованим роз'ємом. Розплавлений метал у форму підводять зверху, знизу (сифоном), збоку. Для видалення повітря та газів по площині роз'єму прорізають вентиляційні канали.

Всі операції технологічного процесу литва в кокіль механізовані та автоматизовані. Використовують однопозиційні та багатопозиційні автоматичні кокільні машини. Литво в кокіль застосовують в масовому та серійному виробництвах для виготовлення відливок з чавуну, сталі й сплавів кольорових металів з товщиною стінки 3...100 мм, масою від декількох грамів до декількох сотень кілограмів. Литво в кокіль дозволяє скоротити або уникнути витрати на формувальні та стержньові суміші, трудомістких операцій формування та вибивання форм, підвищити точність розмірів та понизити шорсткість поверхні, поліпшити механічні властивості.

Недоліки кокільного литва: висока трудомісткість виготовлення кокілів, їх обмежена стійкість, складність виготовлення складних по конфігурації відливок. *Литво під тиском.* Литвом під тиском отримують відливки в металевих формах (прес-формах), при цьому заливку металу у форму та формування відливки здійснюють під тиском. Відливки отримують на ливарних машинах під тиском з холодною або гарячою камерою пресування. У машинах з холодною камерою пресування камери розташовуються горизонтально, або вертикально.

На машинах з горизонтальною холодною камерою пресування (рис. 4.2) розплавлений метал заливають в камеру пресування 4 (рис. 4.2, а). Потім метал плунжером 5, під тиском 40... 100 мПа, подається в порожнину прес-форми

(рис. 4.2, б), що складається з нерухомої 3 та рухомої 1 напівформ. Внутрішню порожнину у відливки отримують стержнем 2. Після затвердіння відливки прес-форма розкривається, стержень 2 витягується (рис. 4.2, в) та відливка 7 виштовхувачами 6 видаляється з робочої порожнини прес-форми.

Перед заливкою прес-форму нагрівають до 120...320°C. Після видалення відливки робочу поверхню прес-форми обдувають повітрям та змащують спеціальними матеріалами для запобігання приварювання відливки. Повітря та газу видаляються через канали, розташовані в плоскості роз'єму прес-форми або вакуумуванням робочої порожнини перед заливкою металу.

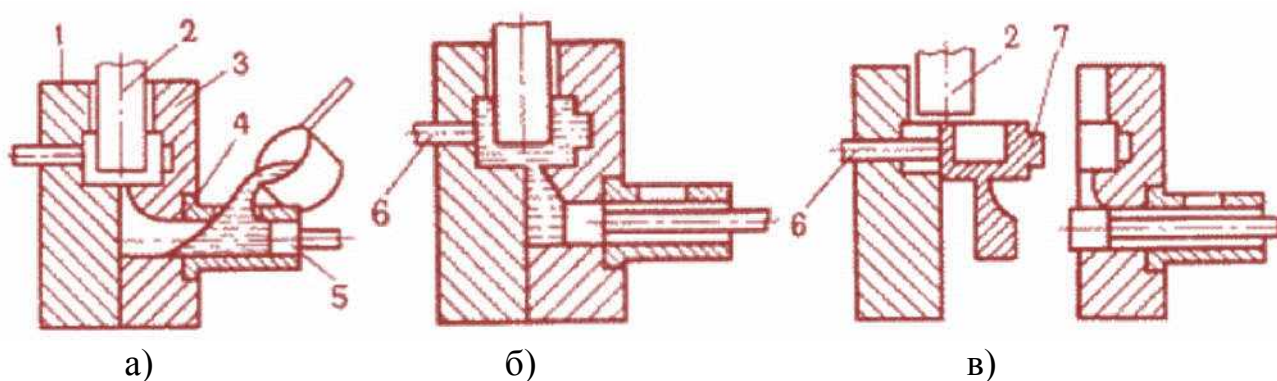


Рис. 4.2. Технологічні операції виготовлення відливок на машинах з горизонтальною холодною камерою пресування

Такі машини застосовують для виготовлення відливок з мідних, алюмінієвих, магнієвих та цинкових сплавів масою до 45 кг. На машинах з гарячою камерою пресування (рис. 6.3) камера пресування 2 розташована в тиглі 1, що обігрівается розплавленим металом. При верхньому положенні плунжера 3 метал через отвір 4 заповнює камеру пресування. При русі плунжера вниз отвір перекривається, сплав під тиском 10.30 мПа заповнює порожнину прес-форми 5. Після затвердіння відливки плунжер повертається у вихідне положення, залишки розплавленого металу зливаються в камеру пресування, а відливка видаляється з прес-форми виштовхувачами 6. Отримують відливки з цинкових та магнієвих сплавів масою від декількох грамів до 25 кг.

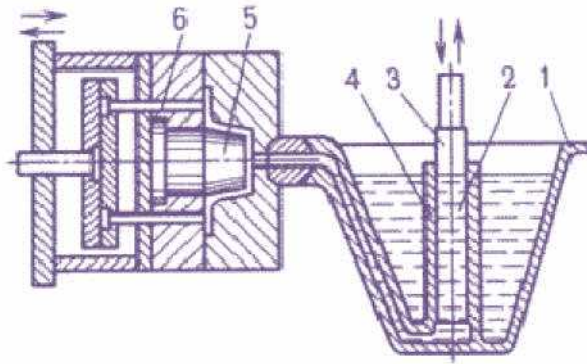


Рис. 4.3. Схема виготовлення відливки на машинах з гарячою камерою пресування

При литві під тиском температура заливки сплаву вибирається на $10...20^{\circ}\text{C}$ вище за температуру плавлення. Литво під тиском використовують в масовому та крупносерійному виробництвах відливків з мінімальною товщиною стінок $0,8$ мм, з високою точністю розмірів та малою шорсткістю поверхні, за рахунок ретельного полірування робочої порожнини прес-форми, без механічної обробки або з мінімальними припусками, з високою продуктивністю процесу. Недоліки: висока вартість прес-форми та устаткування, обмеженість габаритних розмірів та маси відливків, наявність повітряної пористості в масивних частинах відливків. *Литво за випалюваними моделями. Литво по моделях, що виплавляються-процес* здобуття відливків з розплавленого металу у формах, робоча порожнина яких утворюється завдяки видаленню (витіканню) легкоплавкого матеріалу моделі при її попередньому нагріванні. Технологічні операції процесу литва по моделях, що виплавляються, представлені на рис. 4.4.

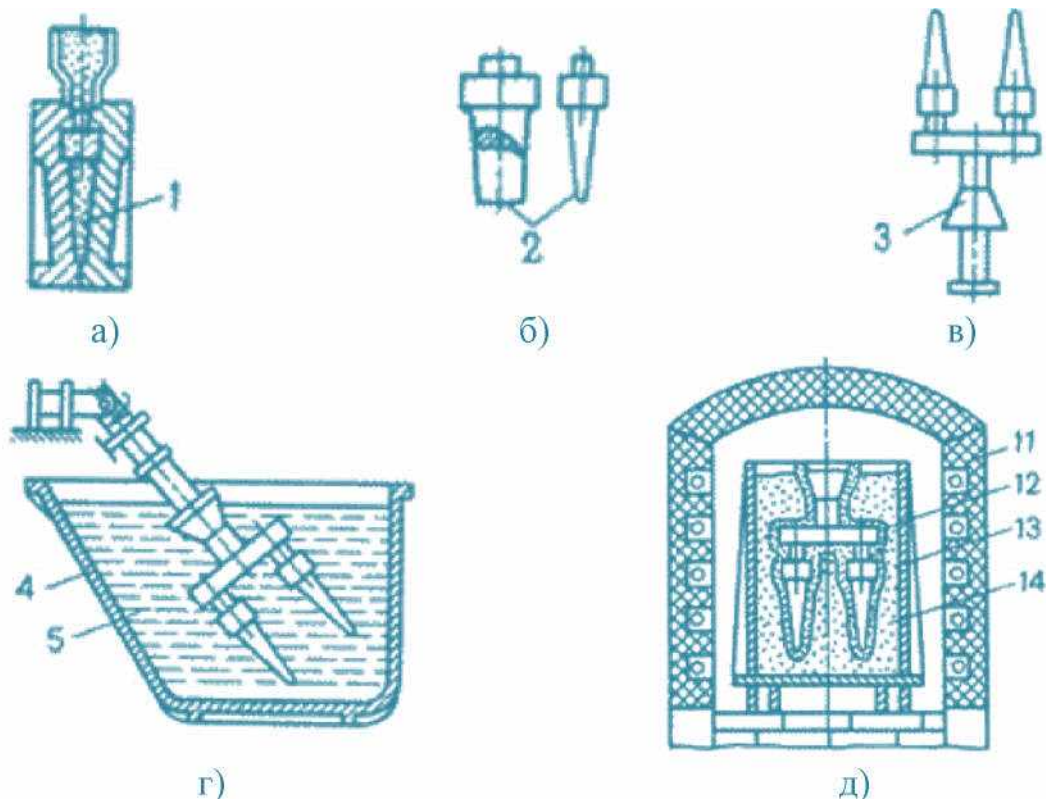


Рис. 4.4. Технологічні операції процесу литва по моделях, що виплавляються

Моделі, що виплавляються, виготовляють в прес-формах 1 (рис. 4.4, а) з модельних сумішей, що включають парафін, віск, стеарин, жирні кислоти. Склад добре заповнює порожнину прес-форми, дає чіткий відбиток. Після затвердіння модельного складу прес-форма розкривається та модель 2 (рис. 4.4, б) виштовхується в холодну воду. Потім моделі збираються в модельні блоки 3 (рис. 4.4, в) із загальною системою ливника припаюванням, приклеюванням або механічним кріпленням. В один блок об'єднують 2.100 моделей. Форми виготовляють багатократним зануренням модельного блоку 3 в спеціальну рідку вогнетривку суміш 5, налиту в ємність 4 (рис. 4.4, г) з подальшим обсипанням кварцовим піском. Потім модельні блоки сушать на повітрі або в середовищі аміаку. Зазвичай наносять 3.5 шарів вогнетривкого покриття з подальшою сушкою кожного шару. Моделі з форм видаляють, занурюючи в гарячу воду або за допомогою нагрітої пари. Після видалення модельного складу тонкостінні ливарні форми встановлюються в опоці, засипаються кварцовим піском, а потім витримують в печі протягом 6.8 годин при температурі 850.950⁰С для видалення залишків модельного складу, випару

води (рис. 4.4, д). Заливку форм по моделях, що виплавляються, проводять відразу після витримання в нагрітому стані. Заливка може бути вільною, під дією відцентрових сил, у вакуумі та ін. Після затвердіння залитого металу та охолодження відливки форма руйнується, відливку відокремлюють від ливників механічними методами, направляють на хімічне очищення, промивають та піддають термічній обробці. Литво по моделях, що виплавляються, забезпечує отримання точних та складних відливків з різних сплавів масою 0,02-15 кг з товщиною стінки 0,5-5 мм. Недоліком є складність та тривалість процесу виробництва відливків, застосування спеціального дорогого оснащення. Литвом по моделях, що виплавляються, виготовляють деталі для приладобудівної, авіаційної та інших галузей промисловості. Використовують при литві жароміцних важкооброблюваних сплавів (лопатки турбін), корозійностійких сталей, вуглецевих сталей в масовому виробництві (автомобільна промисловість). Технологічний процес автоматизований та механізований. *Литво в оболонкові форми. Литво в оболонкові форми-процес* отримання відливків з розплавленого металу у формах, виготовлених по гарячому модельному оснащенню із спеціальних піщано-смоляних сумішей. Формувальну суміш готують з дрібного кварцового піску з додаванням термореактивних еднальних матеріалів. Технологічні операції формування при литві в оболонкові форми представлені на рис. 4.5.

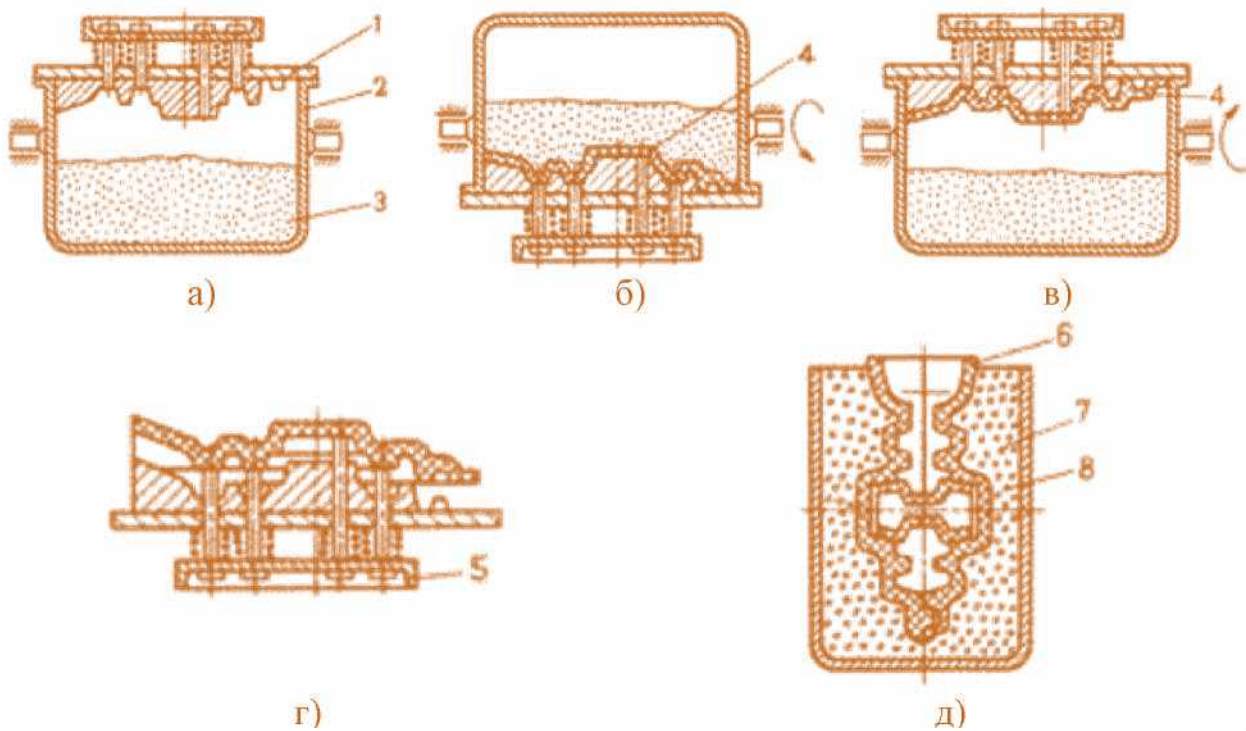


Рис. 4.5. Технологічні операції формування при литві в оболонкові форми
 Металеву модельну плиту 1 з моделлю нагрівають в печі до 200...250°С.

Потім плиту 1 закріплюють на бункері 2, що перевертається з формувальною сумішшю 3 (рис. 4.5, а) та повертають на 180° (рис. 4.5, б). Формувальну суміш витримують на плиті 10.30 секунд. Під дією теплоти, яка виділяється від модельної плити, термореактивна смола в приграничному шарі розплавляється, склеює піщинки та твердіє з утворенням піщано-смоляної оболонки 4, завтовшки 5.15 мм. Бункер повертається у вихідне положення (рис. 4.5, в), надлишки формувальної суміші обсипаються з оболонки. Модельна плита з напівтвердою оболонкою 4 знімається з бункера та прогрівається в печі при температурі 300.350° С, при цьому смола переходить в твердий стан. Тверда оболонка знімається з моделі за допомогою виштовхувачів 5 (рис. 4.5, г). Аналогічним чином отримують другу напівформу. Для отримання форми напівформи склеюють або скріплюють іншими способами (за допомогою скоб). Зібрані форми невеликих розмірів з горизонтальною плоскістю роз'єму кладуть на шар піску. Форми з вертикальною плоскістю роз'єму 6 та крупні форми для оберігання від скривлення та передчасного руйнування встановлюють в контейнери 7 та засипають чавунним дробом 8 (рис. 4.5, д). Литво в оболонкові форми забезпечує високу геометричну точність відливків, малу шорсткість поверхонь, знижує витрату формувальних матеріалів (висока міцність оболонок дозволяє виготовляти форми тонкостінними) та об'єм механічної обробки, є

високопродуктивним процесом. У оболонкових формах виготовляють відливки масою 0,2-100 кг з товщиною стінки 3-15 мм зі всіх ливарних сплавів для приладів, автомобілів, металорізальних верстатів. *Відцентрове литво*. При відцентровому литві сплав заливається у форми, що обертаються. Формування відливки здійснюється під дією відцентрових сил, що забезпечує високу щільність та механічні властивості відливок. Відцентровим литвом виготовляють відливки в металевих, піщаних, оболонкових формах та формах для литва по моделях, що виплавляються, на відцентрових машинах з горизонтальною та вертикальною віссю обертання. Металеві форми виливниці виготовляють з чавуну та сталі. Товщина виливниці в 1,5-2 рази більше товщини відливки. В процесі литва виливниці зовні охолоджують водою або повітрям. На робочу поверхню виливниці наносять теплозахисні покриття для збільшення терміну їх служби. Перед роботою виливниці нагрівають до температури 200°C. Схеми процесів виготовлення відливок відцентровим литвом представлені на рис. 4.6.

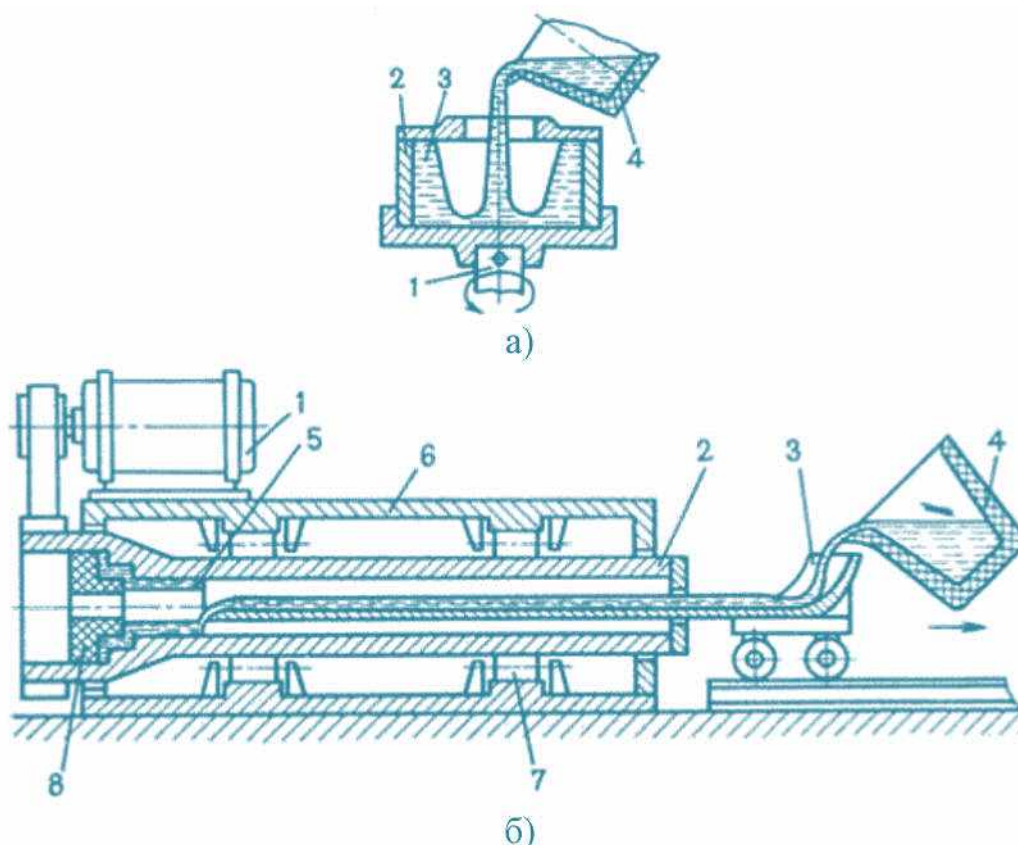


Рис. 4.6. Схеми процесів виготовлення відливок відцентровим литвом

При отриманні відливок на машинах з обертанням форми докола вертикальної осі (рис. 4.6, а) метал з ковша 4 заливають у форму 2, що обертається, закріплену на шпинделі 1, який обертається від електродвигуна.

Під дією відцентрових сил метал притискається до бічної стінки виливниці. Ливарна форма обертається до повного затвердіння відливки. Після зупинки форми відливка 3 видаляється. Відливки мають різні стінки по висоті (більш товщий переріз в нижній частині). Застосовують для отримання відливоків невеликої висоти, коротких втулок, кілець, фланців. При отриманні відливоків типу тіл обертання великої довжини (труби, втулки) на машинах з горизонтальною віссю обертання (рис. 4.6, б) виливницю 2 встановлюють на опорні ролики 7 та закривають кожухом 6. Виливниця приводиться в рух електродвигуном 1. Розплавлений метал з ковша 4 заливають через жолоб 3, який в процесі заливки металу переміщується, що забезпечує отримання рівностінної відливки 5. Для утворення разтруба труби використовують піщаний або оболонковий стержень 8. Після затвердіння металу готову відливку витягують спеціальним пристосуванням. Швидкість обертання форми залежить від діаметру відливки та щільності сплаву, визначається по формулі

$$n > \frac{5520}{\sqrt{\gamma \times r}}, \quad (4.1)$$

де: γ -густина сплаву; r -внутрішній радіус відливки.

Відцентровим литвом виготовляють відливки з чавуну, сталі, сплавів титану, алюмінію, магнію та цинку (труби, втулки, кільця, підшипники кочення, бандажі залізничних та трамвайних вагонів). Маса відливоків від декількох кілограмів до 45 тонн. Товщина стінок від декількох міліметрів до 350 мм. Відцентровим литвом можна отримати тонкостінні відливки із сплавів з низькою текучістю, що неможливо зробити при інших способах литва. *Недоліки:* наявність усадочної пористості, лікватів та неметалічних включень на внутрішніх поверхнях; можливість утворення дефектів у вигляді повздовжніх й поперечних тріщин, газових пузирів. *Переваги:* здобуття внутрішніх порожнин трубних заготовок без застосування стержнів, економія сплаву за рахунок відсутності ливникової системи, можливість здобуття двошарових заготовок, що виходить почерговою заливкою у форму різних сплавів (сталь-чавун, чавун-бронза). Використовують автоматичні та багатопозиційні карусельні машини з управлінням від ЕОМ.

ЛЕКЦІЯ №5. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

План лекції

- 5.1. Інструментальні вуглецеві сталі
- 5.2. Леговані інструментальні сталі
- 5.3. Швидкорізальні інструментальні сталі
- 5.4. Тверді металокерамічні сплави
- 5.5. Мінералокерамічні тверді сплави
- 5.6. Надтверді інструментальні матеріали

5.1. Інструментальні вуглецеві сталі

Сталі інструментальні нелеговані (вуглецеві) бувають якісні і високоякісні. Масова частка шкідливих домішок у якісних сталях не більше ніж 0,030 % фосфору й не більше ніж 0,028% сірки, а у високоякісних сталях - не більше ніж 0,025 % фосфору й не більше ніж 0,018% сірки.

Марки інструментальних вуглецевих сталей позначають літерою **У** (вуглецева) і числами, що означають масову частку вуглецю у десятих долях відсотка (У7, У12). В сталі У7 маємо в середньому 0,7 % вуглецю, а в сталі У12 — 1,2 %. За підвищеної кількості марганцю у сталі після числа дописують літеру **Г** (У8Г). Високоякісні сталі позначають літерою **А** (У8А, У12А).

Інструменти для різання металів працюють в умовах високого тиску, температури й тертя. Щоб ефективно їм протистояти, ці матеріали повинні мати високу твердість, зносостійкість, теплостійкість і міцність.

Твердість різальної частини інструмента має значно перевищувати твердість оброблюваного матеріалу.

Зносостійкість — це здатність інструмента якомога довше протистояти поступовому його руйнуванню з боку матеріалу заготовки. Внаслідок такого руйнування різальний інструмент затуплюється. Що твердіший матеріал інструмента, то вищою буде його зносостійкість.

Теплостійкістю називають температуру, при нагріванні до якої твердість інструмента починає стрімко знижуватись внаслідок структурних змін.

Міцність різального інструмента повинна бути достатньою, щоб сприймати великі сили різання.

Із сталей У7, У7А виготовляють інструменти для обробки дерева (сокири, стамески, долота) та ударні інструменти (пуансони, молотки, зубила). Для виготовлення деревообробних інструментів (фрез, пил, свердл) використовують сталі У8, У8А, У8Г, У8ГА, У9, У9А.

Із сталей У10, У10А, У12, У12А виготовляють металообробний інструмент, що працює при невисоких температурах (мітчики, плашки, штампи, вимірювальні інструменти).

Із сталей У12, У12А, У13, У13А виготовляють напилки, шабери.

5.2. Леговані інструментальні сталі

Це вуглецеві інструментальні сталі, леговані хромом (Х), вольфрамом (В), ванадієм (Ф), кремнієм (С), нікелем (Н), марганцем (Г), молібденом (М) та іншими легуючими елементами. Цифри попереду марки сталі вказують на вміст вуглецю в десятих долях % (інколи вміст вуглецю вказується в сотих долях %), цифри після відповідних літер вказують на вміст легуючих елементів у %. При відсутності цифри вміст вуглецю, або легуючих елементів становить близько 1 %. Так в сталі 9ХС близько 0,9 % вуглецю та близько 1 % хрому і 1 % кремнію. Термообробка включає гартування при температурі 810...870°С та низькотемпературний відпуск. Структура після термообробки – легований мартенсит, карбіди та залишковий аустеніт. Після термічної обробки леговані інструментальні сталі мають твердість 62...65 HRC і теплостійкість 250...350 °С.

Сталі 9ХС та 95ХГСВФ використовують для виготовлення мітчиків, плашок, дрібних свердл, зенкерів, розверток, дрібних фрез. Сталь ХВ5 після термообробки має твердість 70 HRC, але її теплостійкість становить 150 °С. Тому інструменти з цієї сталі рекомендуються для обробки високоміцних матеріалів на низьких швидкостях різання. Сталь ХВГ має високу здатність до гартування і використовується для виготовлення протяжок, довгих мітчиків та довгих розверток. Сталі Х12, Х12М, Х6ВФ мають високу зносостійкість і

використовуються для виготовлення дрібних фрез, інструментів для обробки отворів, мітчиків і плашок. Для виготовлення мітчиків і плашок використовуються також сталі 11Х, 11ХФ. Сталі Х, В2Ф, 13Х використовуються для виготовлення слюсарних інструментів.

5.3. Швидкорізальні інструментальні сталі

Основним легуючим елементом цих сталей є вольфрам (6...18 %). Також ці сталі мають 0,7...1,55% вуглецю та 3...4,6% хрому. Додатково швидкорізальні сталі легують молібденом (М), кобальтом (К), ванадієм (Ф), титаном (Т), цирконієм (Ц). Швидкорізальні сталі позначаються літерою Р (рапід – швидкорізальний). Цифра попереду літери Р вказує на вміст вуглецю в десятих долях %, а цифра після літери Р вказує на вміст вольфраму у %. Вміст інших легуючих елементів вказується також у %, а вміст азоту (А) вказується в сотих долях %. Хром є обов'язковим легуючим елементом швидкорізальної сталі, але його вміст в марці не вказується. Так сталь Р6М5 містить близько 1 % вуглецю, 6 % вольфраму, 5 % молібдену та від 3 % до 4,6 % хрому. Точний хімічний склад та властивості швидкорізальних сталей визначається з довідників.

Термічна обробка швидкорізальних сталей залежить від марки сталі і складається з відпалу з повільним нагріванням до 800...860 °С та гартування з повільним нагріванням до 840...860 °С і швидким нагріванням до 1200...1300°С. Нагрівання можна проводити в розплавлених соляних ваннах. Охолодження проводиться в мінеральному маслі. Структура сталі складається із високолегованого мартенситу, первинних карбідів, що не перейшли в твердий розчин під час нагрівання, та залишкового аустеніту.

Для поліпшення структури сталі проводять 2...3-х разовий відпуск при 550...560 °С, в результаті чого залишковий аустеніт переходить в мартенсит. Твердість сталі зростає. З метою повного розпаду аустенітної структури та утворення мартенситної структури сталі можна проводити обробку швидкорізальних інструментів холодом при -75...-80 °С. Твердість

швидкорізальних сталей після термообробки становить 63...67 *HRC*, а теплостійкість підвищується до 615...650 °С.

Із сталей P9, P12, P18, P6M3, P6M5, P9M тощо виготовляються інструменти для обробки кольорових сплавів, чавунів, конструкційних вуглецевих та легованих сталей. Для обробки корозійностійких, жаростійких, високоміцних сталей і сплавів застосовуються інструменти, виготовлені із сталей P9K5, P9K10, P9Ф5, P12Ф3, P6M5K5, P9M4K8, P6M5Ф2K8, P12Ф4K5, P12Ф3K10M3.

В останні десятиліття все частіше отримують заготовки для інструментів із швидкорізальних сталей методом порошкової металургії. Дуже дрібні порошки компонентів вибраної марки сталі старанно перемішують, пресують і спікають при високій температурі. Сталі, виготовлені методом порошкової металургії, мають додаткове позначення МП, наприклад, P6M5K5МП.

Для виготовлення інструментів, які будуть працювати в тяжких умовах використовують також карбідосталі, до складу яких вводиться порошки тугоплавких карбідів (переважно *TiC*). В карбідосталях (P6M5-КТ20, P6M5K5-КТ20) поєднується висока твердість (70...72 *HRC*) з високою міцністю і в'язкістю легованих сталей.

5.4. Тверді металокерамічні сплави

Тверді металокерамічні сплави отримують шляхом пресування і спікання у вакуумі або в атмосфері водню карбіду вольфраму, карбіду титану, карбіду танталу з кобальтом при температурі 1500...2000 °С. Тверді сплави мають високу твердість і теплостійкість, що дозволяє підвищити швидкість різання в 2...4 рази в порівнянні з швидкорізальними сталями. Але ці сплави крихкі, тому їх частіше всього використовують у вигляді пластин для оснащення різальних інструментів (токарні та стругальні різці, зенкери і розвертки, фрези, а також інколи свердла та мітчики). В інструментальному виробництві застосовують вольфрамові (ВК), титано-вольфрамові (ТК) і титано-тантало-вольфрамові (ТТК) тверді сплави.

Вольфрамові тверді сплави (BK2, BK3, BK4, BK6, BK8, BK10) мають твердість до 91 HRA і теплостійкість 800...850 °С. Цифра після літери К вказує на вміст кобальту (зв'язуючий елемент). Так сплав BK4 має 4 % кобальту (Co) та 96 % карбіду вольфраму (WC). Від розміру зерен карбідів і вмісту кобальту залежать фізико-механічні властивості вольфрамових твердих сплавів. Сплави з малим вмістом кобальту (BK2, BK3, BK4) мають високу твердість і високу зносостійкість, але невисоку міцність, тому рекомендуються для чистової обробки. Зі збільшенням вмісту кобальту міцність сплаву зростає, але знижується зносостійкість і твердість, тому сплави з підвищеним вмістом кобальту (BK6, BK8, BK10) використовуються для чорнової обробки.

Вольфрамові тверді сплави рекомендується використовувати для обробки чавунів, кольорових металів та сплавів. При обробці сталей інструменти з цих сплавів швидко спрацьовуються і тому не рекомендуються. Виняток складають сплави BK6-M, BK6-OM, BK8, BK10-OM, які з успіхом застосовуються для обробки жаростійких і корозійностійких сталей та титанових сплавів. Для обробки жаростійких сталей і сплавів можна рекомендувати тверді сплави з особливодрібнозернистою структурою, які додатково леговані карбідами хрому (BK10X-OM, BK15X-OM).

Титано-вольфрамові тверді сплави (T30K4, T15K6, T14K8, T5K10, T5K12) складаються з карбіду вольфраму і карбіду титану та зв'язуючого елементу - кобальту. Так сплав T15K6 містить 6 % кобальту (Co), 15 % карбіду титану (TiC) і 79 % карбіду вольфраму (WC). Теплостійкість сплавів ТК 850...900°С, твердість 87...92 HRA. Ці сплави мають більшу зносостійкість, але їх міцність менша і вони більш крихкі. Застосовуються для обробки вуглецевих та легованих сталей. Сплави з низьким вмістом кобальту (T30K4, T15K6) рекомендуються для чистової обробки, а сплави з високим вмістом кобальту (T15K6, T14K8, T5K10, T5K12) – для чорнової обробки сталі.

Титано-тантало-вольфрамові тверді сплави (TT7K12, TT8K6, TT10K8, TT20K9) мають теплостійкість 750 °С і твердість 90...94 HRA. До складу цих сплавів входить також карбід танталу. Так сплав TT7K12 містить 12 % кобальту (Co), 7% карбіду титану і карбіду танталу (TiC + TaC) та 81 % карбіду

вольфраму. Сплави ТТК мають більш високу міцність та в'язкість, ніж сплави групи ТК, але поступаються їм за твердістю та теплостійкістю. Завдяки високій зносостійкості та ударній в'язкості сплави ТТК ефективні при чорновій обробці сталей та сплавів. Особливо ефективні сплави ТТК при обробці важкооброблюваних сталей і сплавів. Останнім часом для поліпшення характеристик сплавів ТТК до їх складу вводиться карбід ніобію (NbC).

Безвольфрамові тверді сплави – це сплави на основі карбїду титану (TiC), нітриду титану (TiN) і карбїду хрому (CrC), де в якості зв'язки використовується нікель і молібден. Ці сплави мають високу теплостійкість (до $1000\text{ }^{\circ}C$), але менш міцні порівняно зі сплавами ВК, тому ефективні при чистовому та напівчистовому точінні і фрезеруванні. Схильність до злипання з поверхнею заготовки невисока і нарїст на різцю під час обробки практично не утворюється. Інструменти, оснащені сплавами ТМ1, ТМ3, ТН20, КНТ16, КНТ20, КХН20, КХН30, КТС2М, забезпечують високу якість обробки, що дозволяє замінити шліфування чистовим точінням. Але ці сплави погано піддаються паянню і заточуванню, тому їх використовують у вигляді непереточуваних багатогранних пластин.

5.5. Мінералокерамічні тверді сплави

Застосування мінералокерамічних інструментальних сплавів в значній мірі вирішує проблему економії дефіцитного вольфраму. Зараз в розвинених країнах до 18 % різальних інструментів оснащуються пластинками з мінералокераміки. Різальна кераміка виготовляється на основі оксидів (головним чином Al_2O_3), нітридів (переважно Si_3N_4), або змішаною. З метою підвищення міцності до складу кераміки вводять оксиди цирконію та гафнію (ZrO_2 , HfO_2), карбід титану (TiC), нітрид титану (TiN) та інші тугоплавкі сполуки. Відповідно до складу кераміка поділяється на оксидну, оксидно-карбїдну та нітридну.

Корунд, або оксидну кераміку (Al_2O_3), отримують із глинозему в електропечах при температурі $1720\text{...}1750\text{ }^{\circ}C$, тому його прийнято називати електрокорундом. Електрокорунд, має теплостійкість до $1200\text{ }^{\circ}C$ і твердість до

90...94 HRA, але дуже крихкий. Для зміцнення оксидної кераміки вводиться оксид цирконію (ZrO_2). Сплави на основі Al_2O_3 використовуються у вигляді пластин переважно білого кольору для оснащення токарних різців, фрез, зенкерів, розверток тощо, які застосовують для чистової і напівчистової обробки вуглецевих та легованих сталей, в т. ч. важкооброблюваних. Сплавами на основі $Al_2O_3 + ZrO_2$ можна виконувати чорнову та чистову обробку різних сталей, чавунів та високоміцних сплавів. У вигляді окремих зерен електрокорунд використовується для виготовлення абразивних інструментів.

З метою підвищення міцності до складу оксидної кераміки вводять карбіди титану, кремнію, хрому тощо. Міцність такої оксидно – карбідної кераміки (ВОК-60, ВОК-63) зростає у 1,5...2 рази.

До складу нітридної (безоксидної) кераміки вводять карбід та нітрид титану, нітрид бору. Таку кераміку можна застосовувати для чистової обробки гартованих легованих сталей та для швидкісної обробки сталей.

Разом з тим пластини з мінералокераміки мають дещо меншу міцність на згин та меншу ударну в'язкість у порівнянні з пластинами із твердих сплавів. З метою усунення цього недоліку застосовують багатошарову кераміку. Наприклад, для виготовлення робочого шару пластин з кераміки ВОК-95С та ВОК-95М використовують ВОК-63, ВОК-71, а перший або проміжний шар виготовляють з твердого сплаву.

5.6. Надтверді інструментальні матеріали

Самим твердим інструментальним матеріалом є *алмаз*. В інструментальному виробництві він використовується для оснащення лезових та абразивних інструментів. При виготовленні лезових інструментів необхідно враховувати анізотропність алмазу, тобто різну величину міцності і твердості в різних напрямках кристалу. Крім високої твердості алмаз має високу зносостійкість, добру теплопровідність і малий коефіцієнт тертя.

Тонке точіння алмазними різцями може забезпечити шорсткість поверхні до $Ra = 0,025$ мкм. Разом з цим він дуже крихкий і дорогий. Інструменти,

оснащені алмазом, найбільш доцільно застосовувати для тонкого точіння і розточування кольорових сплавів та пластмас.

Для виготовлення інструментів частіше використовуються штучні алмази, які мають значно меншу вартість. Синтетичні алмази АСБ – *баллас* (АСБ-5, АСБ-6) рекомендуються для обробки кольорових сплавів з підвищеним вмістом кремнію, склопластиків, пластмас. Так при обробці склопластиків зносостійкість балласу в 70...80 разів вища зносостійкості твердих сплавів ВК2, ВК3М. Балласи використовують для оснащення різців, свердл, фрез та для виготовлення абразивних інструментів. Синтетичні алмази АСПК – *карбонадо* (АСПК-1, АСПК-2, АСПК-3) рекомендуються для обробки особливоміцних сплавів. Монокристалеві алмази САМ високоефективні при обробці напівпровідникових матеріалів, радіотехнічної кераміки, кольорових сплавів з високим вмістом кремнію.

Кубічний нітрид бору (КНБ) по твердості близький до синтетичних алмазів і має теплостійкість в два рази вищу ніж в алмазів (до 1600 °С). На основі КНБ створені композиційні інструментальні матеріали (композити). Так композит 01 (*ельбор-Р*), композит 02 (*бельбор*), композит 10 (*гексаніт-Р*) мають масову частку КНБ не менше 95 %. Композит 05 має 40...50 % КНБ та 50–60 % Al_2O_3 , ZrO_2 та інші. Композити використовуються для виготовлення абразивних інструментів, які призначені для обробки високоміцних і жаростійких сталей та сплавів, доводки твердосплавних інструментів після заточування і для оснащення лезових інструментів.

Композити є якісно новим інструментальним матеріалом. Чим вище твердість оброблюваного матеріалу, тим більш ефективно застосування різців і фрез, оснащених композитами. Враховуючі те, що лезові інструменти з композитів можуть працювати з глибиною різання до 5 мм, певний припуск можна зрізувати після термічної обробки. Це важливо для деталей, схильних до деформацій під час термообробки.

Інструменти, оснащені композитом, можуть працювати з високими швидкостями різання, що дає можливість значно підвищити продуктивність

праці. При цьому різці з композитів забезпечують шорсткість обробленої поверхні $R_a < 0,63 \dots 1,25 \text{ мкм}$ і 7...8 квалітети точності.

Шляхом спікання *КНБ*, AlB_2 , Al_2N , Al_2O_3 з жароміцними сплавами отримують композиційний матеріал **киборит**, який забезпечує точіння чавунів, гартованих і високолегованих сталей без подальшого шліфування.

Лекція 6. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ГУМОВИХ ВИРОБІВ. ВИРОБИ ІЗ ДЕРЕВИНИ

План.

1. Поняття про гуму.
2. Класифікація гуми.
3. Одержання каучуку.
4. Поняття про технологічний процес виготовлення гумових виробів.
5. Старіння гуми. Зберігання та відновлення гумових виробів.
6. Скло і керамічні вироби.
7. Дерев'яні матеріали. Шкіра та її замітники.

Зараз немає жодної галузі народного господарства, в якій би обходилися без гумових або гумово-тканинних виробів.

Першість належить промисловості. Але виготовляється й широкий асортимент таких виробів для медицини. Це пояснюється тим, що гума має комплекс цінних експлуатаційних властивостей: *економічність, газонепроникність, елек троізолюючі властивості, механічну міцність тощо.*

6.1. Поняття про гуму

Гума (лат. гезіпа — смола) — продукт вулканізації каучуку. Вона являє собою композиційний матеріал — гумову суміш, що містить до 15—20 інгредієнтів, які виконують різноманітні функції.

З гуми виготовляється велика номенклатура виробів медичного призначення: предмети санітарії та гігієни, догляду за хворими, закупорювальні засоби, засоби для захисту від рентгенівських променів і багато іншого.

Основні технічні характеристики будь-яких видів натурального і синтетичного каучуку впливають з їх експлуатаційних властивостей, що виявляються у процесі виготовлення гумових виробів.

До експлуатаційних властивостей каучуку належать механічні властивості (межа міцності при розтягуванні, зносостійкість, опір розриванню, комплекс характеристик пластичності), а також фізичні й хімічні властивості

(тепло- і морозостійкість, світло-, озono-, масло- і бензостійкість, газонепроникність, стійкість до дії агресивних середовищ, до старіння, діелектричні властивості, питома вага і т. д.).

6.2. Класифікація гуми

Залежно від умов експлуатації, в яких гума зберігає високоеластичні властивості, розрізняють такі **групи гум**:

- загального призначення, що експлуатуються при температурах від 50 до 150 °С;
- теплостійкі, призначені для тривалої експлуатації при 150—200 °С;
- морозостійкі, придатні для тривалої експлуатації при температурі нижче 50 °С;
- масло- і бензостійкі;
- стійкі до дії агресивних середовищ;
- радіаційно стійкі (рентгенозахисні).

До технологічних властивостей сирих каучуків відносять їх пластичність, здатність до пластифікації, змішування, до подальшої переробки, а також клейкість, усадку, здатність до вулканізації тощо.

6.3. Одержання каучуку

Натуральний каучук (НК) — полімер рослинного походження, вулканізацією якого одержують гуму.

Товарний каучук одержують із молочного соку (латексу) гевеї бразильської, що росте на плантаціях Індонезії, Індокитаю, Цейлону та деяких країн Африки.

Латекс — молочно-біла рідина, що являє собою полідисперсну колоїдну систему, яка містить 34—37 % каучуку, 52— 60 % води, 2—2,7 % білків, 1,65—3,4 % смол, 1,5—4,2 % цукру і 0,2—0,7 % мінеральних солей. Склад латексу залежить від віку дерева, кліматичних умов, часу добування.

На місці добування латекс перемішують і коагулюють, додаючи в нього розведену мурашину або оцтову кислоту. Отриманий продукт (гель) промивають водою, прокочують на вальцях у листи, сушать, коптять або

відбілюють і від- правляють споживачеві.

Синтетичні каучуки (СК), одержувані шляхом синтезу, поділяють на органічні, що складаються в основному з вуглеводнів або їх похідних; елементоорганічні, до макромолекул яких входять атоми силіцію, кисню, сульфуру, стануму й ін., а бічні ланцюги містять карбонові групи; і неорганічні — що не містять карбону.

Синтетичні каучуки, до яких входять ланки одного мономеру, називаються гомополярними, а ті, що складаються з двох або більше мономерних ланок,— сополімерними каучуками. За призначенням каучуки діляться на: каучуки загального призначення, придатні для виготовлення шин, ременів, взуття тощо, і каучуки спеціального призначення — для виробництва гумових виробів з особливими властивостями (високою хімічною стійкістю, морозостійкістю, теплостійкістю), що застосовують у спеціальних галузях техніки й медицини.

6.4. Поняття про технологічний процес виготовлення гумових виробів

Гума — це складна суміш речовин.

Гумові суміші — композиції на основі каучуку, що містять речовини (інгредієнти), необхідні для переробки каучуку в гуму. Інгредієнти можуть бути введені у твердий каучук або його водну дисперсію — латекс.

Технологічний процес виготовлення гумових виробів включає три стадії:

- 1) підготовку сировини (інгредієнтів);
- 2) виготовлення гумової суміші;
- 3) одержання гумових виробів (вулканізацію напівфабрикатів).

Підготовка інгредієнтів. Після того як для даної марки гуми підібрано інгредієнти, їх (при необхідності) сушать, розмелюють до необхідної дисперсності, просівають і відважують відповідно до рецептури суміші.

Для виготовлення медичних виробів придатні тільки нешкідливі для організму людини каучуки й інгредієнти.

За призначенням інгредієнти гумових сумішей поділяються на такі групи: хімічні прискорювачі пластикації, вулканізатори, прискорювачі або

уповільнювачі вулканізації, підсилювачі (активні наповнювачі), пом'якшувачі (пластифікатори), інертні наповнювачі (розріджувачі), захисні речовини, барвники.

Крім перелічених основних груп, є групи інгредієнтів спеціального призначення: пороутворювачі (для пористих гум), абразивні (для шліфувальних матеріалів), антипірени (для зниження горючості гуми) і т. п.

Основні компоненти гумових сумішей утворюють кілька груп:

1. Каучуки. Для медичних гум використовують такі каучуки: натуральний, бутилкаучук, бутадієновий, бутадієннітральний, силіконовий із вінільними групами, ізопреновий, бутадієнстирольний, бутадієнметилстирольний і деякі інші.

2. Вулканізуючі речовини. Для утворення полімерів просторової будови (гуми), тобто для зшивання макромолекул поперечними зв'язками, проводять основний процес гумового виробництва — вулканізацію.

Сірка є головним вулканізуючим агентом: 93 % усіх каучуків вулканізуються сіркою. Від кількості сірки залежать властивості гум; так, при 1—3,5 % сірки одержують м'які гуми, при 15—20 % — напівтверді, при 30—50 % — тверді, які називають ебонітами, що за якостями подібні до термореактивних полімерів і значно перевершують гуму за міцністю, електроізоляційними властивостями, хімічною стійкістю, проте не мають еластичності. У гумовій промисловості застосовують мелену сірку, сірчаний цвіт і осаджену сірку.

Деякі види каучуків можна також вулканізувати за допомогою оксидів металів, кисню, селену, деяких синтетичних смол.

3. Прискорювачі вулканізації. Поряд із сіркою й іншими вулканізуючими речовинами в гумові суміші в невеликих кількостях (від 0,5 до 2 %) вводять прискорювачі вулканізації. Вони бувають неорганічні, але найчастіше — органічні.

З *неорганічних* прискорювачів і активаторів вулканізації широке застосування одержали оксиди металів: магнію, цинку, барію та ін. З *органічних* прискорювачів перевага віддається групі тіазолу (каптакс, альтакс,

сульфенаміди). Прискорювачі слід рівномірно розподіляти в гумовій суміші і не розпорошувати при змішуванні, тому їх вводять у вигляді дисперсних паст у вазеліновому або парафіновому маслі.

4. Наповнювачі. Більшість каучуків як у сирому, так і у вулканізованому вигляді мають малу міцність при деформаціях і малу зносостійкість. Тому в гумову суміш вводять спеціальні наповнювачі. Наповнювачі бувають активні (підсилювачі) і неактивні (розріджувачі).

5. До підсилювачів належать: сажа, каолін, цинку оксид й інші речовини, з додаванням яких у гумову суміш поліпшуються фізико-хімічні властивості вулканізаторів, що врешті-решт зміцнює гуму, збільшує зносостійкість. Крім того, їх введення вдосконалює технологію переробки гумових сумішей.

До розріджувачів належать крейда, тальк, барій та інші інертні наповнювачі, які не змінюють хімічних властивостей, проте поліпшують механічні й фізичні властивості гум і збільшують об'єм.

5. Пластифікатори (пом'якшувачі). Для більшої пластичності каучуків, полегшення формування виробів, а також у деяких випадках для підвищення клейкості гумових сумішей, зниження їх горючості, поліпшення морозостійкості тощо додають пластифікатори (пом'якшувачі). Пластифікатори дещо знижують міцнісні якості гуми, але підвищують її стійкість до деформацій.

Роль пластифікаторів виконують вищі жирні кислоти, продукти нафтового і кам'яновугільного походження (олії, парафіни марки А, смоли, складні жири), речовини рослинного походження (каніфоль, віск, соснова смола), синтетичні речовини (дибутилфталат, трикрезилфосфат) та ін. Кількість пластифікаторів, які вводяться до суміші, залежить від властивостей компонентів гумової суміші й коливається від 5 до 8 %.

6. Прискорювачі пластифікації. Деякі каучуки (натуральний, СКС-10, СКС-30) мають недостатню пластичність і потребують попереднього розм'якшення перед обробкою, що й досягається шляхом окисної деструкції з додаванням деяких органічних речовин (тіонафтолу, плофенолів, ренацитів, пентолів тощо).

7. Протистарісні добавки. З часом каучуки й гуми покриваються

тріщинами, твердіють, стають ламкими і крихкими, втрачають еластичність і міцність — тобто старіють. Старіння гуми відбувається в результаті деструкції або змивання молекул полімеру під дією кисню, особливо при опроміненні, нагріванні й т. п.

Щоб запобігти цьому або хоч уповільнити процес старіння, до гумових сумішей вводять добавки, більшість з яких є антиоксидантами (протиокиснювачами), що захищають каучуки й гуми від окисного старіння.

До них належать речовини так званої фізичної дії (віск, парафін, озокерит), що створюють на поверхні гуми захисний шар і тим самим позбавляють її від шкідливих впливів, наприклад, хімічної дії неозону Д, ароматичних амінів, які реагують із киснем повітря з більшою швидкістю, ніж каучук, і таким чином запобігають старінню.

Каучук у гумі старіє не тільки під дією кисню, світла, тепла, але й внаслідок багаторазових деформацій розтягування або стискання, яким піддаються гумові вироби під час експлуатації.

Для захисту каучуку від втомлення в гумові суміші вводять спеціальні протистомлювачі (похідні парафеніландіаміну й ін.), що є одночасно антиоксидантами.

Щоб запобігти утворенню в гумі глибоких тріщин, які з'являються під впливом озону, застосовують особливі добавки — антиозонанти.

8. Антискорчинги — бензойна, бурштинова, щавлева, молочна, саліцилова, малеїнова кислоти — речовини, що перешкоджають самовулканізації.

9. Барвники — органічні та неорганічні пігменти й лаки — берлінська лазур (синій, блакитний кольори), феруму оксид («цегельний» колір), хрому оксид (зелений колір), ультрамарин (блакитний і синій кольори), сурик (червоний колір).

10. Пороутворювачі — оцтова кислота, вуглекислий амоній, натрію бікарбонат.

11. Спеціальні інгредієнти — у рентгенозахисну гуму вводять плюмбуму оксид, непроникний для рентгенівських променів.

Інгредієнти латексних сумішей:

- емульгатори і стабілізатори — калію олеат, калій- каніфольне і каніфольно-аміачне мило;
- загусники — амонію казеїнат, натрію альгінат.

Виготовлення гумової суміші. Виготовлення гумової суміші здійснюють на вальцях або в закритих гумозмішувачах.

Більшість каучуків мають низьку пластичність і їх важко обробляти на машинах гумового виробництва. Тому їм надають більшої пластичності, так званої пластикації каучуку.

Пластикація проводиться на вальцях упродовж 15— 20 хв (при цьому температура вальців не повинна перевищувати 40 °С) або в спеціальних термопластикаційних казанах.

При виготовленні гумової суміші на вальцях усі інгредієнти варто додавати поступово і по всій довжині валка, а не висипати їх одразу.

Виготовлення гумових виробів. За методами виготовлення гумові вироби прийнято розрізняти на:

- **неформові** (виготовлені методом ручного клеєння);
- **безшовні** (методами екструзії та мочання);
- **формові** (виготовлені пресуванням або литтям під тиском).

Метод ручного клеєння полягає в одержанні виробів шляхом склеювання окремих, вирізаних за шаблонами шматків гуми. Для цього гумову суміш із змішувача пропускають через каландри — машини, що мають велику кількість валків. Швидкість обертання і температура валків регулюються. При виході з каландра гума має форму листів різної товщини. Для одержання рельєфного малюнка останній валок каландра роблять із гравірованою поверхнею. Щоб уникнути злипання листів, гуму пересипають тальком.

Як клей використовують той самий каучук, що входить до складу гуми, розчинений у розчиннику.

Метод екструзії (шприцювання, або видавлювання) застосовують для виготовлення медичних трубок, джгутів, зондів тощо.

Принцип полягає в тому, що гумова суміш надходить у завантажувальний

бункер екструдера (або шприц-машини), підігрівається і подається обертовим черв'ячним валом до мундштука, що має отвір необхідного профілю. Потім гумова суміш обтікає середник, розміщений на виході мундштука.

Метод мочання застосовують для одержання таких безшовних виробів, як рукавички хірургічні й анатомічні, напальники, соски та ін.

Форму зроблену з дерева, порцеляни, скла або іншого матеріалу, що імітує виріб, опускають у латекс.

Фермовий метод. Цей метод придатний для одержання гумових виробів, що мають внутрішню порожнину (грілки, спринцівки, пузири для льоду, балони, катетери й ін.) або складну різнотовщинну конфігурацію.

їх виготовляють, поміщаючи розкроєні за шаблонами листи гумової суміші у металеві прес-форми і штампи. Порожнина у виробках забезпечується розміщенням у прес-формах спеціальних сердечників або за допомогою газоподібних засобів чи води. Після цього прес-форми поміщають у вулканізаційний казан (вулканізатор) з температурою 140— 200 °С і тиском 0,3—20 МН/м². Після вулканізації вироби витягають із прес-форми й остаточно доробляють (обчищають уламки й задирки, монтують необхідні пристосування). Зазначений спосіб малопродуктивний і дуже трудомісткий. Тому останнім часом для формового методу одержання виробів існують преси або ливарні машини, на яких встановлено прес-форми, отже, процес відбувається автоматично.

При пресуванні заготовку у вигляді пластини або трубки поміщають у встановлену між плитами преса нагріту прес-форму, в якій після змикання плит відбуваються як формування виробів, так і їх вулканізація. У виробництві малогабаритних виробів застосовують звичайно багатогніздові форми.

Виготовлення виробів литтям під тиском здійснюється на ливарних машинах аналогічно до процесу екструзії. Тільки за даної технології гумова суміш із мундштука надходить у прес-форму під тиском, а в ній відбуваються формо-перетворення гумової суміші на виріб та вулканізація.

Вулканізація гуми — це перетворення сирової гумової суміші в готову гуму — вулканізат.

Розрізняють два види вулканізації: гарячу і холодну.

Гаряча вулканізація — обробка гумової суміші, до складу якої входить вулканізуючий агент, нагріванням до температури 130—180 °С. При цьому між молекулами каучуку відбувається зшиття з утворенням просторової тривимірної сітки, що змінює структуру каучуку і надає гумі ряду цінних властивостей, наприклад, підвищеної механічної міцності, еластичності, пружності, стійкості до температур та хімічних реагентів тощо.

Холодна вулканізація — здійснюється зануренням виробів у слабкий розчин хлористої сірки в сірковуглець із наступним висушуванням виробу гарячим повітрям. Процес цей дорожчий, малоефективний, трудомісткий, шкідливий і тому майже не знаходить застосування.

6.5. Старіння гуми. Зберігання та відновлення гумових виробів

Старіння гуми — це природний процес, при якому вироби втрачають пружні механічні властивості. Це пояснюється колоїдним характером каучуку.

Старіння гуми проявляється як її ущільнення і затвердіння. Надалі вона робиться сухою, крихкою і ламкою. На поверхні виробів з'являється мережа дрібних зморшок, а потім неглибоких тріщин, від яких надалі відбувається руйнація.

Псування гумових виробів спричиняють: кисень повітря, особливо озон, дія сонячного світла (передусім УФ-промені), температура й т. ін. Ці агенти обумовлюють окиснювання та інші процеси, що впливають на фізико-механічні властивості гуми.

Зберігання гумових виробів. Абсолютно ефективних заходів, що могли б уповільнювати природний процес старіння гумових виробів, поки що немає. Тому велике значення має правильна організація їх зберігання на складах і в аптеках.

При зберіганні гумових виробів за правилами необхідно:

► обмежити надходження кисню до приміщення, не провітрювати його і максимально заповнити виробами. Уповільнити окиснювання можна також шляхом насичення повітря вуглекислотою й аміаком, для цього в шафі і ящики, де лежать гумові вироби, поміщають мішечки з вуглекислим амонієм із

розрахунку 5 г на 1 дм³ повітря. Припудрювання тальком також уповільнює адсорбцію кисню і запобігає злипанню;

► захистити гумові вироби від прямої дії сонячного світла, тобто затемнити приміщення;

► забезпечити постійну температуру в межах 8—12 °С і вологість 50—60%.

Отже, найкращим для зберігання гумових виробів є підвальне приміщення, повітря в якому можна зволожувати, розбризкуючи воду або тримаючи її у відкритій тарі. Підлогу на складі варто робити з плиток або асфальту, але не земляну.

Гумові вироби зберігають у заводській упаковці, трубчасті — у бунтах великого діаметру, а підкладкову клейонку — в підвішеному стані на козлах.

Гумові вироби необхідно зберігати на відстані не менше 5 м від опалювальних приладів і не менше 1 м від батарей. При зберіганні гумові вироби не можна перегинати, здавлювати, тобто піддавати будь-якій деформації. У приміщенні не повинно бути кислот, органічних розчинників, масел тощо.

Ясна річ, гумові вироби слід реалізовувати зі складів і аптек з урахуванням часу їх виготовлення.

Відновлення гумових виробів. Як уже зазначалося, внаслідок тривалого зберігання гумові вироби змінюють свої властивості, однак вони можуть бути піддані регенерації. Товстостінні вироби (наприклад, грілки, пузирі тощо) рекомендується відновлювати шляхом занурення їх на 15—20 хв у кипляче вазелінове масло. Після пом'якшення роблять масаж виробу. Можна зробити відновлення і при кімнатній температурі, так само у вазеліновому маслі, однак триватиме воно значно довше (понад добу).

Тонкостінні гумові вироби (рукавички й т. ін.) при наявності перших ознак старіння можна відновити в такий спосіб: помістити на 15—20 хв у теплий 5 %-вий розчин нашатирного спирту з наступним зануренням на 15—20 хв у воду з додаванням гліцерину (5 %) при температурі 40 °С.

Маркування гумових виробів. На кожному гумовому виробі відбитком

від прес-форми або незмивною фарбою нанесено товарний знак заводу-виготовлювача, сорт, розмір, номер виробу і дату виготовлення. На ярлику коробки, в яку вони упаковані, крім того, зазначено найменування виробу, кількість і вагу виробів у коробці, номер пакувальника і номер ДСТУ або ТУ.

Стерилізація і дезінфекція. Такі гумові вироби, як рукавички, катетери, зонди, наконечники в медичних установах необхідно піддавати стерилізації або дезінфекції, що здійснюється кип'ятінням у стерилізаторі протягом 15 хв. Після остудження кип'ятіння повторюють ще двічі.

Стерилізація відбувається також при зберіганні гумових виробів у 5 %-вій карболовій воді з гліцерином.

Після використання гумові вироби необхідно відразу мити теплою водою.

Випробування гуми. Мета випробувань гуми — контроль якості сировини, напівфабрикатів і готових гумових виробів.

Випробування проводять у лабораторії заводу-виготовлювача, при цьому насамперед досліджують показник міцності на розривання — визначають на розривних машинах на спеціальних зразках (лопатках), вирубаних з листової гуми.

6.6. Скло і керамічні матеріали

Скло і скляні вироби. Серед неметалевих матеріалів скло знаходить найбільше застосування у виготовленні медичних виробів, хіміко-лабораторного посуду й т. ін.

Нейтральне скло має високу хімічну і термічну стійкість, тому з нього виготовляють ампули, флакони для антибіотиків та крові, склянки для бактерійних препаратів, аерозольні балони тощо.

Лужне скло (АБ-1, МТЗ) йде на виготовлення всіх видів склотари, а також предметів догляду за хворими.

Лужне скло оранжевого кольору (ОС і ОС-1) має такі ж фізико-хімічні властивості, як і лужне безбарвне скло. Воно так само придатне для виготовлення склотари і спеціальних медичних виробів, що потребують світлозахисту.

Однією з основних вимог до медичного скла є категорична заборона на введення до їх складу оксидів важких металів, отрут, радіоактивних елементів та інших речовин, які могли б взаємодіяти із лікарськими й іншими речовинами. Тому сировинні матеріали не повинні містити миш'яку, сурми чи якихось інших шкідливих речовин.

Виробництво скляних виробів відбувається в три етапи:
одержання скломаси (виготовлення скла);
формування виробів із неї;
обробка виробів.

Зберігання скляних виробів. Зберігати скляні вироби необхідно в сухих провітрюваних приміщеннях, захищаючи від впливу атмосферних опадів, тому що ці вироби, незважаючи на високу хімічну стійкість, при тривалому зберіганні у вологих умовах можуть зазнавати корозії (внаслідок вилужування окислів з'являються матові плями або цілі ділянки). Слід також запобігати бою скляних виробів.

Керамічні матеріали. Керамічними називають вироби, одержувані з глинистих речовин із мінеральними добавками або без них шляхом формування і подальшого обпалювання. До них належать порцеляна і фаянс.

Порцеляна — основний представник тонкої кераміки. Характерні ознаки порцеляни — білий із синюватим відтінком колір, мала пористість і висока міцність, термічна і хімічна стійкість.

Фаянсові вироби відрізняються від порцелянових більшою пористістю (9—12 %) і меншою механічною міцністю.

За складом, структурою і якостями фаянс буває твердий і м'який, глинистий і вапняний.

Із керамічних матеріалів для медичного вжитку виготовляють ступки і товкачки, поїльники, судна підкладні, лійки, випарювальні чашки, фільтри й т. ін.

6.7. Дерев'яні матеріали. Шкіра та її замітники

Дерев'яні матеріали необхідні для виготовлення аптечних меблів, футлярів до медичних виробів: ендоскопічних приладів, сфігмоманометрів, калориметрів, суперцентрифуг, наркозних апаратів, деталей медичних виробів (рентгенівських касет, підшипників, молотків хірургічних тощо); транспортної тари, предметів догляду за хворими (милиць та ціпків).

Деревина має цінні якості:

- приємний зовнішній вигляд;
- добре піддається обробці, її легко фарбувати, лакувати, полірувати;
- погано проводить тепло, звук, електричний струм;
- має малий коефіцієнт лінійного розширення.

Папір і картон виготовляють із проклеєних рослинних волокон і випускають у вигляді листів або рулонів. Для пакування медичних і фармацевтичних товарів звичайно застосовують такі **сорти паперу і картону**:

- парафінований папір за ДСТУ;
- обгортковий папір;
- друкарський лощений папір для пакетів;
- картон для виготовлення коробок і пачок.

Шкіра та її замітники потрібні для виготовлення ряду медичних виробів і фармацевтичних товарів.

Шкіра має бути однорідного пофарбування, еластичною, без розривів, свищів, тріщин, плям, нальотів, не повинна змінювати колір при розтягуванні.

Сорти шкіри стандартизовано.

Шкірозамінники виготовляють із полімерних матеріалів, переважно з полівінілхлориду (ПВХ).

ОСНОВИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

План

Вступ

- 7.1. Матеріали для виробництва металів
- 7.2. Способи отримання металів з руди
- 7.3. Виробництво чавуну
- 7.4. Виробництво сталі

Вступ

Метали які застосовуються в техніці прийнято поділяти на чорні та кольорові. До чорних відносять залізо та його сплави, до кольорових всі інші метали. Спочатку залізо отримували виключно з руди відновленням у горнах. З підвищенням висоти горнів залізо насичувалося вуглецем, утворювався крихкий сплав, але з гарними ливарними властивостями. Цей сплав був названий чавуном. З XIII століття чавун почали перероблювати в сталь-сплав з меншим чим в чавуні змістом вуглецю, кремнію, марганцю та інших елементів, який має високу пластичність та міцність. Двох етапна схема виробництва сталі-виплавка чавуну в доменній печі та переділ його в сталь є на даний час основною. Продукція чорної металургії: чавуни (передільний та ливарний), феросплави (сплави заліза з підвищеним змістом марганцю, кремнію та інших елементів) та інші злитки для виробництва сортового прокату та поковок великих деталей машин. Виробництво кольорових металів відрізняється великим розмаїттям технологічних процесів виплавки та визначається особливостями складу їх руд. Виробництвом кольорової металургії є як чисті метали, так їх сплави, а також злитки для виробництва сортового прокату.

7.1 Матеріали для виробництва металів

Для виробництва чавуну, сталі та кольорових металів використовують руду, флюси, паливо, вогнетривкі матеріали. *Промислова* порода, з якої

доцільно вилучати метали та їх з'єднання (зміст металу у руді повинно складати не менш ніж 30...60% для заліза, 3...5% для міді, 0,005...0,02% для молібдену). Руда складається з мінералів, що містять метал чи його з'єднання та пустої породи. В залежності від змісту елемента, що добувається розрізняють руди багаті та бідні. Бідні руди збагачують, завдяки видаленню частини пустої породи. Флюсо-матеріали, які завантажуються в плавильну піч для утворення легкоплавкого з'єднання з пустою породою руди чи концентратом та золою палива. Таке з'єднання називають *шлаком*. Звичайно шлак має меншу густину, чим метал, тому він розташовується вище металу та може бути видалений в процесі плавлення. Шлак захищає метал від пічних газів та повітря. Шлак називають кислим, якщо в його складі переважно кислотні оксиди (SiO_2 , P_2O_5) та основним, якщо в його складі більше основних оксидів (CaO , MnO , FeO). *Паливо* - у металургійних печах використовують кокс, природний газ, мазут, доменний (колошниковий) газ. Кокс отримують сухою перегонкою при температурі 1000°C (без доступу повітря) кам'яного вугілля спеціальних сортів. В коксі міститься 80...88% вуглецю, 8...12% золи, 2.5% вологи. Куски коксу повинні мати розміри 25.60 мм. Це міцне паливо, що не спікається, яке служить горючим для нагрівання та хімічним реагентом для відновлення заліза з руди. *Вогнетривкі з/Л/Ж7Ж/.7//*-використовують для виготовлення внутрішнього облицювального шару (футеровки) металургійних печей та ковшів для розплавленого металу. Вони здатні витримувати навантаження при високих температурах, протистояти різким змінам температури, хімічному впливу шлаку та пічних газів. За хімічними властивостями вогнетривкі матеріали розділяють на групи: кислі (кварцовий пісок, динасова цегла), основні (магнезитова цегла, магнезітохромітова цегла), нейтральні (шамотна цегла). Взаємодія основних вогнетривких матеріалів та кислих шлаків та навпаки може призвести до руйнування печі. Вуглецева цеглина та блоки містять до 92% вуглецю у вигляді графіту, мають підвищену вогнетривкість. Застосовуються для кладки лещаді доменних печей, електролізних ванн для отримання алюмінію, тиглів для плавлення та розливання мідних сплавів.

7.2. Способи отримання металів з руди

Для отримання металів з руди застосовуються наступні основні способи:

-*пірометалургійний* один з самих древніх способів отримання металів, який базується на тому, що необхідне для здійснення процесу виплавки металу тепло забезпечується за рахунок горіння палива. Даний спосіб є поки що основним для отримання заліза та його сплавів, міді та її сплавів.

-*електрометалургійний* спосіб отримання металів здійснюється в дугових, індукційних та інших електричних печах чи електролізом з розплавів та водних розчинів хімічних з'єднань (наприклад, отримання алюмінію з глинозему Al_2O_3).

-*гідрометалургійний* спосіб полягає в вилуговуванні металів з руди різноманітними розчинниками та наступному їх виділенні з розчину. Вилуговування може здійснюватися як на поверхні землі, так і під землею за допомогою системи свердловин. Даний спосіб широко застосовується для отримання, наприклад міді, а в останній час урану та деяких інших металів.

-*хіміко-металургійний* спосіб поєднує в собі хімічні та пірометалургійні процеси, наприклад титан отримують відновленням тетрахлориду $TiCl_4$ магнієм та наступним плавленням в електродугових печах.

7.3. Виробництво чавуну

Чавун-сплав заліза з вуглецем з супутніми елементами (вміст вуглецю більше 2,14%). *Матеріали, які застосовуються при виробництві чавуну.* Для виплавки чавуну в доменних печах використовують залізні руди, паливо, флюси. До залізних руд відносять:

-магнітний залізняк (Fe_3O_4) з вмістом заліза 55... 60%;

-червоний залізняк (Fe_2O_3) з вмістом заліза 55.60%;

-бурий залізняк (гідроксидів заліза $2Fe_2O_3 + 3H_2O$ та $Fe_2O_3 + HO$) з вмістом заліза 37.55%;

Марганцеві руди застосовуються для виплавки сплаву заліза з марганцем (феромарганець 10.82% марганцю), а також передільних чавунів, які містять до

1% марганцю. Марганець в рудах міститься у вигляді окислів та карбонатів: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , $MnCO_3$ та ін. Хромові руди застосовуються для виробництва ферохрому, металевого хрому та вогнетривких матеріалів (хромомангезитів). *Паливом* для доменної плавки слугує кокс, можлива часткова заміна газом, мазутом. *Флюсом* є хімічна сполука $CaCO_3$ (вапняк), також може застосовуватись доломітовий вапняк якій складається $CaCO_3$ та $MgCO_3$, так як до складу шлаку повинні входити основні оксиди (CaO , MgO), які необхідні для видалення сірки з металу. *Підготовка руд до доменної плавки* здійснюється для підвищення продуктивності доменної печі, зниження витрати коксу та покращення якості чавуну. Метод підготовки залежить від якості руди. Подрібнення та сортування руди за розміром фракції виконують для отримання кусків оптимальної величини, здійснюється за допомогою подрібнювачів та класифікаторів. Збагачення руди засновано на відмінності фізичних властивостей мінералів, які входять до її складу та складається з наступних операцій:

- 1) Промивання - відділення щільних складових від пустої рихлої породи;
- 2) Гравітація - відділення руди від пустої породи шляхом пропускання струменя води через дно вібруючого сита (пуста порода витискується до верхнього шару та видаляється водою а мінерали, що містяться у руді опускаються);
- 3) *Магнітна сепарація* - подрібнену руду піддають дії магнітного поля, завдяки цьому відбувається притягування залізовмісних мінералів та відділення їх від пустої породи. *Сортування за розмірами* виконують для переробки концентратів в кускові матеріали необхідних розмірів. Застосовують два способи сортування: *агломерація* та *окатування*. При агломерації шихту, яка складається з залізної руди (40.50%), вапняку (15...20%), повернення дрібного агломерату (20.30%), коксових відходів (4.6%), вологи (6.9%), спікають на агломераційних машинах при температурі 1300.1500°C. При спіканні з руди видаляються шкідливі домішки (сірка, миш'як), розкладаються карбонати і отримується кусковий пористий офлюсований агломерат. При скатуванні шихту з подрібнених концентратів, флюсу, палива зволожують та піддають обробці в обертових барабанах до отримання шариків-окатишів діаметром до

30 мм. Далі їх підвертають термічної обробці при температурі 1200.1350°C. Використання агломерату та окатишів виключає подачу флюсу- вапняку до доменної печі при виплавленні. *Виплавка чавуну.* Чавун виплавляється в печах шахтного типу-доменних печах. Сутність процесу отримання чавуну в доменних печах полягає у відновленні оксидів заліза, які входять до складу руди оксидом вуглецю, воднем та твердим вуглецем, якій виділяється при згоранні палива. При отриманні чавуну відбувається відновлення заліза з оксидів руди, насичення його вуглецем та видалення у вигляді рідкого чавуну визначеного хімічного складу. Також оплавлення пустої породи руди, утворення шлаку, розчинення в ньому золи коксу та видалення його з печі. *Конструкція та робота доменної печі (рис. 7.1)*

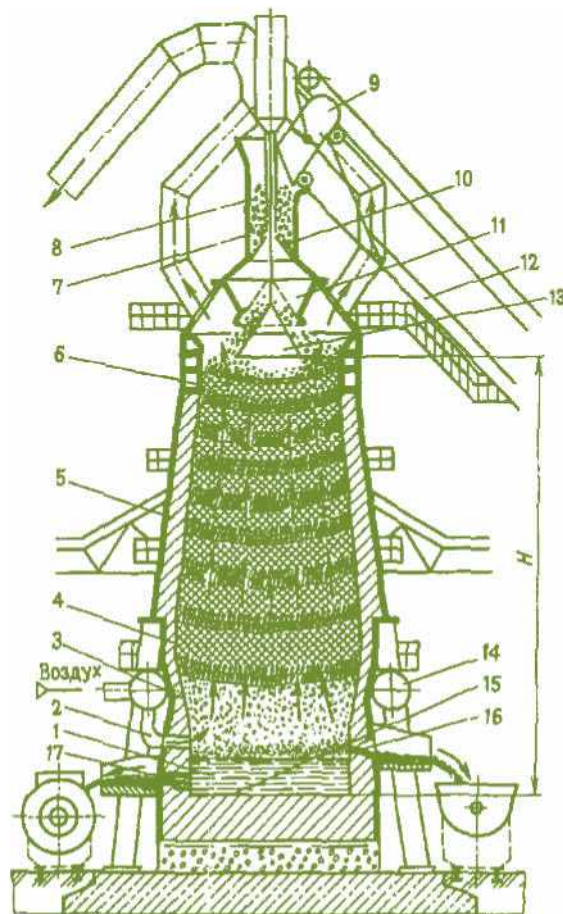
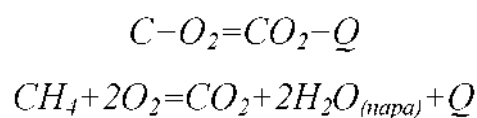


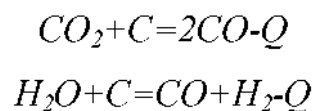
Рис. 7.1. Конструкція доменної печі

Доменна піч (рис. 7.1) має сталевий кожух, викладений вогнетривкою шамотною цеглою. Робочий простір печі включає колошник 6, шахту 5, розпар 4, заплечики 3, горн 1, лещадь 15. В верхній частині колошника знаходиться засипний апарат 8, через який в піч завантажують шихту. Шихту подають до вагонетки 9 підйомника, які пересуваються по мосту 12 до засипного апарату та перевертаючись висипають шихту до приймальної воронки 7 розподільвача

шихти. При опусканні малого конуса 10 шихта потрапляє до чаші 11, а при опусканні великого конуса 13 у доменну піч, що запобігає потраплянню газів з доменної печі до атмосфери. При роботі печі шихтові матеріали, проплавляючись, опускаються і через пристрій завантаження подають нові порції шихти, щоб весь корисний об'єм був заповнений. Корисний об'єм печі це об'єм, якій займає від лещаді до нижньої кромки великого конуса засипного апарату при його опусканні. Корисна висота доменної печі досягає 35 м а корисний об'єм 2000...5000 м³. В верхньої частині горна знаходяться фурмені пристрої 14, через які в піч надходить розігрите повітря, яке необхідне для горіння палива. Повітря надходить з повітряного нагрівачу, внутрішня частина якого має камеру згоряння та насадку з вогнетривкої цегли, в якій є вертикальні канали. В камеру згоряння до пальника подається відчищений доменний газ, який при згорянні утворює гарячі гази. Проходячи через насадку, гази нагрівають її та видаляють через димову трубу. Через насадку пропускається повітря, воно нагрівається до температури 1000 - 1200°C та потрапляє до фурменого пристрою, далі через фурми 2 до робочого простору печі. Після охолодження насадок нагріванні переключаються. *Горіння палива.* Поблизу фурм природний газ та вуглець коксу, взаємодія з киснем згоряє:

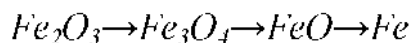


В результаті горіння виділяється велика кількість теплоти, в печі вище за рівень фурм температура досягає більше 2000°C. Продукти горіння взаємодіють з розпаленим коксом за наступними хімічними реакціями:

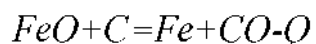


Утворюється суміш відновлювальних газів, в який окис вуглецю CO, який є головним відновником заліза з його оксидів. Для підвищення продуктивності повітря яке подається в доменну піч зволожується, що призводить до підвищення вмісту відновника. Гарячі гази, піднімаючись, відають теплоту шихтовим матеріалам та нагрівають їх, охолоджуючись до температури 300 - 400°C біля колошника. Шихта (агломерат, кокс) опускається на зустріч потоку газів та при температурі приблизно 570°C починається

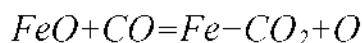
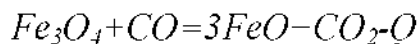
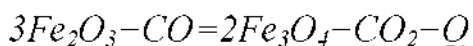
відновлення оксидів заліза. *Відновлення оксидів заліза в доменній печі.*
Відновлення заліза проходить по мірі просування шихти до низу по шахті та підвищення температури від вищого оксиду до нижчого за декілька стадій:



Температура визначає характер протікання хімічних реакцій. Відновниками заліза є твердий вуглець коксу, оксид вуглецю, водень. Відновлення твердим вуглецем (коксу) називається *прямим* відновленням, протікає в нижньої частині печі (зона розпару), де діють більш високі температури, за наступною хімічною реакцією:



Відновлення газами (СО-чадний газ та H_2) називається *непрямим* відновленням, протікає у верхній частині печі при порівняно низьких температурах, за наступними хімічними реакціями:

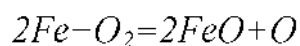


За рахунок чадного газу та водню відновлюються всі вищі оксиди заліза до нижчого та 40...60% металевого заліза. При температурі 1000... 1100 С відновлене з руди тверде залізо взаємодіє з оксидом вуглецю, коксом та вуглецем, інтенсивно розчиняє вуглець. При насиченні вуглецем температура плавлення знижується та на рівні розпару та заплечиків залізо розплавляється (при температурі біля 1300°C). Каплі залізовуглецевих сплавів, протікаючи по кускам коксу, додатково насичуються вуглецем (до 4%), марганцем, кремнієм, фосфором, які при температурі 1200°C відновлюються з руди. В нижній частині доменної печі утворюється шлак в результаті сплавлення окислів пустої породи руди, флюсів та золи палива. Шлаки містять Al_2O_3 , CaO , MnO , SiO_2 , MnO , FeO , CaS . Шлак утворюється поступово, його склад змінюється по мірі стікання в горн, де він скупчується на поверхні рідкого чавуну завдяки меншій густині. Склад шлаку залежить від складу застосованих шихтових матеріалів та виплавленого чавуну. Чавун випускають з печі кожні 3.4 години через чавуну летку 16, а шлак кожні 1.1,5 години через шлакову летку 17 (летка це отвір в кладці, розташований вище лещаді). Летку відкривають бурильною машиною,

потім закривають вогнетривкою масою. Зливають чавун та шлак в ковші для перевезення чавуну та шлаку. Чавун в киснево-конвертерні чи мартенівські цехи чи розливається до виливниць розливною машиною, де він твердіє у вигляді чушок-злитків масою 45 кг. *Продукти доменної плавки*. Передільний чавун призначений для подальшого переділу в сталь. На його долю приходить 90% загального виробництва чавуну. Взагалі такий чавун містить 3,8.4,4% вуглецю, 0,3.1,2% кремнію, 0,2.1% марганцю, 0,15.0,20% фосфору, 0,03...0,07% сірки. *Ливарний чавун* застосовується після переплаву на машинобудівних підприємствах для отримання фасонних відливків. Окрім чавуну в доменних печах виплавляють *феросплави-сплави* заліза з кремнієм, марганцем та іншими елементами. їх застосовують для розкислення та легування сталі. Побічними продуктами доменної плавки є шлак та доменний газ. З шлаку виготовляють шлаковату, цемент, здобрення (намагаються отримати гранульований шлак, для цього його виливають на струмінь води). Доменний газ після відчистки використовується як паливо для нагріву повітря, яке вдувається у піч.

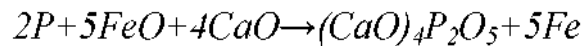
7.4. Виробництво сталі

Залізовуглецеві сплави, які містять практично до 1,5% вуглецю, при більшому його вмісту значно підвищується твердість та крихкість сталей та вони не знаходять широкого застосування. Основними початковими матеріалами для виробництва сталі є передільний чавун та сталевий лом (скрап). Вміст вуглецю та домішок в сталі значно нижче, чим в чавуні. Завдяки цьому сутність будь якого металургійного переділу чавуну в сталь-зниження вмісту вуглецю та домішок шляхом їх вибіркового окислення та переводу в шлак та газу в процесі плавки. Залізо окислюється в першу чергу при взаємодії чавуну з киснем в сталеплавильних печах:

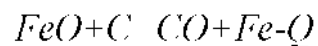


Одночасно з залізом окислюється кремній, фосфор, марганець та вуглець. Оксид заліза, який утворився при високих температурах віддає свій кисень більш активним домішкам в чавуні, окислюючи їх. Процеси виплавки сталі проводяться у три етапи. *Перший* етап - розплавлення шихти та нагрів ванни

рідкого металу. Температура металу порівняно невелика, інтенсивно відбувається окислення заліза, утворення оксиду заліза та окислення домішок: кремнію, марганцю та фосфору. Найбільш важлива задача даного етапу-видалення фосфору. Для цього бажано проведення плавки в основній печі, де шлак містить CaO . Фосфорний ангідрид P_2O_5 створює з оксидом заліза нестійке з'єднання:



Для видалення фосфору необхідні невеликі температури ванни металу та шлаку та достатній вміст в шлаку FeO . Для підвищення змісту FeO в шлаку та прискорення окислення домішок в піч додають залізну руду та окалину. По мірі видалення фосфору з металу в шлак, вміст фосфору в шлаку збільшується. Тому необхідно убрати цей шлак з металу та замінити його новим з свіжими добавками CaO . Другий етап - кипіння металеві ванни починається поступово по мірі прогріву до більш високих температур. При підвищенні температури більш інтенсивно протікає реакція окислення вуглецю, яка проходить з поглинанням теплоти:



Для окислення вуглецю в метал вводять незначну кількість руди, окалини та вдувають кисень. При реакції оксиду заліза з вуглецем, бульбашки оксиду вуглецю CO , які виділяються з рідкого металу, викликаючи кипіння ванни. При кипінні зменшується вміст вуглецю в металі до необхідного, вирівнюється температура по об'єму ванни, частково видаляються неметалічні включення, які прилипають до спливаючих бульбашок CO , а також гази, які проникають в бульбашки CO . Все це сприяє підвищенню якості металу. Отже, цей етап є основним в процесі виплавки сталі. Також створюються умови для видалення сірки. Сірка в сталі знаходиться у вигляді сульфідів (FeS), який розчинюється також в основному шлаку. Чим вище температура, тим більша кількість сульфідів заліза (FeS) розчиняється в шлаку та взаємодіє з оксидом кальцію CaO . З'єднання яке утворюється CaS розчиняється у шлаку, але не розчиняється в залізі, тому сірка видаляється в шлак. Третій етап-розкислення сталі полягає у відновленні оксиду заліза, розчиненого в рідкому металі. При процесі плавки підвищення вмісту кисню в металі необхідно для окислення

домішок, але в готовій сталі кисень є шкідливою домішкою, так як погіршують механічні властивості сталі, особливо при високих температурах. Сталь розкислюють двома способами: осідаюче та дифузійне розкислення. Осідаюче розкислення відбувається введенням у рідку сталь розчинних розкислювачів (феромарганцю, феросиліцію, алюмінію), які містять елементи, які більше взаємодіють з киснем чим залізо. В результаті розкислення відновлюється залізо та утворюються оксиди: MnO , SiO_2 , Al_2O_3 які мають меншу густину, чим сталь та видаляються в шлак. Дифузійне розкислення відбувається розкисленням шлаку. Феромарганець, феросиліцій та алюміній в дрібному стані завантажують на поверхню шлаку. Розкислювачі, відновляючи оксид заліза, зменшують його зміст в шлаку. Відповідно, оксид заліза, розчинений в сталі переходить у шлак. Оксиди, які утворилися при цьому процесі залишаються у шлаку, а відновлене залізо переходить в сталь, при цьому в сталі знижується зміст неметалевих включень та підвищується її якість. В залежності від ступеня розкислення виплавляють сталі: спокійні, киплячі, напівспокійні. *Спокійна* сталь отримується при повному розкисленні в печі та ковші. *Кипляча* сталь розкислюється в печі не повністю. Її розкислення продовжується в виливниці при затвердінні злитку, завдяки взаємодії оксиду заліза та вуглецю: $FeO + C = Fe + CO$, оксид вуглецю CO , який утворився із сталі, який сприяє видаленню із сталі азоту та водню, гази виділяються у вигляді бульбашок, сприяючи її кипінню. Кипляча сталь не містить неметалевих включень, тому має гарну пластичність. *Напівспокійна* сталь має проміжну розкисленість між спокійною та киплячою. Частково вона розкислюється в печі та ковші, а частково в виливниці, завдяки взаємодії оксиду заліза та вуглецю, які містяться в сталі. Легування сталі відбувається введенням феросплавів чи чистих металів в необхідній кількості в розплав. Легуючі елементи, у яких спорідненість з киснем менша (Ki , Co , Mo , Cu), при плавленні та розливанні не окислюються, тому їх вводять в будь який час плавлення. Легуючі елементи, у яких спорідненість до кисню більша, ніж у заліза (Si , Mn , Al , Cr , V , Ti), вводять в метал після розкислення чи одночасно з ним наприкінці плавлення, а іноді в ковш. Виробництво сталі в *мартенівських печах* характеризується порівняно

невеликою продуктивністю, можливістю використання другорядного металургійного скрапу. Місткість печі становить 200...900 т. Даний спосіб дозволяє отримувати якісну сталь. Мартенівська піч (рис. 7.1) представляє собою регенеративну полум'яну піч, висока температура в якій (1750... 1800°C) досягається за рахунок згорання газу в плавильному просторі.

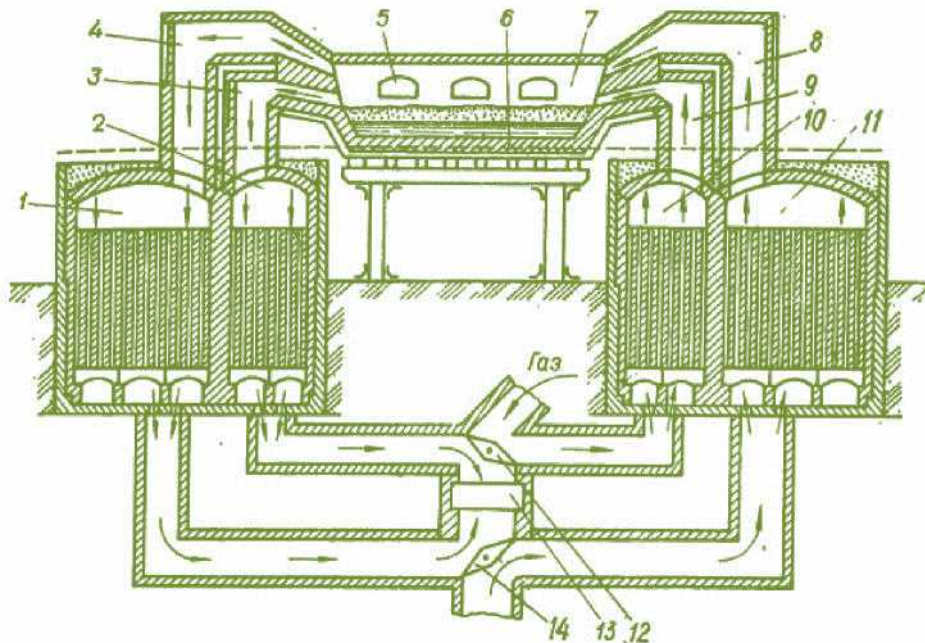


Рис. 7.1. Схема мартенівської печі

Газ та повітря підігріваються в регенераторах. Зліва від плавильного простору 7 знаходяться канали для газу 3 та повітря 4, які з'єднані з регенераторами 10 та 11. Кожний з регенераторів має насадку з викладеного в клітку вогнетривкої цегли. Шихта завантажується через вікна 5. Газ та повітря, які подаються в піч проходять через попередньо нагріті до температури 1200... 1250°C регенератори 10 та 11, нагріваються в них та потрапляють в плавильний простір печі. Тут газ та повітря змішуються та згоряють, утворюючи полум'я високої температури. Продукти згорання по каналам 3 та 4 потрапляють у регенератори 1 та 2, нагрівають їх, охолоджуючись до температури 500...600°C та уходять в димову трубу 13. По мірі охолодження регенераторів 10 та 11 напрямлення газу та повітря в печі змінюють на зворотне перемикачем клапанів 12 та 14. Потім газ та повітря потрапляють в плавильний простір по каналам 3 та 4, проходячи через нагріті регенератори 1 та 2, а продукти згорання виходять по каналах 8 та 9, нагрівають насадку регенераторів 10 та 11 та виходять в трубу 13. Таким чином, газ та повітря при роботі печі проходять через

поперемінно нагріті то ліві, то праві регенератори. Мартенівські печі, які працюють на мазуті, мають з кожної сторони по одному регенератору для нагрів тільки одного повітря. Важливою характеристикою цих печей є площа поду 6. Для печі ємністю 900 т вона складає приблизно 120 м².

Тривалість плавлення складає 3.6 годин, для великих печей до 12 годин. Готову плавку випускають через отвір, розташований в задній стінці на нижньому рівні поду. Печі працюють безперервно, до зупинки на капітальний ремонт 400.600 плавок. В залежності від складу шихти, яку використовують при плавці розрізняють різновиди мартенівського процесу:

- Скрап процес, при якому шихта складається з сталюого лому (скрапу) та 25.45% чушкового передільного чавуну, процес застосовують на підприємствах, де не має доменних печей, але багато металобрухту.

- Скрап-рудний процес, при якому шихта складається з рідкого чавуну (55.75%), скрапу та залізної руди, процес застосовують на металургійних підприємствах, які мають доменні печі.

Футеровка печі може бути основною та кислою. Якщо в процесі плавки сталі, в шлаку переважно містяться основні оксиди, то процес називають основним мартенівським процесом, а якщо кислі то кислим. Найбільшу кількість сталі виготовляють скрап-рудним процесом в мартенівських печах з основною футеровкою. В піч завантажують залізну руду та вапняк, та після підігріву завантажують скрап. Після розігріву скрапу в піч заливають рідкий чавун. В період плавлення за рахунок оксидів руди та скрапу інтенсивно окислюють домішки чавуну (кремній, фосфор, марганець та частково вуглець). Оксиди утворюють шлак з високим вмістом оксидів заліза та марганцю (залізистий шлак). Після цього проводять період «кипіння» ванни, тобто в піч завантажують залізну руду та продувають ванну киснем, який подається по трубам 3. В цей час відключають подачу в піч палива та повітря та видаляють шлак. Для видалення сірки створюють новий шлак, подаючи на дзеркало металу вапняк з додаванням бокситу для зменшення в'язкості шлаку. Зміст CaO в шлаку зростає, а FeO зменшується. В період «кипіння» вуглець інтенсивно окислюється, завдяки цьому шихта повинна містити надлишок вуглецю. На

даному етапі метал доводиться до необхідного хімічного складу, з нього видаляються гази та неметалеві включення. Потім проводять розкислення металу в два етапи. Спочатку розкислення проводять шляхом окислення вуглецю металу, при одночасній подачі в ванну розкислювачів (феромарганцю, феросиліцію, алюмінію). Залишкове розкислення алюмінієм, феромарганцем, феросиліцієм відбувається у ковші, при випуску сталі з печі. Після відбору контрольних проб сталь випускають в ковш. В основних мартенівських печах виплавляють сталі вуглецеві конструкційні, низько-та середньолеговані (марганцевисті, хромисті), крім високолегованих сталей та сплавів, які отримують в плавильних електропечах.

В кислих мартенівських печах виплавляють якісні сталі. Застосовують шихту з низьким вмістом сірки та фосфору. Сталі містять менше водню та кисню, неметалевих включень. Отже, кисла сталь має більш високі механічні властивості, особливо ударну в'язкість та пластичність, її використовують для особливо відповідальних деталей (колінчастих валів крупних двигунів, роторів потужних турбін, підшипників). Основними техніко-економічними показниками виробництва сталі в мартенівських печах є:

-продуктивність печі-об'єм сталі з 1 м² площі поду за добу (т/м² за добу), в середньому складає 10 т/м²;

-витрата палива на 1 т виплавленої сталі, в середньому складає 80 кг/т.

З збільшенням печей збільшується їх економічна ефективність.

Виробництво сталі в кисневих конвертерах. Киснево-конвертерний процес-виплавка сталі з рідкого чавуну у конвертері з основною футеровкою та продувкою киснем крізь водоохолоджувальну фурму. *Кисневий конвертер-ро*, посуд грушовидної форми з сталюго листа футерований основною цеглою. Місткість *конвертеру-130 ...350 т рідкого чавуну*. В процесі роботи конвертер може обертатися на 360° для завантаження скрапу, заливки чавуну, зливу сталі та шлаку.

Шихтовими матеріалами киснево-конвертерного процесу є рідкий передільний чавун, сталюний лом (не більше 30%), вапняк для наведення шлаку,

залізна руда, а також боксит Al_2O_3 та плавиковий шпат CaK_2 для розрідження шлаку. Послідовність технологічних операцій при виплавки сталі в кисневих конвертерах наведена на рис. 7.2.

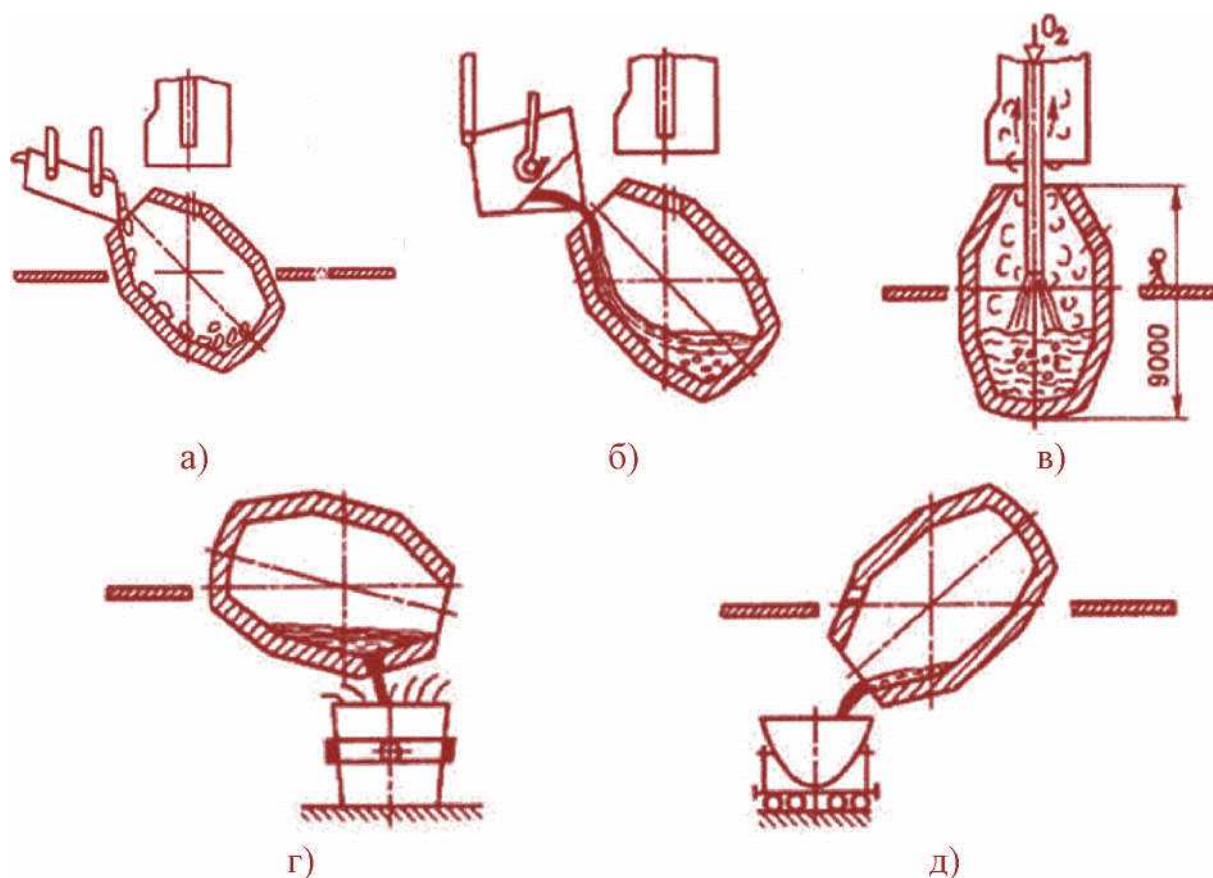


Рис. 7.2. Послідовність технологічних операцій при виплавки сталі в кисневих конвертерах

Після чергової плавки сталі випускний отвір закладають вогнетривкою масою та перевіряють футеровку, ремонтують. Перед плавкою конвертер нахиляють за допомогою завалочних машин завантажують скрап (рис. 7.2, а), заливають чавун при температурі $1250... 1400^{\circ}C$ (рис. 7.2, б). Після цього конвертер повертають в робоче положення (рис.7.2, в), до внутрішньої частини подають охолоджувальну фурму та через неї подають кисень під тиском $0,9-1,4$ мПа. Одночасно з початком продувки завантажують вапняк, боксит, залізну руду. Кисень потрапляє в метал, викликає його циркуляцію в конвертері та перемішування зі шлаком. Під фурмою розвивається температура $2400^{\circ}C$. В зоні контакту кисневого струменя з металом окислюється залізо. Оксид заліза розчиняється в шлаку та металі, збагачуючи метал киснем. Розчинений кисень окислює кремній, марганець, вуглець в металі та їх вміст зменшується. Відбувається розігрів металу теплотою, яка виділяється при окисленні. Фосфор

видаляється на початку продувки ванни киснем, коли її температура невисока (склад фосфору в чавуні не повинен перевищувати 0,15%). При підвищеному вмісті фосфору для його видалення необхідно зливати шлак та наводити новий, що знижує продуктивність конвертера. Сірка видаляється на протязі всієї плавки (зміст сірки в чавуні повинно бути до 0,07%). Подачу кисню припиняють, коли вміст вуглецю в металі відповідає заданому. Після цього конвертер повертають та випускають сталь в ковш (рис. 7.2, г), де розкислюють осаджуючим методом феромарганцем, феросиліцієм та алюмінієм, потім зливають шлак (рис. 7.2, д). В кисневих конвертерах виплавляють сталі з різним вмістом вуглецю, киплячі та спокійні, а також низьколеговані сталі. Легуючі елементи в розплавленому вигляді вводять в ковш перед випуском в нього сталі. Плавка в конвертерах місткістю 130...300 т закінчується через 25...30 хвилин.

Виробництво сталі в електропечах. Плавильні електропечі мають переваги порівняно з іншими плавильними агрегатами:

- а) легко регулювати тепловий процес, змінюючи параметри струму;
- б) можна отримувати високу температуру металу;
- в) можливість створювати окислювальну, відновлювальну, нейтральну атмосферу та вакуум, що дозволяє розкислювати метал з утворенням мінімальної кількості неметалевих включень. Електропечі використовують для виплавки конструкційних, високолегованих, інструментальних, спеціальних сплавів та сталей. Розрізняють дугові та індукційні електропечі. *Дугова електроніч* (рис. 7.3).

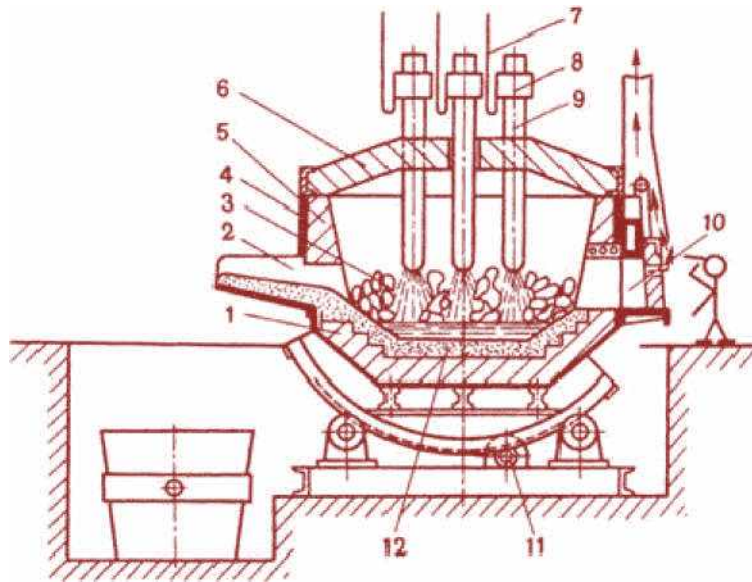


Рис. 7.3. Схема дугової плавильної печі.

Дугова плавильна піч живиться трифазним змінним струмом. Має три циліндричних електроди 9 з графітової маси, закріплених в електродотримачах 8, до яких підводиться електричний струм по кабелях 7. Між електродом та металевою шихтою 3 виникає електрична дуга. Корпус печі має форму циліндра. Ззовні він поміщений в міцний сталевий кожух 4, внутрішня частина футерована основною або кислою цеглою 1. Плавильний простір обмежено стінками 5, подиною 12 та зводом 6. Знімний звод 6 має отвори для електродів. В стінці корпусу є робоче вікно 10 (для зливу шлаку, завантаження феросплавів, взяття проб), зачиняється при плавильному процесі заслонкою. Готову сталь випускають через зливний отвір за допомогою зливного жолобу 2. Піч опирається на сектори та має привід 11 для нахилу в сторону робочого вікна або жолобу. Піч завантажують при знятому зводі. Місткість печей складає 0,5...400 т. В металургійних цехах використовують електропечі з основною футеровкою, а в ливарних з кислою. В основній дуговій печі здійснюється плавка двох видів:

- а) на шихті з легованих відходів (методом переплаву);
- б) на вуглецевій шихті (з окисненням домішок).

Плавку на шихті з легованих відходів ведуть без окислення домішок. Після розплавлення шихти з металу видаляють сірку, наводячи основний шлак, при необхідності насичують вуглецем та доводять метал до заданого хімічного складу. Проводять дифузійне розкислення, додаючи до шлаку подрібнений

феросиліцій, алюміній, молотий кокс. Так виплавляють леговані сталі з відходів машинобудівних заводів. Плавку на вуглецевій шихті застосовують для виробництва конструкційних сталей. В піч завантажують шихту: сталевий лом, чушковий передільний чавун, електродний бій або кокс, для насичення вуглецем металів та вапняк. Опускають електроди, вмикають струм. Шихта під дією електродів плавиться, метал накопичується в по дині печі. Під час плавлення шихти киснем повітря, оксидами шихти та окалиною окислюється залізо, кремній, фосфор, марганець, частково вуглець. Оксид кальцію та вапняку та оксид заліза утворюють основний залізистий шлак, який сприяє видаленню фосфору з металу. Після нагріву до температури 1500... 1540°C завантажують руду та вапняк, проводять період кипіння металу, відбувається подальше окислення вуглецю. Після припинення кипіння видаляють шлак. Потім приступають до видалення сірки та розкислення металу заданого хімічного складу. Розкислення проводять осадженням та дифузійним методом. Для визначення хімічного складу металу беруть проби та при необхідності вводять в піч феросплави для отримання заданого хімічного складу. Потім виконують кінцеве розкислення алюмінієм та силикокальцієм, випускають сталь в ковш. При плавці легованих сталей в дугових печах в сталь вводять легуючі елементи у вигляді феросплавів. В дугових печах виплавляють високоякісні вуглецеві сталі (конструкційні, інструментальні, жаростійкі та жароміцні). *Індукційні тигельні плавильні печі.* Виплавляють найбільш якісні корозійностійкі, жароміцні та інші сталі та сплави. Місткість печей складає від десятків кілограмів до 30 тонн. Схема індукційної тигельної печі наведена на рис. 7.4.

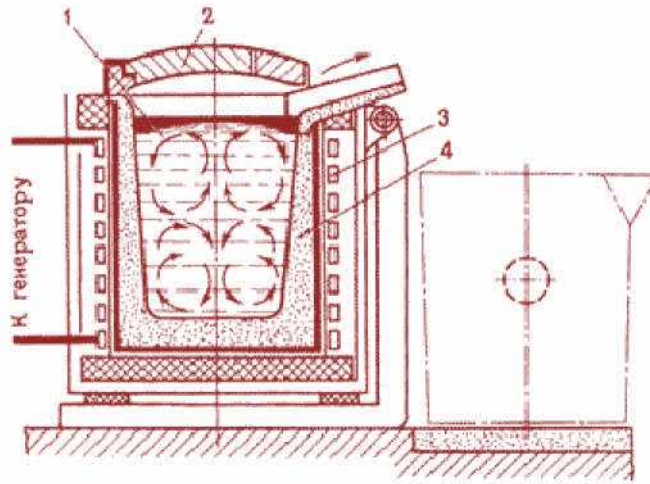


Рис. 7.4. Схема індукційної тигельної печі

Піч складається з водоохолоджувального індуктора 3, всередині якого знаходиться тигель 4 (основні або кислі вогнетривкі матеріали) з металеву шихтою, через індуктор від генератора високої частоти проходить однофазний змінний струм підвищеної частоти (500...2000 Гц). При пропусканні струму через індуктор в металі 1, який знаходиться в тиглі, індукуються потужні вихрові струми, що забезпечують нагрів та плавлення металу. Для зменшення втрат тепла, піч має знімний звод 2. Тигель виготовляють з кислих (кварцит) або основних (магнезитовий порошок) вогнетривків. Для випуску плавки піч нахиляють в сторону зливного жолобу. Під дією електромагнітного поля індуктора при плавці відбувається інтенсивна циркуляція рідкого металу, що сприяє прискоренню хімічних реакцій, отриманню однорідних за хімічним складом металів, швидкому спливанню неметалевих включень, вирівнюванню температури. В індукційних печах виплавляють сталь та сплави з легованих відходів методом переплаву, або з чистого шихтового заліза та скрапу з додатками феросплавів методом сплавлення. Після розплавлення шихти на поверхні металу завантажують шлакову суміш для зменшення теплових втрат металу та зменшення угару легуючих елементів, захисту його від насичення газами. При плавці в кислих печах, після розплавлення та видалення плавильного шлаку, наводять шлак з бою скла (8102). Для кінцевого розкислення перед випуском металу в ковш вводять феросиліцій, феромарганець та алюміній. В основних печах виплавляють високоякісні леговані сталі з високим вмістом марганцю, титану, нікелю, алюмінію, а в

печах з кислотою футеровкою (конструкційні, леговані іншими елементами сталі). В печах можна отримувати сталі з незначним вмістом вуглецю та безвуглецеві сплави, так як немає середовища, що насичує вуглецем. При вакуумній індукційній плавці індуктор, тигель, дозатор шихти та виливниці, розміщують в вакуумній камері. Полувають сплави високої якості з малим вмістом газів, неметалевих включень та сплави, які леговані будь якими елементами.

ЛЕКЦІЯ 8. СУТЬ ТА СПОСОБИ ОБРОБКИ ТИСКОМ

План лекції

- 8.1. Прокатка. Сутність процесу прокатки
- 8.2. Пресування. Сутність процесу пресування
- 8.3. Волочіння. Сутність процесу волочіння.

8.1. Прокатка. Сутність процесу прокатки

Прокатка - це найбільш поширений спосіб обробки металу пластичним деформуванням. Прокатці піддають до 90% всієї сталі, що виплавляється та більшу частину кольорових металів. *Сутність процесу*: заготовка обжимається (здавлюється), проходячи в зазор між валками, що обертаються, при цьому, вона зменшується в своєму поперечному перерізі і збільшується в довжину. Форма поперечного перерізу називається *профілем*. Процес прокатки забезпечується силами тертя між обертовим інструментом та заготовкою, завдяки яким заготовка переміщається в зазорі між валками, одночасно деформуючись. В момент захоплення металу зі сторони кожного валка на метал діють нормальна та дотична сили тертя (рис. 8.1).

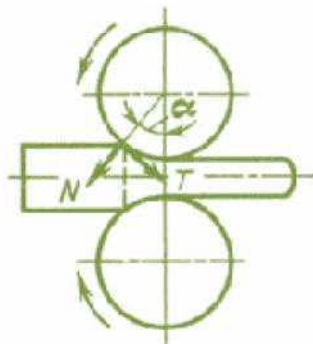


Рис. 8.1. Схема сил, які діють при процесі прокатки

Кут α - кут захвату, дуга, по якій валок торкається з прокатаним металом (дуга захвату), при чому об'єм металу між дугами захвату є центром деформації. Можливість здійснення прокатки визначається умовою захвату металу валками або співвідношенням, $T' > N$, де: T' - зтягуюча сила проекція сили тертя на горизонтальну вісь; N' - виштовхувальна сила проекція нормальної реакції валків N на горизонтальну вісь. При цих умовах

результуюча сила буде направлена в бік руху металу. Умову захвату металу можна виразити наступним чином залежність (8.1)

$$T \times \cos \alpha > N \times \sin \alpha, \quad (8.1)$$

Представивши силу тертя T через нормальну силу N та коефіцієнт тертя f отримаємо вираз (8.2)

$$T = f \times N, \quad (8.2)$$

та, підставивши цей вираз в умову захвату, отримаємо залежність (8.3)

$$f \times \cos \alpha > \sin \alpha \text{ або } f > \operatorname{tg} \alpha, \quad (8.3)$$

Таким чином, для захвату металу валками необхідно, щоб коефіцієнт тертя між валками та заготовкою був більше тангенса кута захвату. Коефіцієнт тертя можна збільшити завдяки застосуванню насічки на валках. При прокатці сталі $\alpha = 20 \dots 25^\circ$, при гарячій прокатці листів та смужок з кольорових металів $\alpha = 12 \dots 15^\circ$, при холодній прокатці листів $\alpha = 2 \dots 10^\circ$. *Способи прокатки.* Існують три основних способи прокатки, які мають певні відмінності по характеру виконання деформації: повздовжня, поперечна, поперечно-гвинтова (рис. 8.2).

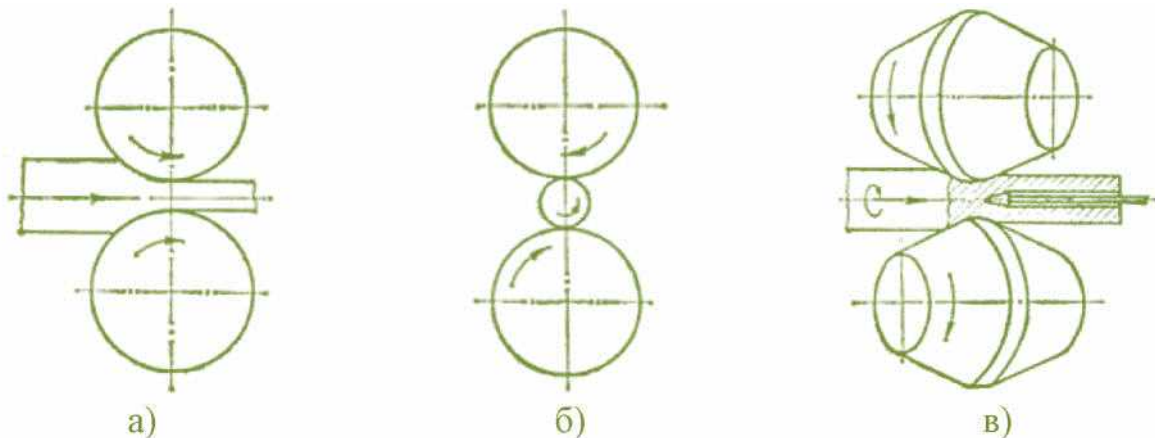


Рис. 8.2. Схеми основних видів прокатки: а)-повздовжня; б)-поперечна; в)-поперечно-гвинтова.

При *повздовжній прокатці* деформація здійснюється між валками, які обертаються в різні сторони (рис. 8.2, а). Заготовка втягується в зазор між валками за рахунок сил тертя. Цим способом виготовляється близько 90% прокату: весь листовий та профільний прокат. *Поперечна прокатка* (рис. 8.2, б). Осі прокатних валків та оброблюваної заготовки паралельні або перетинаються під невеликим кутом. Обидва валка обертаються в одному напрямку, а заготовка круглого перерізу в протилежному. В процесі поперечної прокатки

оброблювана заготовка утримується в валках за допомогою спеціального пристосування. Обтискання заготовки по діаметру та додавання їй необхідної форми перерізу забезпечується профілюванням валків та зміною відстані між ними. Даним способом виготовляють спеціальні періодичні профілі, вироби представляють тіла обертання (кулі, осі, шестерні). *Попереочно-гвинтова прокатка* (рис. 8.2, в). Валки, що обертаються в одну сторону, встановлені під кутом один до одного. Метал, що прокатується отримує ще і поступальний рух. В результаті складання цих рухів кожна точка заготовки рухається по гвинтовій лінії. Застосовується для одержання пустотілих трубних заготовок. *Прокатні валки та стани*. В якості інструменту для прокатки застосовують прокатні валки, конструкція яких представлена на рис. 8.3. В залежності від прокатного профілю валки можуть бути гладкими (рис. 8.3, а), які застосовуються для прокатки листів, стрічок й т.п. та каліброваними у вигляді *струмків* (рис. 8.3, б) для отримання сортового прокату.

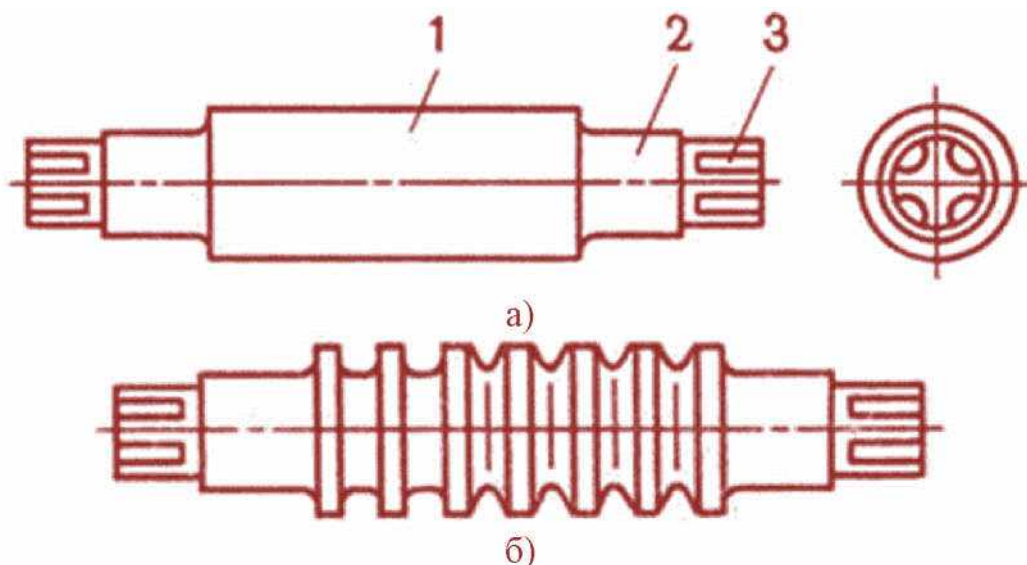


Рис. 8.3. Прокатні валки: а)-гладкий; б)-калібрований.

Струмок – проточка на бічній поверхні валка. Проміжки між струмками називаються *буртами*. Сукупність двох струмків утворює порожнину, яка називається *калібром*, кожна пара валків утворює кілька калібрів. Система послідовно розташованих калібрів, що забезпечує отримання необхідного профілю заданих розмірів називається *калібруванням*. Валки складаються з робочої частини бочки 1, шийок 2 та трефи 3. *Шийки* валків обертаються в підшипниках, які у одного з валків, можуть переміщатися спеціальним натискним механізмом, який служить для зміни відстані між валками та

регулюванням взаємного розташування осей. *Трефа* призначена для з'єднання валка з муфтою або шпинделем. Використовуються роликові підшипники з низьким коефіцієнтом тертя, $\mu=0,003\dots0,005$, що забезпечує великий термін служби. Процес прокатки здійснюють на спеціальних прокатних станах. *Прокатний* стан-комплекс машин для деформування металу в валках, що обертаються та виконання допоміжних операцій (транспортування, нагрів, термічна обробка, контроль та ін.). Устаткування для деформування металу називається *основним* та розташовується на головній лінії прокатного стану (лінії робочих клітей). *Головна лінія прокатного стану* складається з робочої клітей та лінії приводу, що включає двигун, редуктор, шестеренні клітей, муфти, шпинделі. Схема головної лінії прокатного стану представлена на рис. 8.4.

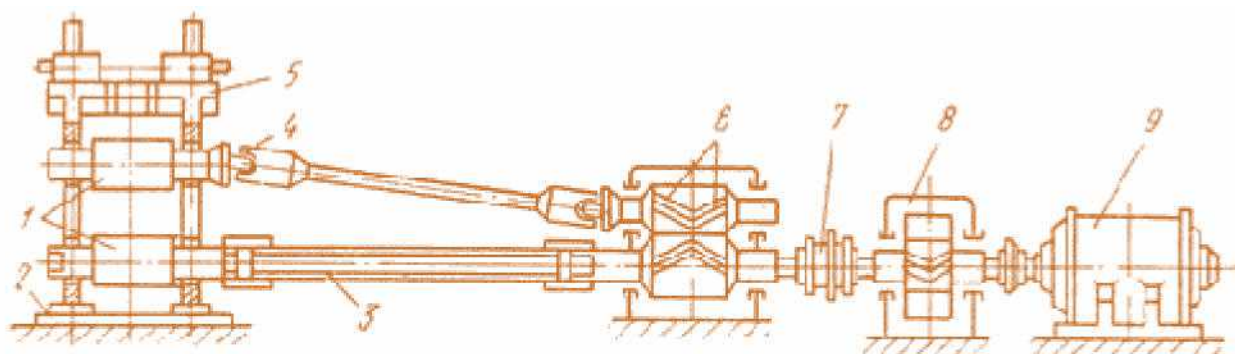


Рис. 8.4. Схема головної лінії прокатного стану: 1-прокатні валки; 2-плита; 3-трєфовий шпиндель; 4-універсальний шпиндель; 5-робоча клітей; 6-шестеренна клітей; 7-муфта; 8-редуктор; 9-двигун.

Прокатні валки 1 встановлені в робочій клітей 5, яка сприймає тиск прокатки. Визначальною характеристикою робочої клітей є розміри прокатних валків: діаметр (для сортового прокату) або довжина (для листового прокату) бочки. Залежно від числа та розташування валків в робочій клітей розрізняють прокатні стани: двовалкові (дуо-стан), тривалкові (трю-стан), чотирьохвалкові (кварто-стан) та універсальні (рис. 8.5).

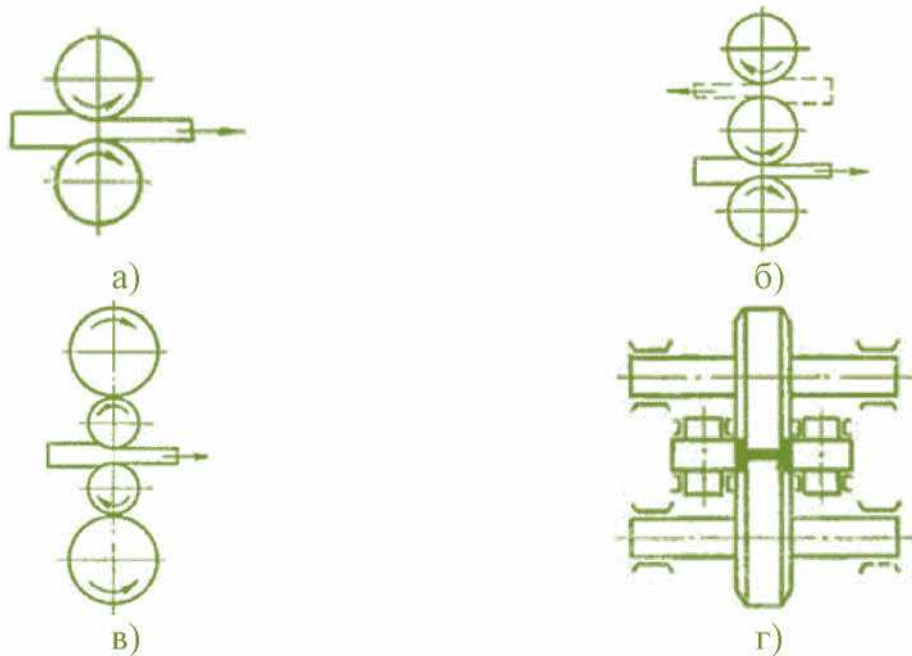


Рис. 8.5. Робочі кліті прокатних станів

У двовалкових клітях (рис. 8.5, а) здійснюється тільки по одному пропуску металу в одному напрямку. Метал в тривалкових клітях (рис. 8.5, б) рухається в одну сторону між нижнім та верхнім, а у зворотному між середнім та верхнім валками. У чотирьохвалкових клітях (рис. 8.5, в) встановлюються опорні валки, які дозволяють застосовувати робочі валки малого діаметра, завдяки чому збільшується витяжка та знижуються деформуючі зусилля. Універсальні кліті (рис. 8.5, г) мають не приводні вертикальні валки, які знаходяться між опорами підшипників горизонтальних валків та в одній площині з ними. Шестеренна кліть 6 призначена для розподілу крутного моменту двигуна між валками. Це одноступінчатий редуктор, передавальне відношення якого рівне одиниці, а роль шестерень виконують шестеренні валки. Шпинделі призначені для передачі крутного моменту від шестеренної кліті прокатних валків при відхиленні від співвісності до $10... 12^\circ$. При незначному переміщенні у вертикальній площині застосовують шпинделі тріфогового типу 3 в комплекті з тріфогою муфтою. Внутрішні характеристики профілю тріфогових муфт відповідають формі перерізу хвостовика валка або шпинделя. Муфтою передбачений зазор $5...8$ мм, що допускає можливість роботи з перекосом $1...2^\circ$. При значних переміщеннях валків у вертикальній площині вісь шпинделя може утворювати значний кут з горизонтальною площиною, в цьому випадку застосовують шарнірні або універсальні шпинделі 4, які можуть передавати крутний момент прокатним валкам при перекосі

шпинделю до 10... 12°. В якості двигуна прокатного стану 9 застосовують двигуни постійного та змінного струму, тип та потужність залежать від продуктивності стану. Редуктор 8 використовується для зміни чисел оборотів при передачі руху від двигуна до валків. Зубчасті колеса зазвичай шевронні з нахилом спіралі 30°. За призначенням прокатні стани підрозділяють на стани для виробництва напівпродукту та стани для випуску готового прокату. *Виробництво основних видів прокату.* Форма поперечного перерізу називається профілем прокату. Сукупність профілів різної форми та розмірів називається сортаментом. В залежності від профілю прокат ділиться на чотири основні групи: листовий, сортовий, трубний та спеціальний. Листовий прокат зі сталі та кольорових металів підрозділяється на товстолистовий (4...60 мм), тонколистовий (0,2...4 мм) та жесьть (менше 0,2 мм). Товстолистовий прокат отримують в гарячому стані, інші види листового прокату в холодному стані. Прокатку листів та стрічок проводять в гладких валках. Серед сортового прокату розрізняють:

- заготовки круглого, квадратного та прямокутного перерізу для кування й прокатки;

- прості сортові профілі (коло, квадрат, шестигранник, стрічка);

- фасонні сортові профілі:

- профілі загального призначення (куток, швелер, тавр, двотавр);

- профілі галузевого призначення (залізничні рейки, автомобільний обід);

- профілі спеціального призначення (профіль для ресор, напилків).

Трубний прокат отримують на спеціальних трубопрокатних станах. Розрізняють безшовні гарячекатані труби діаметром 25...550 мм та зварні діаметром 5...2500 мм. Труби є продуктом вторинного переділу круглої та плоскої заготовки. Загальна схема процесу виробництва безшовних труб передбачає дві операції: 1 - отримання товстостінної гільзи (прошивка); 2- отримання з гільзи готової труби (розкочування). Перша операція виконується на спеціальних прошивальних станах в результаті поперечно-гвинтової прокатки. Другу операцію виконують на трубопрокатних станах різних конструкцій: пілігримових, автоматичних та ін. *Спеціальні види прокату.* *Періодичний профіль*, що змінюється за певним законом, який повторюється по

довжині. Періодичні профілі отримують повздовжньою, поперечною та гвинтовою прокаткою. При поздовжній періодичній прокатці отримують профілі з одностороннім періодом, з двостороннім співпадаючим періодом, з незбіжним верхнім та нижнім періодом. Остаточну форму виробу надають за один прохід. Довжина періоду профілю визначається довжиною кола валка. При кожному оберті валків з них повинен виходити відрізок смуги з цілим числом періодів, тому найбільша довжина періоду не може бути більше довжини кола валків. Поперечна прокатка періодичних профілів характеризується тим, що заготовка та готовий профіль представляють собою тіла обертання.

8.2. Пресування. Сутність процесу пресування

Пресування – тип обробки тиском, при якому метал видавлюється із замкнутої порожнини через отвір в матриці, який відповідає перерізу пресованого профілю. Це сучасний спосіб отримання різних профільних заготовок: прутків діаметром 3...250 мм, труб діаметром 20...400 мм з товщиною стінки 1,5... 15 мм, профілів складного перерізу суцільних та порожнистих з площею поперечного перерізу до 500 см². В даний час в якості вихідної заготовки використовують злитки або прокат з вуглецевих та легованих сталей, а також з кольорових металів та сплавів на їх основі (мідь, алюміній, магній, титан, цинк, нікель, цирконій, уран, торій). Технологічний процес пресування включає наступні операції:

-підготовка заготовки до пресування (розрізання, попереднє обточування на верстаті, так як якість поверхні заготовки впливає на якість та точність профілю);

-нагрів заготовки з подальшим очищенням від окалини;

-укладання заготовки в контейнер;

-безпосередньо процес пресування;

-обробка виробу (відділення прес-залишку, розрізання).

Пресування проводиться на гідравлічних пресах з вертикальним або горизонтальним розташуванням плунжера, потужністю до 10000 тон. *Методи*

пресування. Застосовуються два методи пресування: прямий та зворотний (рис. 8.6). При *прямому* пресуванні рух пуансона преса та витікання металу через отвір матриці відбуваються в одному напрямку.

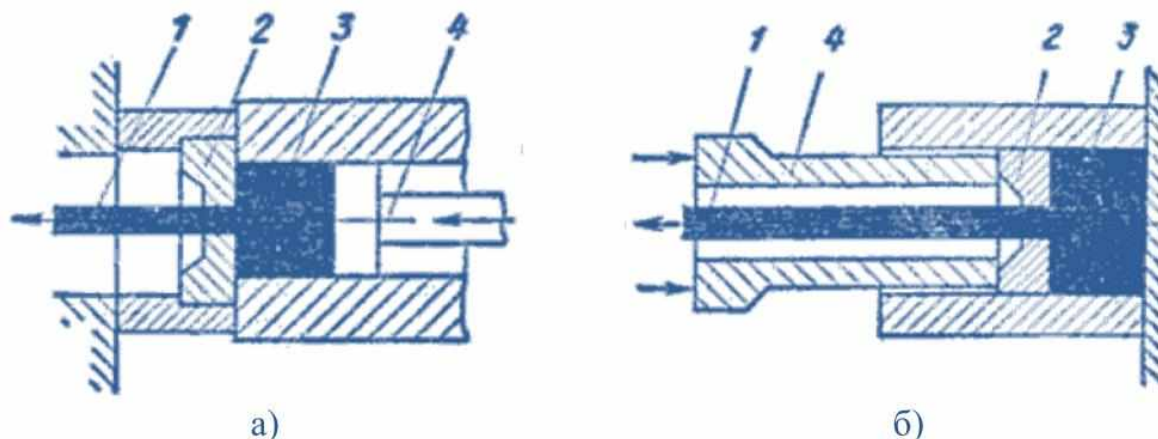


Рис. 8.6. Схеми пресування прутка: а)-прямий метод; б)-зворотний метод;
1-готовий пруток; 2-матриця; 3-заготовка; 4-пуансон.

При прямому пресуванні потрібно прикладати значно більше зусилля, так як потужність витрачається на подолання тертя при переміщенні металу заготовки всередині контейнера. Прес-залишок складає 18...20% від маси заготовки (в деяких випадках 30...40%). Але процес характеризується більш високою якістю поверхні, схема пресування більш проста.

При *зворотному* пресуванні заготовку поміщають в глухий контейнер, і вона при пресуванні залишається нерухомою, а витікання металу з отвору матриці, яка кріпиться на кінці порожнистого пуансона, відбувається в напрямку, зворотному руху пуансона з матрицею. Зворотне пресування вимагає менших зусиль, прес-залишок становить 5...6%. Однак менша деформація призводить до того, що пресований пруток зберігає сліди структури литого металу. Конструктивна схема більш складна. Процес пресування оцінюється наступними основними величинами: коефіцієнтом витяжки, ступенем деформації та швидкістю витікання металу з отвору матриці. Коефіцієнт витяжки λ визначають як відношення площі перерізу контейнера P_k до площі перерізу всіх отворів матриці P_m . Ступінь деформації залежність (8.4)

$$\varepsilon = \frac{F_k - F_m}{F_k} \times 100\%, \quad (8.4)$$

Швидкість витікання металу з отвору матриці пропорційна коефіцієнту витяжки та визначається за формулою (8.5)

$$V_M = \frac{F_K \times V_{II}}{F_M} = \lambda \times V_{II}, \quad (8.5)$$

де: (V)-швидкість пресування (швидкість руху пуансону). При пресуванні метал піддається всебічному нерівномірному стиску і має дуже високу пластичність. До основних переваг процесу відносяться:

-можливість обробки металів, які через низьку пластичність іншими методами обробити неможливо;

-можливість отримання практично будь-якого профілю поперечного перерізу;

-отримання широкого асортименту виробів на одному и тому ж пресовому обладнанні зі заміною тільки матриці;

-висока продуктивність, до 2...3 м/хв.

Недоліки процесу:

-підвищена витрата металу на одиницю виробу, через втрати у вигляді прес-залишку;

-утворення в деяких випадках помітної нерівномірності механічних властивостей по довжині та поперечному перерізу виробу;

-висока вартість та низька стійкість пресового інструменту;

-висока енергоємність.

4.3. Волочіння. Сутність процесу.

Сутність процесу волочіння полягає в протягуванні заготовок через звужуючий отвір (філь'єру) в інструменті, який називається *волока*. Конфігурація отвору визначає форму одержуваного профілю. Схема волочіння представлена на рис. 8.7.

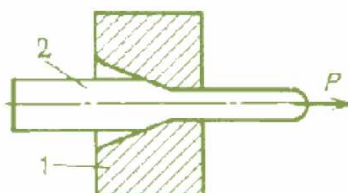


Рис. 8.7. Схема волочіння: 1-волока; 2-заготовка.

Волочінням отримують дрiт дiаметром 0,002...4 мм, прутки та профiлi фасонного перерiзу, тонкостiннi труби, в тому числi й капiлярнi. Волочiння застосовують також для калiбрування перерiзу та пiдвищення якостi поверхнi оброблюваних виробiв. Волочiння найчастiше виконують при кiмнатнiй температурi, коли пластичну деформацiю супроводжує наклеп, це використовують для пiдвищення механiчних характеристик металу, наприклад, межа мiцностi зростає в 1,5...2 рази. Вихiдним матерiалом для волочiння може бути гарячекатаний пруток, сортовий прокат, дрiт, труби. Волочiнням обробляють сталi рiзного хiмiчного складу, кольоровi метали та сплави, в тому числi й дорогiцiннi. *Інструмент та обладнання для волочiння.* Основний iнструмент для волочiння волоки рiзної конструкцiї. Волока працює в складних умовах: велике напруження поєднується зi зношуванням при протягуванні, тому iх виготовляють з твердих сплавiв. Для одержання особливо точних профiлiв волоки виготовляють з алмазу. Конструкцiя iнструменту представлена нарис. 8.8.

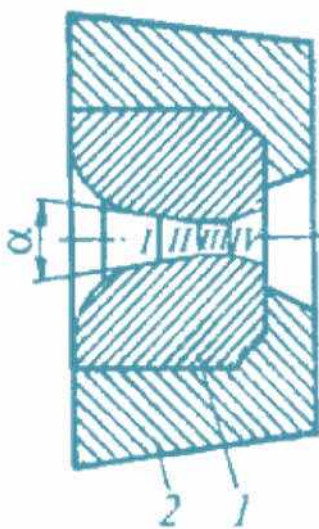


Рис. 8.8. Загальний вигляд волоки: 1-волока; 2-обойма.

Волоки мають складну конструкцiю, її складовими частинами є: забiрна частина *I*, яка включає вхiдний конус та мастильну частину; деформуюча частина *II* з кутом при вершинi (6... 18° для пруткiв, 10...24° для труб); цилiндричний калiбр поясок *III* довжиною 0,4... 1 мм; вихiдний конус *IV*.

Технологічний процес волочіння здійснюється на спеціальних волочильних станах. В залежності від типу тягнучого пристрою розрізняють стани: з прямолінійним рухом металу, що протягується (ланцюговий, рейковий); із намотуванням оброблюваного металу на барабан (барабанний). Стани барабанного типу зазвичай застосовуються для отримання дроту. Число барабанів може доходити до двадцяти. Швидкість волочіння досягає 50 м/с. Процес волочіння характеризується наступними параметрами: коефіцієнтом витяжки та ступенем деформації. Коефіцієнт витяжки визначається відношенням кінцевої та початкової довжини або початковою та кінцевою площі поперечного перерізу. Зазвичай за один прохід коефіцієнт витяжки 2 не перевищує значення 1,3, а ступінь деформації $\leq 30\%$. При необхідності отримати більшу величину деформації виготовляють багаторазове волочіння.

ЛЕКЦІЯ №9. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБРОБКИ ТИСКОМ

План лекції

9.1. Загальна характеристика ОТ та вплив пластичної деформації на структуру та властивості металів

9.1. Загальна характеристика ОТ та вплив пластичної деформації на структуру та властивості металів

Обробкою тиском називаються процеси отримання заготовок або деталей машин силовою дією інструменту на вихідну заготовку з вихідного матеріалу. Обробка тиском полягає в перетворенні заготовки простої форми в деталь складнішої форми того ж об'єму, за рахунок пластичної деформації. Обробкою тиском отримують не лише задану форму та розміри, але й забезпечують необхідну якість металу, надійність роботи виробу. Висока продуктивність обробки тиском, низька собівартість та висока якість продукції привели до широкого застосування ОТ технології. *Фактори, які впливають на пластичність метала.* На пластичність металу впливають схеми напруженого стану, які графічно відображують наявність та напрям головного напруження в даній точці тіла на трьох нескінченно малих гранях куба, відповідно перпендикулярних головним осям. Можливі дев'ять схем напруженого стану (рис. 9.1, а). Напружений стан в точці може бути лінійним, плоским або об'ємним.

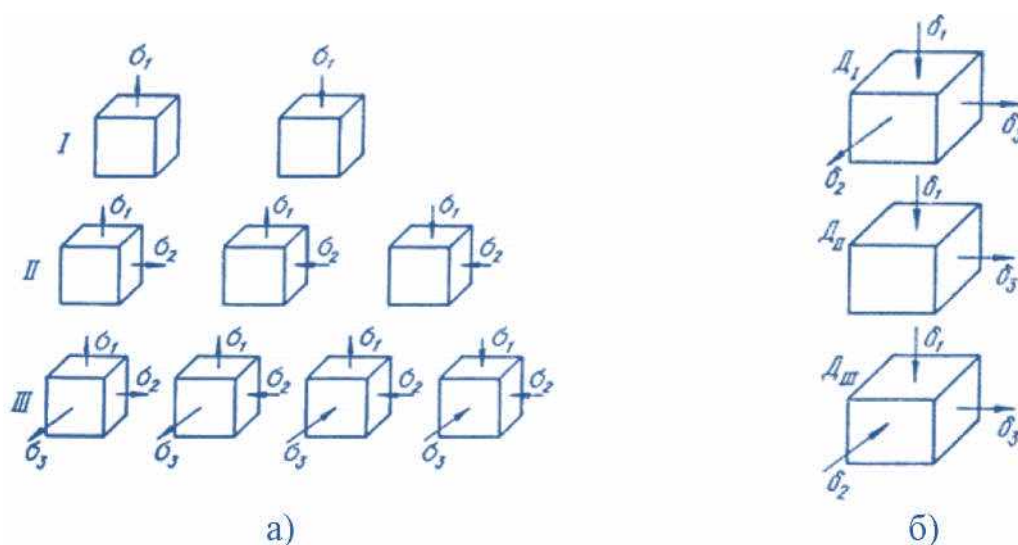


Рис. 9.1. Схеми напруженого (а) та деформованого (б) станів: /-лінійний напружений стан; //-плоский; ///-об'ємний.

Схеми з напругою одного знаку називають *однойменними*, а з напругою різних *знаків-різнойменними*. Умовно напруження, що розтягують вважаються *позитивними*, а напруження, що *стискають-негативними*. Схема напруженого стану впливає на пластичність металу. На значення головного напруження істотно впливають сили тертя, що виникають в місці контакту заготовки з інструментом та форма інструменту. В умовах усестороннього нерівномірного стискування при пресуванні, куванні, штампуванні стискує напруження перешкоджає порушенню міжкристалічних зв'язків, спричинює розвиток внутрішньо кристалічних порушень, що позитивно впливає на процеси обробки металів тиском. У реальних процесах обробки тиском в більшості випадків зустрічаються схеми усестороннього стискування та стану з одним розтягуючим та двома стискуєчими напруженнями. Схема деформованого стану (рис. 9.1, б) графічно відображує наявність та напрям деформації по трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Можливі три схеми деформованого стану. При схемі D_I зменшуються розміри тіла по висоті, за рахунок цього збільшуються два інших розміра (осадка, прокатка). При схемі D_a відбувається зменшення одного розміру, частіше висота, інший розмір (довжина) збільшується, а третій (ширина) не змінюється. Наприклад, прокатка широкого листа, коли його ширина в процесі прокатки практично не змінюється. Це схема плоскої деформації.

Найбільш раціональною з точки зору продуктивності процесу обробки тиском є схема D_{ni} - розміри тіла зменшуються по двом напрямкам, та збільшується третій розмір (пресування, волочіння). Сукупність схем головної напруги й головних деформацій характеризують пластичність металу. Напружений стан при пресуванні металу характеризується такою ж схемою напруженого стану, як і при куванні, а схема головних деформацій характеризується двома деформаціями стискування та розтягування. При куванні та штампуванні напруження розтягування грає велику роль, тому пластичність металу менша. Процеси обробки металів тиском характеризуються певними закономірностями. Закон постійності об'єму. Пластична деформація практично не впливає на щільність металу, тому діє закон постійності об'єму: об'єм тіла при його пластичній деформації залишається незмінним залежність (9.1).

$$H \times B \times L = h \times b \times l, \frac{h \times b \times l}{H \times B \times L} = 1, \quad (9.1)$$

де: H - висота; B - ширина; L - довжина (розміри тіла до деформації);
 h - висота; b - ширина; l - довжина (розміри тіла після деформації).

Закон застосовується для розрахунків об'єму та розмірів вихідної заготовки, необхідної для отримання поковки із заданими розмірами, а також переходів та зміни розмірів заготовки в процесі деформації. *Закон подібності.* При здійсненні в однакових умовах одних і тих же процесів пластичної деформації геометрично подібних тіл з однакового матеріалу відношення зусиль деформації дорівнює квадрату, а відношення витрачених робіт кубу співвідношень відповідних лінійних розмірів. Цей закон, заснований на принципі моделювання, використовується для наближеного визначення зусиль деформації та роботи, що витрачається. *Закон найменшого опору.* В разі можливості переміщення точок тіла, що деформується, в різних напрямках, кожна точка переміщається у напрямку найменшого опору. Закон дозволяє врахувати переважний напрямок перебігу металу, визначати, яка частина порожнини штампу заповниться швидше, які розміри та форму матиме поперечний переріз заготовки в результаті її обробки тиском. По цьому закону, за наявності тертя на контактній поверхні, заготовка прямокутного перерізу при осіданні набуватиме округлої форми, що має найменший периметр при даній площі. В цьому випадку напрямком найменшого опору є найкоротша нормаль до периметра перерізу. Деформацію прийнято оцінювати наступними величинами.

1. Абсолютні деформації:

$H-L=L$ -обтискання;

$B-B=A$ - розширення;

$L-L=D$ - подовження.

2. Відносні деформації:

$$\Delta h = \frac{\Delta h}{H} \times 100\% \quad - \text{відносне обтискання};$$

$$\Delta b = \frac{\Delta b}{B} \times 100\% \quad - \text{відносне розширення};$$

$$\Delta l = \frac{\Delta l}{L} \times 100\% \quad - \text{відносне подовження.}$$

3. Коефіцієнт, який визначає змінення довжини виробу, що

оброблюється називається коефіцієнтом витяжки $\mu = \frac{l}{L}$. Відповідно закону

постійності об'єму $\mu = \frac{f}{F}$ (де: F - площа поперечного перерізу до деформації, f - площа поперечного перерізу після деформації).

Швидкість деформації-зменшення відносної деформації за одиницю часу

$$W = \frac{d\varepsilon}{dt}; W_{cp.} = \frac{\varepsilon}{t} \left(c^{-1}, \frac{\%}{c} \right), \quad (9.2)$$

де: /.-ступінь деформації; /-час.

Швидкість деформації слід відрізняти від швидкості руху деформуючого інструменту та швидкості перебігу металу при деформації. Діапазон швидкостей деформації складає $10^{-1} \dots 10^3, c^{-1}$. *Технологічні властивості*. При виборі металу або сплаву для виготовлення виробу різними способами обробки тиском враховується здатність металу сприймати пластичну деформацію. Наприклад ковкість - властивість металу змінювати свою форму під дією ударів або тиску, не руйнуючись. Величина ковкості залежить від багатьох факторів. Найбільш істотним з них є *пластичність*, що характеризує здатність металу деформуватися без руйнування. Чим вище пластичність матеріалу, тим більшу величину сумарного обтискання він витримує. В умовах обробки металів тиском на пластичність впливають багато чинників: склад та структура металу, що деформується, характер напруженого стану при деформації, нерівномірність деформації, швидкість деформації, температура деформації та ін. Змінюючи ті або інші чинники, можна змінювати пластичність. *Склад та структура металу*. Пластичність знаходиться в прямій залежності від хімічного складу металу. З підвищенням вмісту вуглецю в сталі пластичність зменшується. Істотний вплив мають елементи, що входять до складу сплаву як домішки. Олово, сурма, свинець, сірка не розчиняються в металі і, розташовуючись по границях зерен, ослабляють зв'язки між ними. Температура плавлення цих елементів низька, при нагріванні в умовах гарячої деформації вони плавляться,

що призводить до втрати пластичності. Пластичність залежить від структурного стану металу, особливо при гарячій деформації. Неоднорідність мікроструктури знижує пластичність. Однофазні сплави, за інших рівних умов, завжди пластичніше, чим двофазні. Фази мають різні механічні властивості, і деформація відбувається нерівномірно. Дрібнозернисті метали пластичніше грубозернистих. Метал злитків менш пластичний, чим метал прокатої або кованої заготовки, оскільки лита структура має різку неоднорідність зерен, включення та інші дефекти. *Характер напруженого стану.* Один і той же метал проявляє різну пластичність при зміні схеми напруженого стану. Ще в 1912 році німецька вчена Кишеня осаджувала зразки з мармуру і піщанику, поміщені в товстостінний циліндр, в який нагнітався гліцерин під тиском до 170 мН/м^2 . Деформація відбувалася при схемі всебічного стискування. В результаті залишкова деформація зразків склала 9%, надалі вдалося досягти деформацію в 78%. Схема всебічного стискування є найбільш сприятливою для виникнення пластичних властивостей, оскільки при цьому ускладнюється деформація між зернами й вся деформація протікає в кожному зерні. З'явлення в схемі напруження на розтягання знижує пластичність. Найнижча пластичність спостерігається при схемі всебічного розтягування. *Нерівномірність деформації.* Чим більше нерівномірність деформації, тим нижче пластичність. Нерівномірність деформації викликає додаткове напруження, яке знімається лише в тому випадку, якщо швидкість процесів, які зменшують міцність не менше швидкості деформації. Напруження на розтягування завжди знижує пластичність та сприяє крихкому руйнуванню. Крім того, нерівномірність напруженого стану знижує механічну міцність матеріалу, оскільки напруга від зовнішнього навантаження додається до залишкового напруження на розтягування, завдяки цьому відбувається руйнування при меншому навантаженні. *Швидкість деформації.* З підвищенням швидкості деформації в умовах гарячої деформації пластичність знижується.. *Вплив температури.* Якісна залежність пластичності від температури представлена на рис. 9.2.

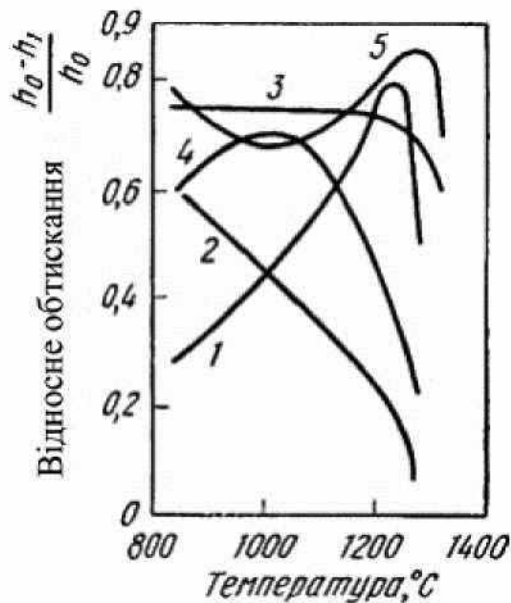


Рис. 9.2. Вплив температури на пластичність сталей

Вплив температури неоднозначний. Низьковуглецеві та середньовуглецеві сталі, з підвищенням температури, стають пластичніше (1). Високолеговані сталі мають велику пластичність в холодному стані (2). Для шарикопідшипникових сталей пластичність практично не залежить від температури (3). Окремі сплави можуть мати інтервал підвищеної пластичності (4). Технічне залізо в інтервалі 800...1000°C характеризується зниженням пластичних властивостей (5). При температурах, близьких до температури плавлення пластичність різко знижується із-за можливого перегріву й перепалу.

Холодна та гаряча обробка металів тиском. Пластична деформація в обробці металів тиском здійснюється при різних схемах напруженого та деформованого станів, при цьому вихідна заготовка може бути об'ємним тілом, прутком, листом. За призначенням процеси обробки металів тиском поділяються на групи:

-для отримання виробів постійного поперечного перерізу по довжині (прутків, дроту, стрічок, листів), які використовуються в будівельних конструкціях або як заготовки для подальшого виготовлення деталей, (прокатки, волочіння, пресування);

-для отримання деталей або заготовок, що мають форми та розміри, наближені до розмірів та форм готових деталей, що вимагають механічної обробки для отримання ними остаточних розмірів та заданої якості поверхні,

(кування, штампування). Основними схемами деформації об'ємної заготовки є:

- стискування між плоскістю інструменту (кування);
- ротаційне обтискання валками, що обертаються (прокатка);
- затікання металу в порожнину інструменту (штампування);
- витискування металу з порожнини інструменту (пресування);
- витягування металу з порожнини інструменту (волочіння).

Характер пластичної деформації залежить від співвідношення процесів зміцнення та зворотного процесу. Губкіним С.І. запропоновано розрізняти види деформації і, відповідно, види обробки тиском. *Гаряча* деформація - деформація, після якої метал не отримує зміцнення. Рекристалізація встигає пройти повністю, нові рівновісні зерна повністю замінюють деформовані зерна, змінення кристалічної решітки відсутні. Деформація має місце при температурах вище за температуру початку рекристалізації. *Неповна гаряча деформація* характеризується незавершеністю процесу рекристалізації, яка не встигає закінчитися, оскільки швидкість її недостатня в порівнянні з швидкістю деформації. Частина зерен залишається деформованою і метал зміцнюється. Виникає значне залишкове напруження, яке може привести до руйнування. Така деформація найбільш вірогідна при температурі, що трохи перевищує температуру початку рекристалізації. Її слід уникати при обробці тиском. При *неповній холодній деформації* рекристалізація не відбувається, але протікають процеси повернення. Температура деформації декілька вище за температуру повернення, а швидкість деформації менше швидкості повернення. Залишкове напруження значною мірою знімаються, інтенсивність зміцнення знижується. При *холодній деформації* процеси, які зменшують міцність не відбуваються. Температура холодної деформації нижче температури початку повернення. Холодна та гаряча деформації не пов'язані з деформацією з нагрівом або без нагріву, а залежать лише від протікання процесів зміцнення та зворотного процесу. Тому, наприклад, деформація свинцю, олова, кадмію та деяких інших металів при кімнатній температурі є з цієї точки зору гарячою деформацією.

Лекція №10. ПРОЦЕСИ КУВАННЯ

План лекції

- 10.1. Кування.
- 10.2. Гаряче об'ємне штампування.
- 10.3. Холодне об'ємне штампування.
- 10.4. Листове штампування.

10.1. Кування.

Кування-спосіб обробки тиском, при якому деформація нагрітого (рідше холодного) металу здійснюється або багаторазовими ударами молота або одноразовим тиском преса. Формоутворення при куванні відбувається за рахунок пластичної течії металу в напрямках, перпендикулярних до руху деформуючого інструменту. При вільному куванні перебіг металу обмежений частково, тертям на контактній поверхні деформується метал (поверхня інструменту): бойків плоских або фігурних, підкладних штампів. Куванням отримують різноманітні поковки масою до 300 тон. Первинною заготовкою для поковок є:

- злитки, для виготовлення масивних великогабаритних поковок;
- прокат сортовий гарячекатаний простого профілю (коло, квадрат).

Кування може проводитися в гарячому та холодному стані. Холодному куванню піддаються дорогоцінні метали, такі як золото, срібло; а також мідь. Технологічний процес холодного кування складається з двох змінних операцій: деформації металу та рекристалізаційного відпалу. У сучасних умовах холодна ковка зустрічається рідко, в основному в ювелірному виробництві. Гаряче кування застосовується для виготовлення різних виробів, а також інструментів: чеканів, зубил, молотків та ін. Матеріалом для гарячого кування є низьковуглецеві сталі, вуглецеві інструментальні та деякі леговані сталі. Кожна марка сталі має певний інтервал температур початку та кінця кування, залежний від складу та структури оброблюваного металу. *Обладнання для кування.* В якості устаткування застосовуються кувальні молоти та кувальні преси. Устаткування вибирають залежно від режиму кування даного металу або

сплаву, маси поковки її конфігурації. Необхідну потужність обладнання визначають за наближеними формулами або довідковими таблицями. *Молоти-машини* динамічної ударної дії. Тривалість деформації на них становить тисячні долі секунди. Метал деформується за рахунок енергії, накопиченої падаючими частинами молота до моменту їх співудару з заготовкою. Частина енергії втрачається на пружні деформації інструменту та коливання *шаботу* (деталі, на яку встановлюють нижній бойок). Чим більше маса шабота, тим вище ККД. Зазвичай маса шаботу в 15 разів перевищує масу падаючих частин, що забезпечує ККД на рівні 0,8...0,9. Для отримання поковок масою до 20 кг застосовують кувальні пневматичні молоти, що працюють на стислому повітрі. Сила удару визначається силою тиску стислого повітря, та може регулюватися в широких межах. Маса падаючих частин становить 50...1000 кг. Основні параметри молотів регламентуються ГОСТом. Для отримання поковок масою до 350 кг застосовують кувальні пароповітряні молоти. Вони приводяться в дію паром або стислим повітрям тиском 0,7...0,9 МПа. Маса падаючих частин складає 1000...8000 кг. Параметри регламентуються ГОСТом. Розрізняють молоти простої дії, коли пар або повітря тільки піднімають поршень, та подвійної дії, коли енергоносій створює додаткове деформуюче зусилля. *Преси кувальні гідравлічні-машина* статичної дії. Тривалість деформації становить до десятків секунд. Метал деформується приложеними силами, які створюються за допомогою рідини (водної емульсії або мінерального масла), що подається в робочий циліндр преса. Вибираються преси за величиною номінального зусилля, яке складає 5...100 МН. Застосовують пресове обладнання в основному для отримання великих заготовок із злитків.

10.2. Гаряче об'ємне штампування

Сутність процесу та види гарячого штампування. Об'ємним штампуванням називають процес отримання поковок, при якому формоутворювальну порожнину штампу, яка називається *струмком*, примусово заповнюють металом вихідної заготовки, за рахунок чого відбувається перерозподіл заданої кресленням конфігурації. Застосування об'ємного штампування виправдовує себе при серійному та масовому виробництві. При використанні цього способу значно підвищується продуктивність праці, знижуються відходи металу, забезпечуються високі точність форми виробу та якість поверхні. Штампуванням можна одержувати дуже складні за формою вироби, які неможливо отримати методами вільного кування. Об'ємне штампування здійснюють при різних температурах вихідної заготовки та відповідно до температури поділяють на холодне та гаряче. Найбільш широке поширення набуло гаряче об'ємне штампування (ГОШ), яке проводять в інтервалі температур, що забезпечує зняття зміцнення. Вихідним матеріалом для гарячого об'ємного штампування є сортовий прокат, пресовані прутки, лита заготовка, у крупносерійному виробництві періодичний прокат, що забезпечує зменшення підготовчих операцій. Основна операція ГОШ може бути виконана за один або декілька переходів. При кожному переході формоутворення здійснюється спеціальною робочою порожниною штампа струмком (гравюрою). Переходи та струмки діляться на дві групи: заготівельні та штампувальні. Схема технологічного процесу одержання складної заготовки в декількох струмках представлена на рис. 10.1.

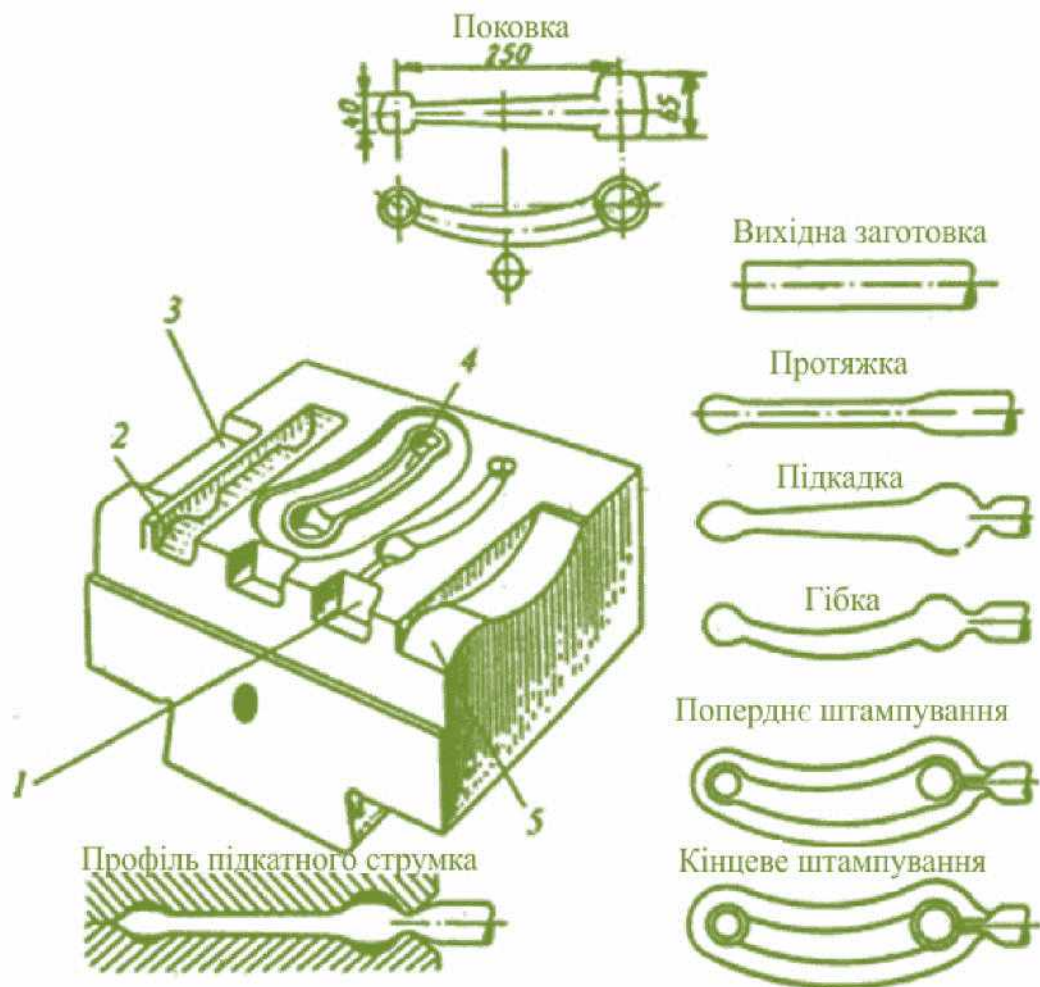


Рис. 10.1. Стадії отримання складної поковки в декількох струмках: 1-черновий струмок; 2-підкатний струмок; 3-протяжний струмок; 4-чистовий струмок; 5-гибочний струмок.

Заготівельні струмки призначені для фасонування в штампах. Фасонування-перерозподіл металу заготовки з метою надання їй форми, що забезпечує подальше штампування з невеликим відходом металу. До заготівельних струмків відносяться протяжні, підкатні, гибочні та пережимні, а також площадка для осадки. Протяжний струмок призначений для збільшення довжини окремих ділянок заготовки за рахунок зменшення площі їх поперечного перерізу, впливом частих слабких ударів з кантуванням заготовки. *Підкатний струмок* служить для місцевого збільшення перерізу заготовки (набору металу) за рахунок зменшення перерізу поруч розташованих ділянок, тобто для розподілу об'єму металу вздовж осі заготовки відповідно до розподіленого у поковці. Перехід здійснюється за декілька ударів з кантуванням. *Пережимний струмок* призначений для зменшення

вертикального розміру заготовки в місцях, що вимагають збільшення ширини. Виконується за 1...3 удари. Гнучкий струмок застосовують тільки при штампуванні поковок, які мають вигнуту вісь. Служить для додання заготовці форми поковки в площині роз'єму. З гибочного струмка в наступний заготовку передають з поворотом на 90°. При штампуванні поковок, що мають у плані форму кола або близьку до неї, часто застосовують осадку вихідної заготовки до необхідних розмірів по висоті та діаметру. Для цього на площині штампу передбачена площадка для осадки. *Штампувальні струмки* призначені для отримання готової поковки. До штампувальних струмків відносяться чорновий (попередній) та чистовий (кінцевий). *Чорновий струмок* призначений для максимального наближення форми заготовки до форми поковки складної конфігурації. Глибина струмка дещо більше, а поперечні розміри менше, ніж у чистового струмка (щоб заготовка вільно розміщувалася в чистовому струмку). Радіуси округлення та ухили збільшуються. У відкритих штампах чорновий струмок не має облойної канавки. Застосовується для зниження зносу чистового струмка, але може й не застосовуватись. *Чистовий струмок* служить для одержання готової поковки, має розміри «гарячої поковки», тобто більше, ніж у холодної поковки, на величину усадки. У відкритих штампах по периметру струмка передбачена облойна канавка, для прийому надлишкового металу. Чистовий струмок розташований в центрі штампу, так як в ньому виникають найбільші зусилля при штампуванні. Технологічний процес ГОШ відрізняється значною різноманітністю та визначається вибором самого виробу та устаткуванням, яке застосовується. Технологічний процес залежить від форми поковки. За формою поковки діляться на дві групи: диски та поковки подовженої форми. До першої групи відносяться круглі або квадратні поковки, що мають порівняно невелику довжину: шестерні, диски, фланці, маточини, кришки та ін. Штампування таких поковок проводиться осадкою в торець вихідної заготовки із застосуванням тільки штампувальних переходів. До другої групи належать поковки подовженої форми: вали, важелі, шатуни та ін. Штампування таких поковок проводиться протяжкою вихідної заготовки. Перед кінцевим штампуванням таких поковок у штампувальних струмках

потрібно фасонування вихідної заготовки в заготівельних струмках штампу, вільним куванням або на кувальних валках. Так як характер течії металу в процесі штампування визначається типом штампу, то цю ознаку можна вважати основною для класифікації способів штампування. В залежності від типу штампу виділяють штампування у відкритих та закритих штампах (рис. 10.2).

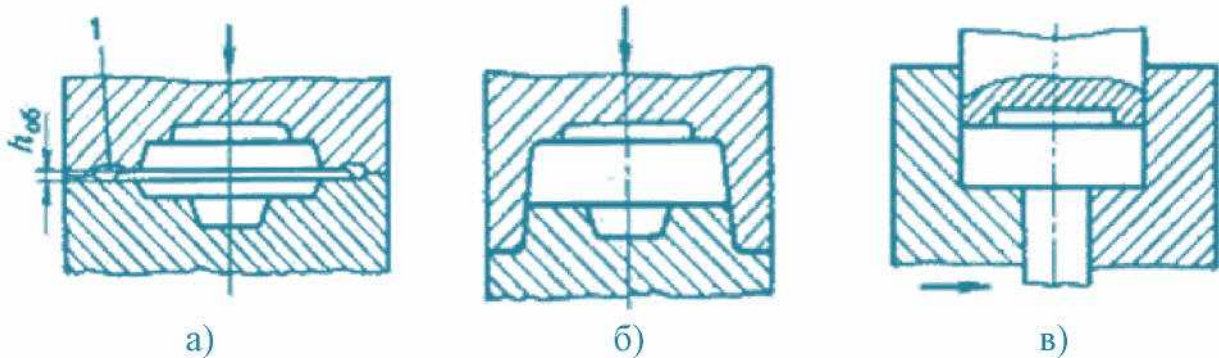


Рис. 10.2. Схеми штампування в відкритих та закритих штампах:

1-облойна канавка

Штампування у відкритих штампах (рис. 10.2, а) характеризується змінним зазором між рухомою та нерухомою частинами штампу. У цей зазор витікає частина металу (облой), який закриває вихід з порожнини штампу та змушує інший метал заповнювати всю порожнину. У кінцевий момент деформування в облой витискаються надлишки металу, що знаходяться в порожнині, що дозволяє не пред'являти високі вимоги до точності заготовок за масою. Штампуванням у відкритих штампах можна отримати поковки всіх типів. Штампування в закритих штампах (рис. 10.2, б) характеризується тим, що порожнина штампу в процесі деформування залишається закритою. Зазор між рухомою та нерухомою частинами штампу постійний та невеликий, утворення в ньому облою не передбачено технологічно. Пристрій таких штампів залежить від типу машини, на якій штамнують. Наприклад, нижня половина штампу може мати порожнину, а верхня виступ (на пресах), або верхня порожнину, а нижня виступ (на молотах). Закритий штамп може мати дві взаємно перпендикулярні площини роз'єму (рис. 10.2, в). При штампуванні в закритих штампах необхідно суворо дотримуватись рівноваги між об'ємом заготовки та поковки, інакше при недостатній кількості металу не будуть заповнюватися кути порожнини штампу, а при надлишку розмір поковки по

висоті буде більше необхідного. Відрізка заготовок повинна забезпечувати високу точність. Істотна перевага штампування в закритих штампах обумовлена зменшенням витрати металу через відсутність облою. Поковки мають кращу структуру, оскільки волокна обтікають контур поковки, а не перерізаються в місці виходу металу в облой. Метал деформується в умовах всебічного нерівномірного стиснення при великих стискаючих напругах, це дозволяє отримувати великі ступені деформації та штампувати малопластичні сплави. *Обладнання для гарячого об'ємного штампування.* Устаткуванням для гарячого об'ємного штампування є: штампувальні молоти, гарячештампувальні кривошипні преси, горизонтально-кувальні машини. Процеси штамповки на цих машинах мають свої особливості, які обумовлені пристроєм та принципом їх дії. *Гаряче об'ємне штампування на молотах.* Основним типом молотів є пароповітряні штампувальні молоти. їх конструкція дещо відрізняється від кувальних молотів. Стійка станини встановлюється безпосередньо на шаботі. Молоти мають посилені регульовані напрямні для руху бабки. Маса шаботу перевищує масу падаючих частин в 30 разів. Все це забезпечує необхідну точність співудару штампів. Маса падаючих частин становить 630...25000 кг. Використовуються молоти безшаботної конструкції. Шабот замінений рухомою нижньою бабкою, пов'язаної з верхньою бабкою механічним або гідравлічним зв'язком. Енергія удару поглинається механізмами молоту. При зіткненні верхньої та нижньої бабок розвивається значна енергія, що дозволяє штампувати поковки в однострумкових штампах. Особливостями ГОШ на молотах є ударний характер деформуючого впливу та можливість регулювання ходу рухомих частин та величини удару при одночасному кантуванні заготовки, що дозволяє більш ефективно проводити перерозподіл металу. На молотах можливе виконання всіх заготівельних переходів, в тому числі протяжки та підкату. Верхня частина штампу заповнюється краще. Частини штампу при штампуванні на молоті повинні змикатися. При закритому штампуванні на молотах застосовуються штампи з одним та двома замками. Конструкції штампів представлені на рис. 10.3.

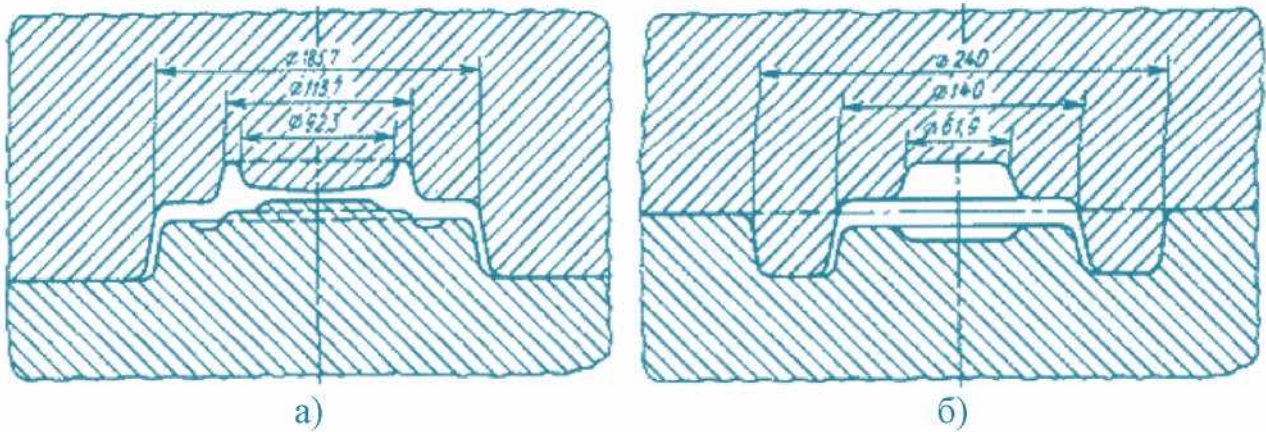


Рис. 10.3. Конструкції закритих молотових штамів:

а)-з одним замком; б)-з двома замками.

Штамп з одним замком використовуються частіше, так як вони простіше у виготовленні. Але вони вимагають точної наладки та гарного стану обладнання. Другий замок (більший конус) захищає перший замок та спрощує налагодження штампу, але при цьому збільшуються його розміри та маса. На молотах поковки виготовляються з найнижчими класами точності: *T4*, *T5*. Це обумовлено можливістю зміщення частин штампу, відсутністю направляючих в конструкції штампу, ударним характером деформування. Допустимі відхилення від номінальних розмірів поковки відповідають припускам, тому вони також є збільшеними. Ковальські напуски мають максимальні значення. Зважаючи на ударний характер роботи молота в конструкції штампу не можна використовувати виштовхувачі, тому для видалення поковки із струмка штампу на вертикальних поверхнях поковок оформляються значні штампувальні ухили: зовнішні до 7° , внутрішні до 10° . Радіуси округлення призначаються для полегшення перебігу металу, підвищення стійкості штампу, забезпечення розташування волокон. *Гаряче об'ємне штампування на пресах.* Найбільш часто використовуються кривошипні гарячештампувальні преси. Вибір преса здійснюється за номінальним зусиллям, що становить 6,7... 100 мН. До особливостей конструкції преса слід віднести жорсткий привід, який не дозволяє змінювати хід повзуна, відсутність ударних навантажень. Жорсткий привід не дозволяє робити переходи, що вимагають поступово зростаючого обтиснення з кантуванням, (протяжка, підкат). Для фасонування заготовки можуть бути використані заготівельні струмки: пережимні, гибочні. Тому при

штампуванні на пресах складних заготовок, що мають видовжену форму в плані (шатуни, турбінні лопатки), фасонування здійснюється кувальними валками, вільним куванням, висадкою на горизонтально-кувальних машинах. Відсутність ударних навантажень дозволяє не застосовувати масивні шаботи, використовувати збірну конструкцію штампів (блок-штампи). При відкритому штампуванні на пресах частини штампів не повинні змикатися на величину, рівну товщині облою. Поковки, отримані на пресах, характеризуються високою точністю, яка досягається за рахунок зниження припусків на механічну обробку (в середньому на 20...30% у порівнянні з поковками, отриманими на молотах) та допустимих відхилень на номінальні розміри, зниження штампувальних ухилів в два три рази. Наявність постійного ходу призводить до більшої точності поковок по висоті, а жорсткість конструкції преса робить можливим застосування напрямних колонок в штампах, що виключає зсув. Продуктивність праці підвищується в середньому в 1,4 рази за рахунок однократності та підвищення потужності деформуючих впливів. У результаті собівартість поковок знижується на 10...30%. Як показують дослідження, штампування на пресах може бути економічно вигідно навіть при завантаженні обладнання на 35...45%. При штампуванні на пресах деформація глибше проникає в заготовку, що дозволяє штампувати малопластичні матеріали, застосовувати штампи з роз'ємною матрицею з боковою течєю металу. Процес штампування на пресах має певні недоліки:

-окалина вдавлюється в тіло поковки, для запобігання цього необхідно проводити малоокислювальний або безокисний нагрів або повне очищення заготовки від окалини;

-через невисоку швидкість деформування час контакту металу з інструментом більше, ніж на молотах, тому має місце переохолодження поверхні заготовки, що призводить до гіршого заповнення порожнини штампів.

Штампування на горизонтально-кувальних машинах. Горизонтально-кувальні машини представляють собою механічний кривошипний штампувальний прес, який має роз'ємну матрицю, одна частина якої є рухомою (затискною). Крім головного деформуючого повзуна, є повзун, рух якого має напрямок

перпендикулярно руху головного. Горизонтально-кувальні машини вибираються за номінальним зусиллям, що становить 1...31,5 мН. Схема гарячого об'ємного штампування на горизонтально-кувальних машинах показана на рис. 10.4.

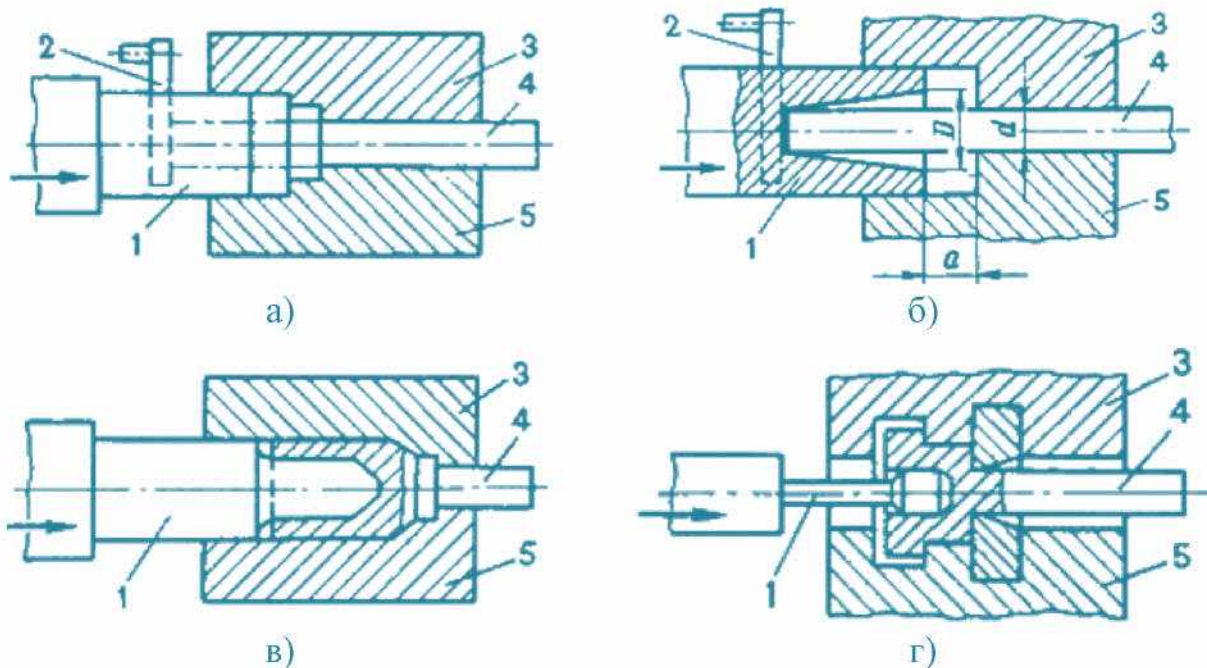


Рис. 10.4. Схема гарячого об'ємного штампування на горизонтально-кувальній машині

Штамп складається з трьох частин: нерухомої матриці 3, рухомої матриці 5 та пуансона 1, розмикається в двох взаємно перпендикулярних площинах. Пруток 4 з нагрітою ділянкою на його кінці поміщають в нерухому матрицю. Положення кінця прутка визначається упором 2. При включенні машини рухома матриця 5 притискає пруток до нерухомої матриці, упор автоматично відходить убік, і тільки після цього пуансон 1 стикається з виступаючою частиною прутка і деформує її. Метал при цьому заповнює форму порожнини, розташовану попереду затискної частини. Формуюча порожнина може знаходитися тільки в матриці, тільки в пуансоні, а також в матриці та пуансоні. Після закінчення деформування пуансон рухається у зворотному напрямку, виходячи з порожнини матриці. Матриці розтискаються, деформовану заготовку виймають або вона випадає з них. Штампування виконується за кілька переходів в окремих струмках, осі яких розташовані одна над одною. Кожен перехід здійснюється за один робочий хід повзуна. Здійснюються

операції: висадка, прошивка, пробивка. За один перехід можна висадити виступаючий з затискної частини матриці кінець прутка тільки в тому випадку, якщо його довжина не перевищує трьох діаметрів. При більшій довжині можливий вигин заготовки, тому попередньо необхідно провести набір металу. Набір металу здійснюється в порожнині пуансона, якій надають конічну форму. В якості вихідної заготовки використовують прутки круглого або квадратного перерізу, трубний прокат. Штампують поковки: стержні з потовщеннями та глухими отворами, кільця, трубчасті деталі з наскрізними та глухими отворами. Так як штамп складається з трьох частин, то напуски на поковки та штампувальні ухили невеликі або відсутні. До недоліків горизонтально-кувальних машин слід віднести їх слабку універсальність та високу вартість. *Ротаційні способи виготовлення поковок.* В основі цих способів лежить процес ротаційного обтиснення при обертанні інструменту або заготовки. При обкатуванні інструментом заготовки центр деформації має локальний характер та постійно переміщується по заготовці, внаслідок чого зусилля, що діє на інструмент, менше ніж при штампуванні. Це дозволяє виготовляти поковки великої маси (заготовка вагонних осей) з великою точністю, так як пружні деформації при менших зусиллях менше. Штампування на кувальних валках нагадує поздовжню прокатку, на двох валках закріплюють секторні штампи, які мають відповідні струмки (рис. 10.5, а).

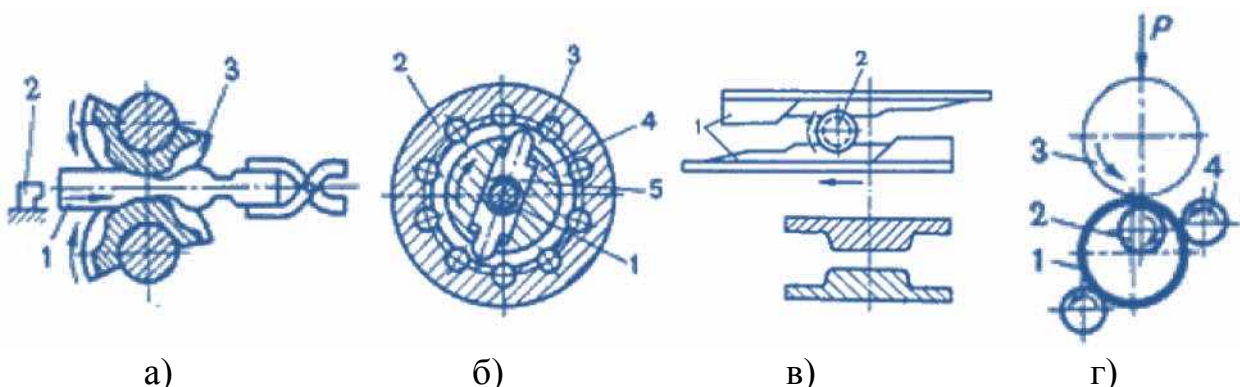


Рис. 9.5. Схеми дії: а)-кувальних валків; б)-ротаційно-кувальної машини; в)-станів поперечно-гвинтової прокатки; г)-розкатки.

Нагріту заготовку 1 подають до упору 2, коли секторні штампи 3

розходяться. При повороті валків відбувається захват заготовки та обтискання її за формою порожнини; одночасно з обтисканням заготовки виштовхується в сторону подачі. На валках виготовляють поковки типу ланок ланцюгів, важелів, гайкових ключів і ін., а також здійснюють фасонування заготовок. Початковий переріз заготовки приймають рівним максимальному перетину поковки, так як при вальцюванні відбувається головним чином протяжка. Штампування на ротаційно-кувальних машинах подібна операції протяжки та полягає в місцевому обтисканні заготовки по периметру (рис. 10.5, б). Заготовку 1 у вигляді прутка або труби поміщають в отвір між бойками 5 машини, що знаходяться в шпинделі 4. Бойки можуть вільно ковзати в радіально розташованих пазах шпинделю. При обертанні шпинделю ролики 3, поміщені в обоймі 2, штовхають бойки 5, які завдають ударів по заготовці. У вихідне положення бойки повертаються під дією відцентрових сил. У машинах цього типу отримують поковки, які мають форму тіл обертання. Існують машини, у яких замість шпинделю з бойками обертається обойма з роликами; в цьому випадку для поворотного руху повзунів служать пружини. У таких машинах отримують поковки квадратного, прямокутного та інших перерізів. Поперечно-клиновою прокаткою (рис. 9.5, в) отримують заготовки валів та осей з різкими ступінчастими переходами діаметром від 12 до 120 мм. Деформування може здійснюватися інструментом у вигляді двох валків, валка і сегмента або двох плоских плит. Плоско-клиновий інструмент найбільш простий та забезпечує отримання валів складної конфігурації з високою точністю. Заготовка 2 з круглого прокатного прутка після нагріву автоматично переміщається в робочу зону клинів 1 в їх вихідному положенні. Клиновий інструмент, закріплений в рухомі салазки верстату, та здійснює прямолінійний рух. Заготовка прокатується між двома клиновими плитами. Розкочування кільцевих заготовок на розкатаних станах отримала особливо великого поширення при виробництві кілець підшипників. Схема процесу показана на рис. 10.5, г. Заготовка 1 являє собою кільце з меншим діаметром та більшою товщиною стінки, ніж у поковки. Заготовки отримують штампуванням на молотах або горизонтально-кувальних машинах. При підведенні до заготовки 1, одягненої на валок 2, валка 3, який

швидко обертається заготовка та валок 2 починають обертатися. При подальшому зближенні валків 2 й 3 збільшується зовнішній діаметр заготовки за рахунок зменшення товщини та відбувається її контакт з направляючим роликком 4, що забезпечує отримання правильної кільцевої форми поковки. Після торкання поковкою контрольного ролика 5 розкатка припиняється. Розкачуванням отримують поковки кільце з поперечними перерізами різної форми зовнішнім діаметром 70...700 мм і шириною 20...180 мм.

10.3. Холодне об'ємне штампування

Холодне об'ємне штампування виконують на пресах або спеціальних холодноштампувальних автоматах. Основними видами холодного об'ємного штампування є: висадка, видавлювання, об'ємна формовка, чеканка. *Сутність процесу та види холодного штампування.* Висадка - утворення на заготовці місцевих стовщень необхідної форми в результаті осадки її кінця (рис. 10.6).

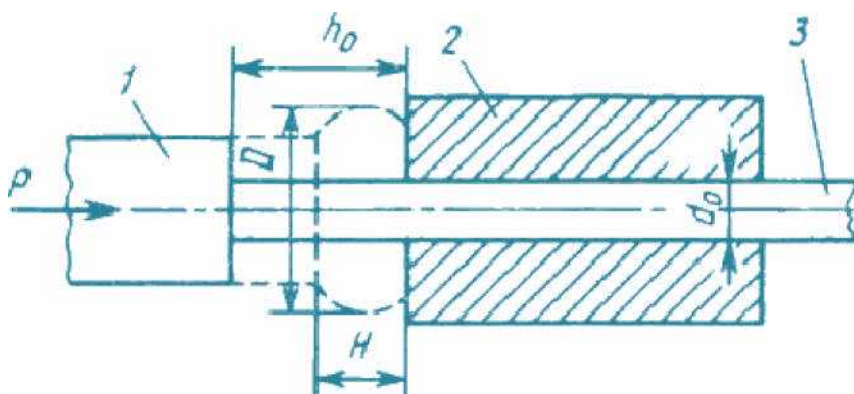


Рис. 10.6. Схема процесу висадки: 1-пуансон; 2-матриця; 3-заготовка.

Заготовкою зазвичай служить холоднотягнутий матеріал у вигляді дроту або прутка з чорних або кольорових металів. Висадкою виготовляють стандартні та спеціальні кріпильні вироби, кулачки, вали-шестерні, деталі електронної апаратури, електричні контакти та ін. Довжина частини, яка підвертається висадці (h_0) розраховується з урахуванням необхідного об'єму стовщення (V) за формулою (10.1)

$$h_0 = \frac{4 \times V}{\pi \times d_0^2}, \quad (10.1)$$

Розрахунок числа переходів проводиться в основному по співвідношенню

довжини частини, що підвертається висадці (h_0) до діаметра заготовки (B_0), яке

характеризує стійкість до повздовжнього вигину. При $\frac{h_0}{d_0} < 2,3$ використовують один перехід, при $\frac{h_0}{d_0} < 5$ два переходи, при $\frac{h_0}{d_0} < 8$ три переходи. При великій кількості переходів відбувається зміцнення металу, тому потребується відпал. Послідовність переходів виготовлення деталей показана на рис. 9.7.

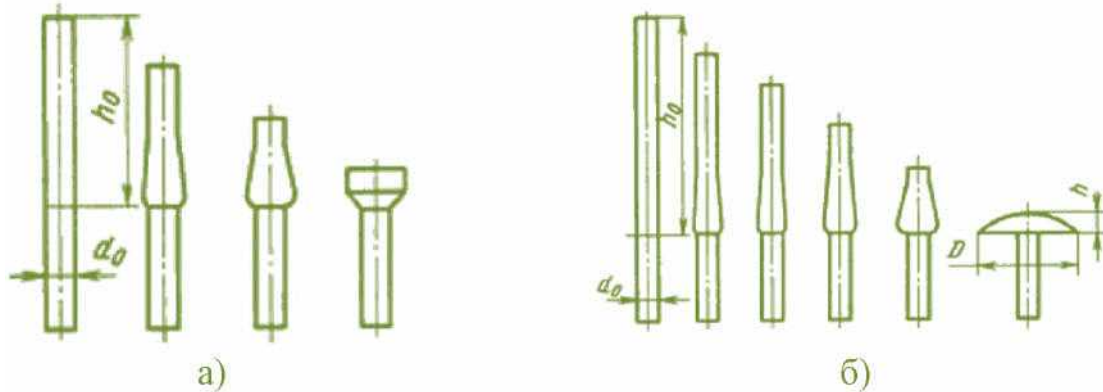


Рис. 10.7. Послідовність переходів виготовлення деталі:

а)-за три переходи; б)-за п'ять переходів.

Висадка здійснюється на пресах, горизонтально-кувальних машинах, автоматичних лініях, оснащених холодновисадочні прес-автоматами. Видавлювання-формування суцільних або порожнистих виробів, завдяки пластичній течії металу із замкнутого об'єму через отвори відповідної форми. Особливістю процесу є утворення в осередку деформації схеми тривісного нерівномірного стиснення, що підвищує технологічну пластичність металу. Розрізняють пряме, зворотне, бічне та комбіноване видавлювання (рис. 10.8). При прямому видавлюванні метал тече з матриці 2 в напрямку, що збігається з напрямком руху пуансона 1 (рис. 10.8, а; 10.8, б). Цим способом можна отримати деталі типу стержня зі стовщенням, трубки з фланцем, склянки із фланцем. При зворотному видавлюванні метал тече в напрямку, протилежному напрямку руху пуансона, в кільцевий зазор між пуансоном та матрицею для отримання порожнистих деталей з дном (рис. 10.8, в) або в порожнистий пуансон для отримання деталей типу стержня із фланцем (рис. 10.8, г). При бічному видавлюванні метал тече в бічні отвори матриці під кутом до напрямку руху пуансона (рис. 10.8, ж). Таким чином, можна отримати деталі типу трійників, хрестовин та ін. Для забезпечення видалення заготовок з штампу

матрицю виконують складається з двох половинок з площиною роз'єму, що проходить через осьові лінії вихідної заготовки та одержуваного відростку. При комбінованому видавлюванні метал тече по декількох напрямках (рис. 10.8, д; є). Можливі поєднання різних схем. Заготовки для видавлювання відрізають від прутків або вирубують з листа. Розмір заготовок розраховують з урахуванням втрат на подальшу обробку. Форма заготовки та її розміри для порожнистих деталей без фланця відповідають зовнішнім розмірам деталі; для деталей з фланцем діаметру фланця; для деталей стержньового типу розмірам головки. видавлювання можна здійснювати також в гарячому стані.

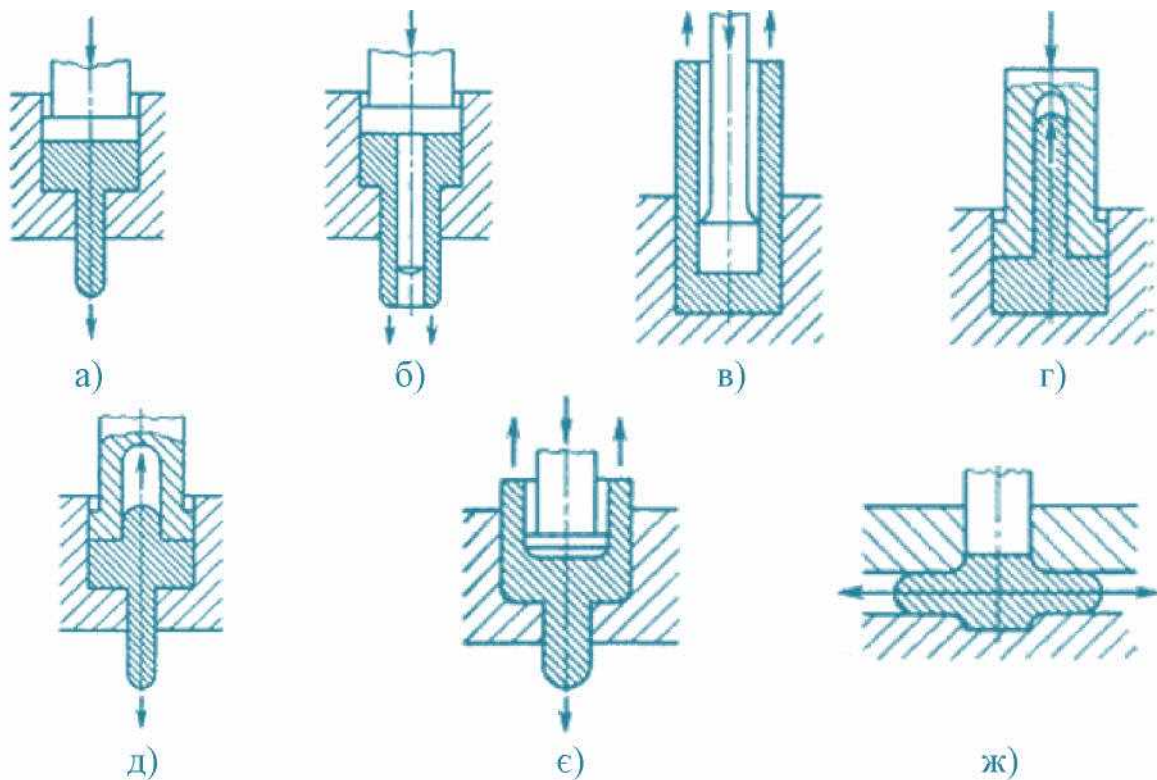


Рис. 10.8. Схеми видавлювання:
а), б)-пряме; в), г)-зворотне; д), є)-комбіноване; ж)-бічне.

Об'ємна штамповка - формоутворення виробів шляхом заповнення металом порожнини штампу. Схеми об'ємної формовки представлені на рис. 9.9.

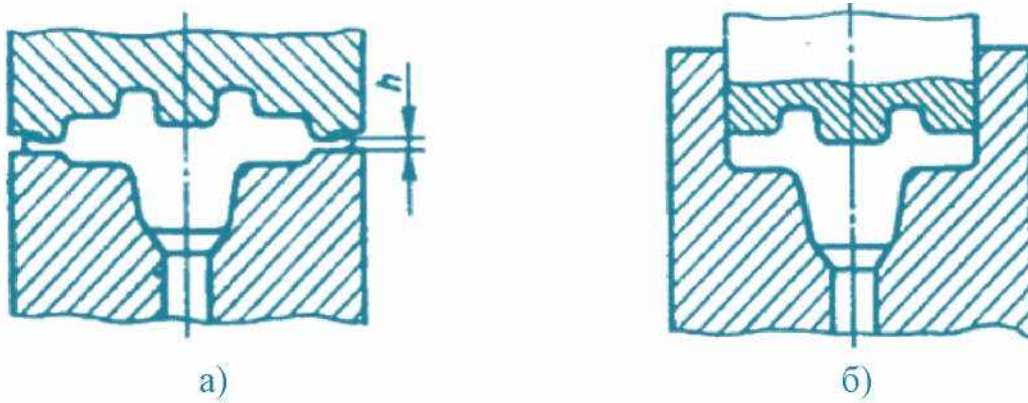


Рис. 10.9. Схеми об'ємної формовки:

а)-в відкритих штампах; б)-в закритих штампах.

Вона проводиться у відкритих штампах, де надлишки металу впливають в спеціальну порожнину для утворення облою (рис. 10.9, а), та в закритих штампах, де облой не утворюється (рис. 10.9, б). Формовку в закритих штампах застосовують менше через великі складності та вартості одержання заготовок точного об'єму, необхідності використання більш потужного устаткування та меншої стійкості штампів. У закритих штампах отримують в основному деталі з кольорових металів. Об'ємною формовкою виготовляють просторові деталі складних форм, суцільні та з отворами. Холодна об'ємна формовка вимагає значних питомих зусиль внаслідок високого опору металу деформації в умовах холодної деформації та зміцнення металу в процесі деформації. Зміцнення супроводжується зниженням пластичності металу. Для полегшення процесу деформування технологічний процес виготовлення деталі розділяється на переходи, між якими заготовку піддають відпалу та рекристалізації. Кожен перехід здійснюють в спеціальному штампі, а між переходами обрізають облой для зменшення зусилля деформування та підвищення точності розмірів деталей. Заготовкою служить стрічка або пруток, причому процес штампування може здійснюватися безпосередньо в стрічки або прутку або з штучних заготовок. *Обладнання для холодного штампування.* В якості обладнання використовують преси, однопозиційні та багатопозиційні автомати. *Чеканка* - утворення рельєфних зображень на деформованому матеріалі. Чеканка здійснюється в закритих штампах на чеканочних фрикційних та гідравлічних пресах. При холодному штампуванні коефіцієнт використання матеріалу досягає 95%. При холодному деформуванні формується сприятлива орієнтована

волокниста структура металу, що додає деталям високої втомної міцності при динамічних навантаженнях. Це дозволяє отримувати конструкції з меншими розмірами та металомісткістю, ніж у конструкцій, отриманих обробкою різанням, не знижуючи при цьому їх надійність. Але для холодного об'ємного штампування потрібний дорогий спеціальний інструмент, що робить доцільним її застосування тільки в масовому та крупносерійному виробництвах.

10.4. Листове штампування

Листове штампування - один з видів холодної обробки тиском, при якому листовий матеріал деформується в холодному або підігрітому стані. Листовим штампуванням виготовляються різноманітні плоскі та просторові деталі від дрібних, масою від долі грамів та розмірами в долі міліметра (секундна стрілка годинника), до середніх (металевий посуд, кришки, кронштейни) та великих (облицювальні деталі автомобілів). Товщина заготовки при листовому штампуванні зазвичай не більше 10 мм, але іноді може перевищувати 20 мм, в цьому випадку штампування здійснюється з попереднім підігрівом до кувальних температур. При листовому штампуванні використовують: низьковуглецеві сталі, пластичні леговані сталі, кольорові метали та сплави на їх основі, дорогоцінні метали, а також неметалеві матеріали: органічне скло, фетр, целулоїд, текстоліт, войлок та ін. Листове штампування широко застосовують у різних галузях промисловості, особливо, автомобілебудуванні, ракетобудуванні, літакобудуванні, приладобудуванні, електротехнічній промисловості. Основні переваги листового штампування:

-можливість виготовлення міцних легких та жорстких тонкостінних деталей простої та складної форми, отримання яких іншими способами неможливо або важко;

-високі точність розмірів та якість поверхні, що дозволяють до мінімуму скоротити механічну обробку;

-порівняльна простота механізації та автоматизації процесів штампування, що забезпечує високу продуктивність (30000...40000 деталей в зміну з однієї машини);

-хороше пристосування до масштабів виробництва, при якому листове штампування може бути економічно вигідним як в масовому, так и в дрібносерійному виробництвах.

Холодне листове штампування полягає у виконанні в певній послідовності розділювальних та формозмінюючих операцій, за допомогою яких вихідним заготовкам надають форму та розміри деталі. *Операцією листового штампування* називається процес пластичної деформації, що забезпечує характерну зміну форми певної ділянки заготовки. Розрізняють розділювальні операції, в яких етап пластичного деформування обов'язково завершується руйнуванням, та формоутворюючих операцій, в яких заготовка не повинна руйнуватися в процесі деформування. При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталей листовим штампуванням основним завданням є вибір найбільш раціональних операцій та послідовність їх застосування, що дозволяє одержувати деталі з заданими експлуатаційними властивостями при мінімальній собівартості та хороших умовах праці. Всі операції виконуються за допомогою спеціальних інструментів (штампів), які мають різні конструкції в залежності від призначення. Штампи складаються з робочих елементів матриці та пуансона, та допоміжних частин притискачів, направляючих, обмежувачів та ін. Пуансон вдавлюється в деформуючий метал або охоплюється ним, а матриця охоплює форму, яка змінюється, заготовку та пуансон. *Технологічні операції листового штампування та види штампів.* *Розділювальні операції* призначені або для отримання заготовки з листа або стрічки, або для відділення однієї частини заготовки від іншої. Операції можуть виконуватися по замкнутому або по незамкнутому контуру. Відділення однієї частини заготовки від іншої здійснюється відносним зсувом цих частин в напрямку, перпендикулярному до площі заготовки. Це зміщення спочатку характеризується пластичним деформуванням, а завершується руйнуванням. Вгдргзха-відділення частини заготовки по незамкнутому контуру на спеціальних машинах ножицях або у штампах. Зазвичай її застосовують як заготівельну операцію для розділення листів на стрічки та заготовки потрібних розмірів. *Вирубка та пробивка-відділення* металу по замкнутому контуру в

штампи. При вирубці та пробивці характер деформування заготовки однаковий. Ці операції відрізняються тільки призначенням. Вирубкою оформляють зовнішній контур деталі, а пробиванням внутрішній контур (виготовлення отворів). Вирубку та пробивання здійснюють металевими пуансоном та матрицею. Пуансон вдавлює частину заготовки в отвір матриці. *Основним технологічним параметром операцій є радіальний зазор між пуансоном та матрицею t . Зазор t призначають залежно від товщини S та механічних властивостей заготовки, він приблизно складає $(0,05^{0,1})S$. При вирубці розміри отвору матриці дорівнюють розмірам виробу, а розміри пуансона на $2t$ менше за них. При пробиванні розмір пуансона дорівнює розмірам отвору, а розміри матриці на більше них.*

ЛЕКЦІЯ №11. ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

План лекції

11.1. Фізичні основи отримання зварних з'єднань

11.2. Сутність та способи дугового зварювання

11.3. Ручне дугове зварювання

11.4. Автоматичне дугове зварювання

11.1. Фізичні основи отримання зварних з'єднань

Зварювання -технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань в результаті виникнення атомно-молекулярних зв'язків між з'єднувальними деталями при їх нагріванні та пластичній деформації. Зварні з'єднання можна отримувати двома принципово різними шляхами: зварюванням плавленням та зварюванням тиском. При зварюванні плавленням атомно-молекулярні зв'язки між деталями створюють, оплавляючи їх примикаючи кромки, так, щоб утворилася, загальна зварювальна ванна (розплавлений рідкий метал). Ця ванна твердіє при охолодженні та з'єднує деталі в одне ціле. Як правило, в рідку ванну вводять додатковий метал, щоб повністю заповнити зазор між деталями, але можливе зварювання і без нього. При зварюванні тиском обов'язковим є спільна пластична деформація деталей стисненням зони з'єднання. Цим забезпечується очистка зварювальних поверхонь від плівок забруднень, зміна їх рельєфу та утворення атомно-молекулярних зв'язків. Зазвичай перед пластичною деформацією попередньо проводять нагрів, так як з ростом температури зменшується значення деформації, необхідної для зварювання та підвищення пластичності металу. По виду енергії, яка використовується для нагріву металу всі способи зварювання можна поділити на основні групи: електричні, хімічні, механічні, променеві. Найбільш важливою є група електричних способів, при яких для нагріву металу використовується електричний струм. В залежності від принципу перетворення електричної енергії в теплову, яка використовується в процесі зварювання розрізняють наступні основні види електричного зварювання: дугове, контактне, електрошлакове, індукційне, плазмове. До групи *хімічних способів зварювання* належить термітне зварювання. Нагрів металу при цих способах зварювання відбувається за рахунок тепла екзотермічних реакцій окислення різноманітних

речовин, які знаходяться в газоподібному або твердому станах. До *механічних способів зварювання* відносять: горне, холодне тиском, тертям, вибухом та ультразвуком. При цих методах зварювання для з'єднання металів використовують відповідні види механічної енергії. *Група променевих способів зварювання* об'єднує: променево-електроне, лазерним променем, геліозварювання (зварювання сонячними променями). З перелічених способів зварювання найбільш важливе значення мають електричне дугове, контактне та газове зварювання. В даний час зварювання металів так як й обробка металів тиском, різанням та литвом, є основним технологічним процесом виготовлення різноманітних металевих конструкцій та виробів. Зварювання знаходить широке застосування при будівництві нових заводів та підприємств, в транспортному машинобудуванні при виготовленні зварних залізничних вагонів та цистерн, в суднобудівництві, при будівництві котлів, при монтажі доменних та мартенівських печей, прокладанні нафто-та газопроводів, при будівництві мостів, відновленні зношених та поламаних деталей механізмів та машин та ін. Особливо великий економічний ефект дає застосування зварювання при виготовленні тяжких зварювально-ливарних та зварювально-кувальних конструкцій, використання зносостійкого наплавлення в виробництві валків прокатних станів, зміцнення робочих поверхонь землерийних та будівельно-дорожніх машин, кувально-пресового та дробильного обладнання, металорізального інструменту та ін. По різному забезпечуються захист зони зварювання від впливу повітря та її примусової деформації. Існує безліч технологічних процесів зварювання (більше 70). Зварювання є найбільш важливим способом одержання нероз'ємних з'єднань з різних матеріалів, зварюються метали та сплави, кераміка, скло, пластмаси, різнорідні матеріали. Зварювання застосовується у всіх областях техніки.

11.2. Сутність та способи дугового зварювання

Джерелом теплоти є електрична дуга, яка горить між електродом та заготовкою. *Зварювальною дугою* називається потужний електричний розряд між електродами, що знаходяться в середовищі іонізованих газів та парів. В залежності від матеріалу та числа електродів, а також способу включення електродів та заготовки в цеп електричного струму розрізняють такі різновидності дугового зварювання (рис. 11.1).

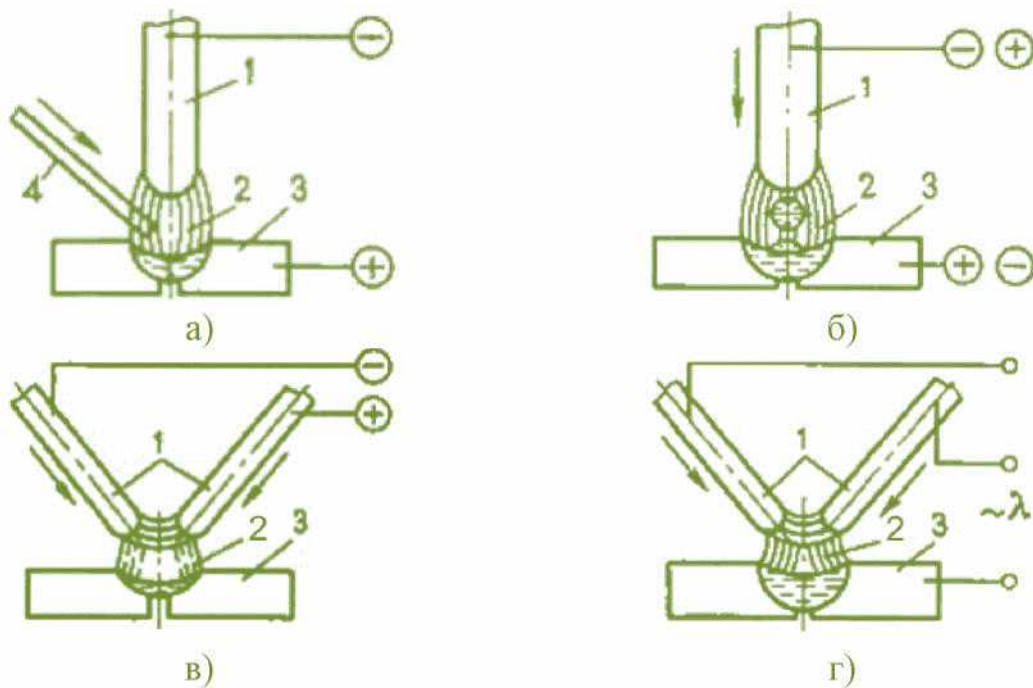


Рис. 11.1. Схеми дугового зварювання

1) Зварювання неплавким (графітовим або вольфрамовим) електродом 1 дугою прямої дії 2, при якому з'єднання виконується шляхом розплавлення лише основного металу 3, або із застосуванням присадочного металу 4 (рис. 11.1, а);

2) Зварювання плавким електродом (металевим) 1 дугою прямої дії 2 з одночасним розплавленням основного металу 3 та електроду, який поповнює зварювальну ванну рідким металом (рис. 11.1, б);

3) Зварювання непрямою дугою 2, що горить між двома, як правило, не плавкими електродами 1, при цьому основний метал 3 нагрівається та розплавляється теплою стовпа дуги (рис. 11.1, в);

4) Зварювання трьохфазною дугою 2, при якій дуга горить між кожним електродом 1 та основним металом 3 (рис. 11.1, г). *Зварювальна дуга та її властивості.* Зварювальна дуга являє собою потужний електричний розряд в газах, супроводжуваний виділенням значної кількості тепла та світла. З фізичної точки зору це складний іонний та електронний процес переносу електричних зарядів через іонізований повітряний проміжок. Іонізація газового проміжку при дуговому зварюванні в основному обумовлена електронною емісією з гарячого катода. Для розігріву катода між ним та анодом, підключеними до джерела зварювального струму, виробляють короткочасне коротке замикання. Після відриву електрода, від заготовки з розігрітого катода,

яким при зварюванні постійним струмом може бути і електрод і заготовка (при змінному струмі полярність постійно змінюється), під впливом електричного поля починається електронна емісія. Електрони, що вилетіли з поверхні катода, направляються до анода і, стикаючись на своєму шляху з молекулами та атомами повітря, іонізують їх. Утворені в повітряному проміжку від'ємні іони та електрони переміщуються до анода, а позитивні іони до катода. На поверхні катода та анода здійснюється нейтралізація заряджених частиць та перетворення електричної енергії в теплову. *Електричні властивості дуги.* До основних параметрів, що характеризують властивості дуги, відносяться напруга, струм та довжина дуги. Залежність між напругою та струмом при стабільному стаціонарному стані дуги виражається статичною вольт-амперною характеристикою (рис. 10.2, а).

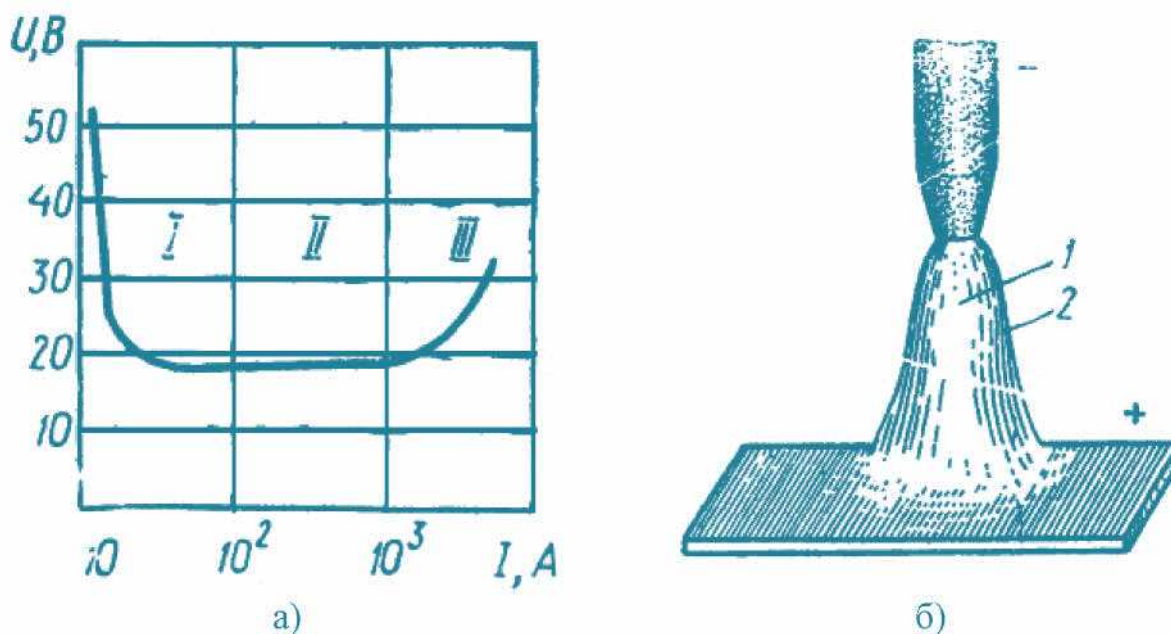


Рис. 11.2. Статична вольт-амперна характеристика (а) та будова зварювальної дуги (б)

Найбільш широке застосування має дуга з жорсткою характеристикою (рис. 11.2, а, II), при якій напруга на дузі не залежить від сили зварювального струму. Дугу із зростаючою характеристикою (рис. 11.2, а, III) застосовують при автоматичному зварюванні під флюсом на підвищених густинах струму та при зварюванні в захисних газах плавким електродом. Дуга з падаючою характеристикою (рис. 11.2, а, I) нестійка та має обмежене застосування. Залежність між напругою та довжиною дуги, що має жорстку характеристику, виражається наступною емпіричною формулою (11.1).

$$U_{д} = a + bl_{д}, \quad (11.1)$$

де $U_{д}$ -напруга на дузі, В;

$l_{д}$ -довжина дуги, мм;

a, b -коефіцієнти, які залежать від роду матеріалу електроду, складу газового середовища та ін.

При зварюванні сталевими електродами в атмосфері повітря $a=10$ В, а $b=2$ В/мм. *Будова дуги та її теплові властивості.* Зварювальна дуга (рис. 11.2, б) складається з трьох частин: катодної, анодної та стовпа дуги. Майже весь простір займає стовп дуги 1, в якому відбуваються процеси іонізації та переміщення заряджених частиць до катоду та аноду. Температура стовпа дуги досягає 6000...7000°C, він оточений ореолом 2, який являє собою суміш парів електродного та зварюваного металів та продуктів реакції цих парів з навколишнім газовим середовищем. Теплова потужність дуги визначається за формулою (11.2).

$$q = KU_{д}I_{зв} (0,24KU_{д}I_{зв}), \quad (11.2)$$

де $U_{д}$ -напруга на дузі, В;

$I_{зв}$ -зварювальний струм, А.

K -коефіцієнт несинусоїдальності напруги та струму.

Для постійного струму $K=1$, а при змінному струмі змінюються від 0,7 до 0,97. Не все тепло дуги витрачається на плавлення присадочного та основного металів: приблизно 50% йде на нагрів заготовки; близько 30% на нагрів електроду та майже 20% складають втрати тепла в навколишнє середовище. При живленні дуги постійним струмом більша кількість тепла, приблизно 42...43%, виділяється на аноді, близько 36...38% на катоді та приблизно 20...21% в стовпі дуги. Тому температура анода трохи вище температури катоду. *Джерела живлення струму для дугового зварювання.* Для дугового зварювання застосовують як постійний, так і змінний струм. Джерелами постійного струму є зварювальні генератори постійного струму та зварювальні випрямлячі (селенові, германієві та кремнієві). Генератори постійного струму виготовляють стаціонарними та пересувними з приводом від електродвигуна та від двигуна внутрішнього згорання. При зварюванні змінним струмом використовують

переважно зварювальні трансформатори, які застосовуються значно частіше, ніж джерела постійного струму. Зварювальні трансформатори більш прості у виготовленні та експлуатації, мають невелику масу та меншу вартість, а також мають більш високий ККД та більшу довговічність. Джерела постійного струму для дугового зварювання виготовляють однопостовими та багатопостовими, а джерела змінного струму тільки однопостовими. *Зварювальний трансформатор* знижує високу напругу мережі (220 або 380 В) до напруги холостого ходу трансформатора (60... 80 В). Крім цього, трансформатор створює на дузі падаючу зовнішню характеристику. Для цього послідовно з дугою та вторинною обмоткою трансформатору включають так звану дросельну, тобто реактивну, обмотку або використовують трансформатори зі збільшенням магнітних потоків розсіювання. Під час проходження зварювального струму в витках дросельної обмотки виникає ЕРС (електрорушійна сила) самоіндукції, що має напрямок, протилежний напрямку основної ЕРС трансформатора. Тому напруга, яка підведена до дуги, знижується від значення холостого ходу до 18...30 В під час горіння дуги та майже до нуля при короткому замиканні. *Однопостові зварювальні генератори* постійного струму мають падаючу зовнішню характеристику, яка створюється безпосередньо в самому генераторі. Це досягається розмагнічуванням основного потоку генератора магнітним потоком послідовної обмотки збудження або магнітним потоком обмоток якорю (реакцією якорю). *Багатопостові зварювальні генератори* постійного струму мають послідовну та паралельну обмотки збудження, що створюють магнітні потоки одного напрямку. Тому зовнішня характеристика у цих генераторів не падаюча, а жорстка. Для створення падаючої характеристики на дузі на кожному робочому посту послідовно з дугою включають баластні реостати. При замиканні зварювальної цепі частина напруги генератору втрачається в баластовому реостаті згідно рівняння (10.3).

$$U_p = IR, \quad (11.3)$$

U_p - втрата напруги в реостаті, В;

R - опір реостату, Ом.

При короткому замиканні втрата напруги в баластовому реостаті майже дорівнює напрузі на затискачах генератору, і тому напруга на дузі падає майже до нуля. Баластовим реостатом користуються також для регулювання зварювального струму, а реостат змінює напругу холостого ходу генератору. *Зварювальні випрямлячі* складаються з напівпровідникових елементів-вентилів. Напівпровідниковий вентиль добре проводить струм тільки в одному напрямку. Для зварювальних випрямлячів в основному використовують селенові вентиля на алюмінієвій основі. В даний час розроблені та випускаються германієві та кремнієві випрямлячі, які краще селенових за технічними даними. Випрямні установки складаються з трансформатора та напівпровідникового випрямляча. Всі випрямлячі мають високий ККД, невеликі розміри, легкі та порівняно дешеві; дають можливість плавно регулювати струм та забезпечують стійке горіння дуги. Подібно зварювальним генераторам вони можуть бути однопостовими та багатопостовими і мати падаючу, полого або жорстку зовнішню характеристики. Для створення падаючої характеристики використовуються зварювальні трансформатори зі збільшеним магнітним розсіюванням або для цього використовують дросель. Для ручного зварювання застосовують випрямлячі з падаючою зовнішньою характеристикою, для напівавтоматичного зварювання в вуглекислому газі застосовують випрямлячі з жорсткою або пологопадаючою характеристикою.

11.3. Ручне дугове зварювання

Електроди для ручного дугового зварювання. Ручне дугове зварювання виконують зварювальними електродами, які подають вручну в дугу та переміщують в повздовжньому напрямку заготовки. У процесі зварювання металевим покритим електродом (рис. 11.1) дуга 8 горить між стержнем 7 електроду та основним металом 1. Стержень електроду плавиться, і розплавлений метал краплями стікає у зварювальну ванну 9. Разом зі стержнем плавиться покриття електроду 6, утворюючи захисну газову атмосферу 5 навколо дуги та рідку шлакову ванну 4 на поверхні розплавленого металу. Під час поступового переміщення дуги зварювальна ванна твердіє та формується

зварний шов 3. Рідкий шлак утворює тверду шлакову кірку 2.

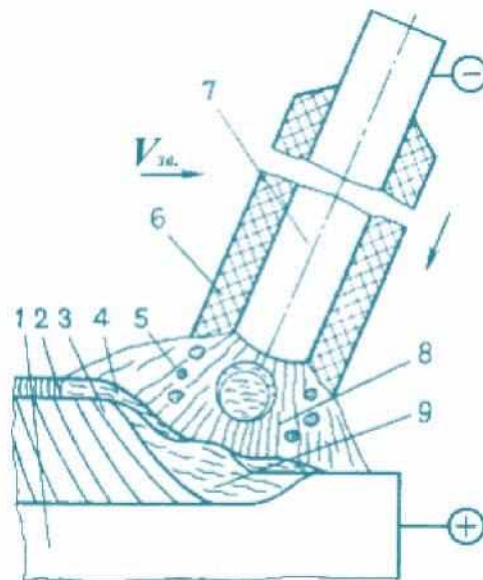


Рис. 11.1. Схема процесу зварювання металевим покритим електродом

Ручне дугове зварювання виконують штучними електродами, які зварювальник подає до зварюваного виробу та переміщує в потрібному напрямку. При зварюванні неплавким електродом застосовують вугільні або графітові електроди діаметром 6...30 мм, довжиною 200...300 мм. Для зварювання плавким електродом використовують металеві електроди, що мають діаметр 1,6...12 мм та довжину 150...450 мм. Зварювання в інертних газах здійснюють вольфрамовими електродами діаметром 1...6 мм. Для зварювання сталей електроди виготовляють із сталевого зварювального дроту ГОСТ 2246-70, яким передбачено 77 його маркувань. З них 6 виготовляють з низьковуглецевої, 30 з легованої та 39 з високолегованої сталі. Всі вони мають обмежений вміст вуглецю, сірки та фосфору. Дугове зварювання стержнями із сталевого дроту (голими електродами) не застосовується внаслідок поганої стійкості дуги. Для підвищення стійкості горіння дуги на електродні стержні наносять так звані тонкі, або стабілізуючі покриття. До їх складу входять сполуки лужних (калію, натрію) або лужноземельних (кальцію) металів, які в дузі легше іонізуються, ніж кисень та азот повітря, за рахунок цього покращують стійкість горіння дуги. Однак електроди з тонкими покриттями не забезпечують високих механічних властивостей металу шва, який сильно насичується азотом та киснем повітря. Для захисту розплавленого металу від

взаємодії з повітрям на електродні стержні 7 (рис. 11.1) наносять товсті, або якісні, покриття 6 (рис. 11.1). Їх складовими, крім стабілізуючих та ключових (рідке скло), є шлако та газоутворюючі речовини та розкислювачі. Для отримання наплавленого металу спеціального складу і властивостей в нього вводять різні легуючі елементи. В якості газоутворюючих речовин використовують різні органічні сполуки, наприклад, електродну целюлозу, деревесну муку та ін. При їх згорянні навколо дуги утворюються захисні гази у вигляді оксидів вуглецю, водню та ін., які оберігають розплавлений метал від взаємодії з повітрям. Для розкислення застосовують елементи, які мають більшу спорідненість з киснем, ніж залізо (марганець, титан, кремній, алюміній). Перебуваючи в зварювальній ванні, вони відбирають кисень від оксидів заліза, утворюючи нерозчинні в залізі оксиди відповідних елементів, які потім спливають в шлак. Легуючими елементами є хром, молібден, ванадій та ін. У покриття їх вводять тоді, коли електроди призначені для зварювання легованих сталей, отримання зносостійких наплавлень та ін. Для виготовлення покритих електродів всі кускові матеріали шихти покриття дроблять, розмелюють, просівають та змішують з рідким склом. Отриману масу наносять на електродні стержні. Потім електроди просушують та прокалюють. За призначенням покриті електроди для зварювання сталей поділяють на чотири групи: для вуглецевих (*У*), для легованих (*Л*), для теплостійких (*Т*) та для високолегованих (*В*). П'яту групу складають електроди для наплавлення з метою створення поверхневих шарів з особливими властивостями (*Н*). В залежності від механічних та інших властивостей наплавленого металу ці групи електродів підрозділяються на типи. Кожному типу може відповідати одна або декілька марок електродів. *Види зварних з'єднань*. Основними видами зварних з'єднань, які застосовуються при ручному, автоматичному та напівавтоматичному дуговому зварюванні, є стикові, кутові, таврові та внахлест. Конструктивні елементи основних зварних з'єднань, що використовуються при ручному дуговому зварюванні (ГОСТ 5264-80), представлені на рис. 11.2.

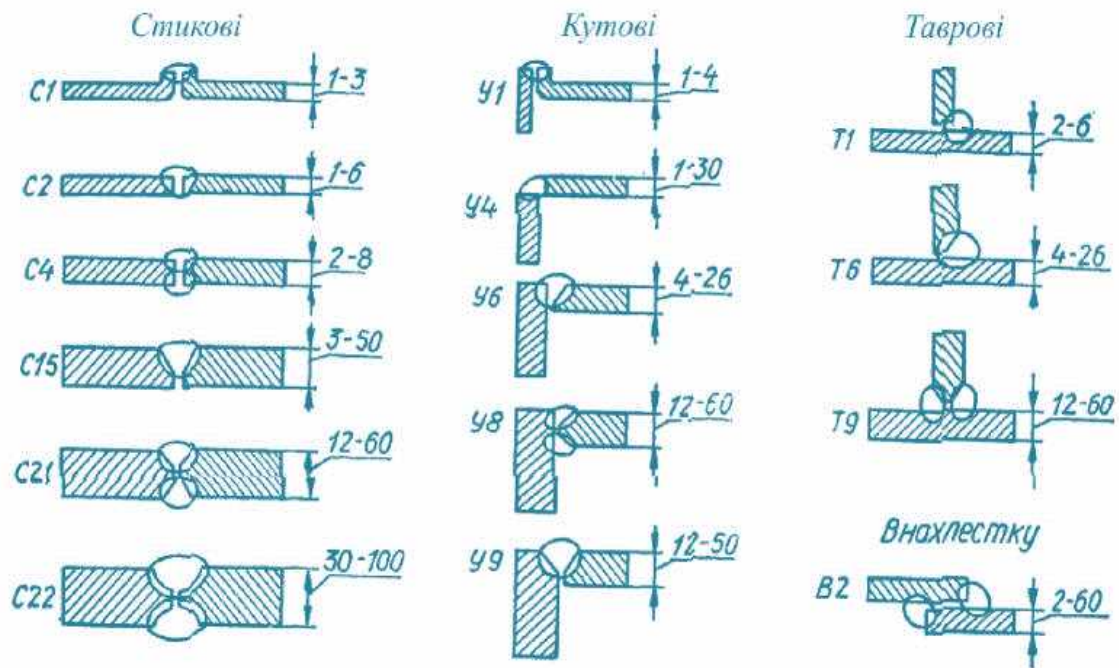


Рис. 11.2. Основні види зварних з'єднань

Стикові з'єднання в залежності від товщини зварювальних листів виконують з відбортовуванням (*C1*), без скосу кромки (*C2*, *C4*), з одностороннім (*C15*) та двостороннім (*C21*) симетричним або несиметричним скосом кромки одного або двох листів. Двосторонній симетричний скос кромки обох листів криволінійної форми (*C22*) застосовують для листів товщиною 30...100 мм. Щоб забезпечити провар по всьому перерізу зварювальних листів, між кромками залишають зазор 1...4 мм в залежності від товщини металу. Щоб уникнути прожогу гострі кромки листів притупляють на 1...3 мм. Загальний кут розкриття кромки $54 \pm 6^\circ$. Кутові та таврові з'єднання, так само як і стикові, в залежності від товщини листів виконують без скосу кромки (рис. 11.2, *Y1*, *Y4*, *T1*), а також з одностороннім (*Y6*, *T6*) та двостороннім (*Y8*, *Y9*, *T9*) скосами кромки одного або двох листів. При скосі однієї кромки кут розкриття становить $50 \pm 5^\circ$, а при скосі двох кромки $54 \pm 6^\circ$. З'єднання внахлест (*B2*) застосовують для листів товщиною 2...60 мм. Зварюють їх з однієї або двох сторін суцільним або переривчастим швом. *Вибір режимів зварювання.* Основними параметрами режиму ручного дугового зварювання є діаметр електроду та сила зварювального струму. Швидкість зварювання та напруга дуги при ручному зварюванні, як правило, не регламентуються. їх підбирає зварювальник в залежності від марки електроду та положенні шва в просторі.

Діаметр електроду вибирають залежно від товщини зварюваного металу, шару (першого або наступних) швів та положення швів у просторі. Сила зварювального струму в основному залежить від діаметра електроду. Для діаметрів 3...6 мм її визначають за формулою (11.1).

$$I_{зв.} = kd, \quad (11.4)$$

де $I_{зв.}$ - сила зварювального струму, А;

k - коефіцієнт, рівний 40... 60 для електродів зі стержнем з низьковуглецевої сталі та 35.40 для електродів зі стержнем з високолегованої сталі, А/мм;

d - діаметр електроду, мм.

Техніка виконання зварних швів. Залежить від положення швів у просторі та виду зварного з'єднання. За положенням у просторі шви поділяють на нижні (рис. 11.3, а), вертикальні (рис. 11.3, б), горизонтальні (рис. 11.3, в) та стельові (рис. 11.3, г).

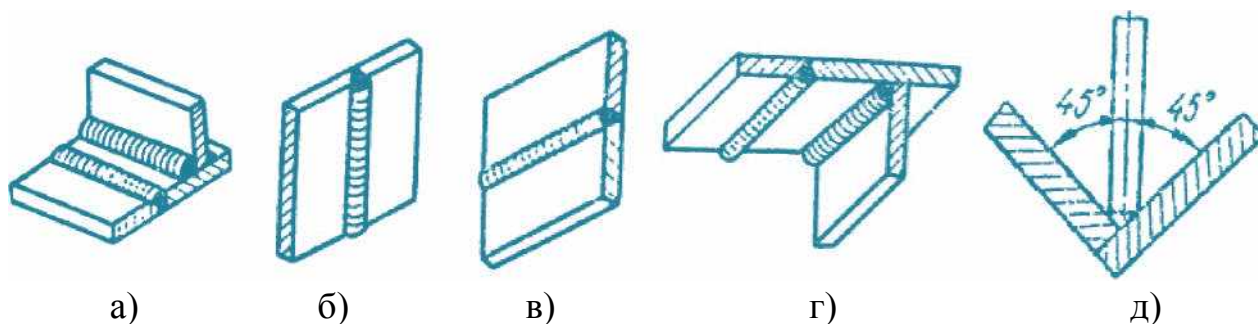


Рис. 11.3. Просторове положення ШВІВ

Найбільш зручно зварювати нижні шви, так як розплавлений метал не впливає з кратера. Складніше зварювати вертикальні та горизонтальні шви. їх виконують дуже короткою дугою та електродами діаметром не більше 5 мм. Але найбільш важко зварювати стельові шви, у яких кратер розташований дном догори. Стельові шви зварюють найкоротшою дугою та електродами діаметром не більше 4 мм, що полегшує перехід краплі з електроду на виріб. Якщо конструкція виробу дозволяє, то його повертають так, щоб всі шви можна було виконувати в нижньому положенні, а кутові та таврові з'єднання зварювати «в човник» (рис. 11.3, д).

6.4. Автоматичне дугове зварювання

Будова та принцип роботи зварювальних автоматів. При автоматичному дуговому зварюванні всі основні операції процесу (запалення дуги, подача зварювального дроту до виробу, підтримання постійної довжини дуги та переміщення дуги по напрямку зварювання) механізовані. Схема пристрою зварювального автомата представлена на рис. 11.4, а. Електродвигун 6 за допомогою механічного редуктора 5 передає обертання роликам 2, що подають дріт до виробу. Зварювальний дріт 3, за допомогою роликів змотують з мотка або бухти, поміщеної на барабані або в касеті 4 та направляють через струмопідвід мундштук 1 в зону зварювання.

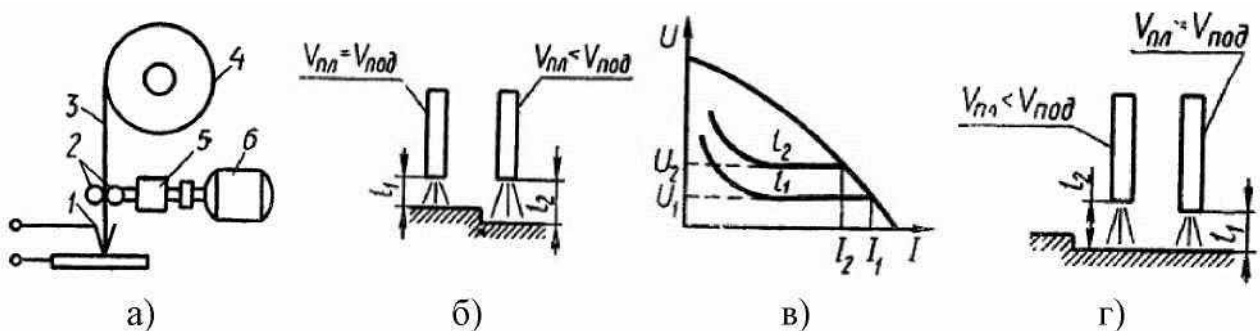


Рис.11.4. Схеми пристрою зварювального автомата та пресу саморегулювання довжини дуги

В залежності від принципу підтримання стабільності довжини дуги, що змінюється в процесі зварювання в зв'язку з нерівностями поверхні зварюваного металу, нестабільністю напруги в мережі, пробуксовування дроту в роликах, що подають та ін., зварювальні автомати ділять на два типи: з автоматичним регулюванням та з саморегулюванням довжини дуги. В автоматах першого типу швидкість подачі дроту пропорційна напрузі дуги. При раптовій зміні довжини дуги змінюється швидкість подачі дроту і порушену рівновагу відновлюють. Практично це здійснюється так. Одну з обмоток збудження електродвигуна, що подає зварювальний дріт, живить напруга дуги, тому, якщо довжина дуги змінилася по різним причинам, напруга на дузі зростає та електродвигун почне швидше обертатися та з більшою швидкістю подавати дріт до виробу, укорочуючи довжину дуги. З зменшенням довжини дуги параметри змінюються у зворотному напрямку. Отже, автомати цього типу

мають змінну швидкість подачі дроту при зварюванні. У зв'язку з тим що ці автомати мають відносно складну електричну схему, застосування їх обмежене. Більш простими та більш поширеними є автомати, побудовані за принципом саморегулювання довжини дуги, з постійною швидкістю подачі дроту. Саморегулювання довжини дуги засноване на використанні залежності зміни швидкості плавлення дроту від зміни довжини дуги. При постійній швидкості подачі дроту, рівної швидкості її плавлення, і при випадковому збільшенні довжини дуги від I_1 до I_2 (рис. 11.4, б) згідно зовнішній характеристиці джерела зварювального струму (рис. 11.4, в) зменшиться струм в дузі від i_1 до I_2 та майже пропорційно струму зменшиться швидкість плавлення дроту. Тому швидкість подачі дроту виявиться більше швидкості її плавлення, та довжина дуги знову досягне величини I_1 (рис. 11.4, г). При зменшенні довжини дуги відбувається зворотне явище: струм та швидкість плавлення зростають а довжина дуги збільшується. На саморегулювання великий вплив мають форма зовнішньої характеристики джерела зварювального струму та густина струму. Найбільш інтенсивно воно протікає при використанні джерел струму з падаючою або зростаючою зовнішньої характеристиками та густині струму, що перевищує 50... 100 А/мм². При густині струму нижче цієї межі саморегулювання ускладнюється і в цьому випадку необхідно застосувати тільки автоматичне регулювання стабільності довжини дуги. *Сутність способу зварювання під флюсом.* Для зварювання використовують непокритий електродний дріт та флюс для захисту дуги та зварювальної ванни від повітря. Схема автоматичного дугового зварювання під флюсом представлена на рис. 11.5. Подача та переміщення електродного дроту механізовані. Автоматизовані процеси запалювання дуги. Дуга 10 горить між дротом 3 та основним металом 8. Стовп дуги і металева ванна рідкого металу 9 з усіх боків щільно закриті шаром флюсу 5 товщиною 30...50 мм. Частина флюсу плавиться і утворюється рідкий шлак 4, що захищає рідкий метал від повітря. Якість захисту краще, ніж при ручному дуговому зварюванні. По мірі поступального руху електроду металева та шлакова ванни твердіють з утворенням зварного шву 7, покритого твердою шлаковою кіркою 6. Дріт подають в дугу за допомогою механізму

подачі 2. Струм до електроду підводять через струмопровід 1. Для зварювання під флюсом характерно глибоке проплавлення основного металу. Перевагами автоматичного зварювання під флюсом в порівнянні з ручним є: підвищення продуктивності процесу зварювання в 5...20 разів, підвищення якості зварних з'єднань та зменшення собівартості 1 м зварного шву.

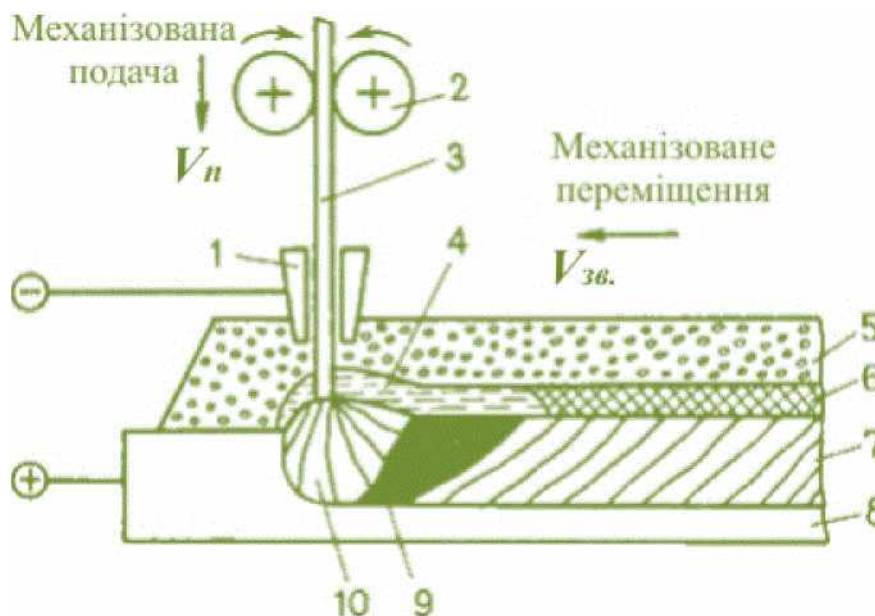


Рис. 11.5. Схема автоматичного дугового зварювання під флюсом

Флюси для автоматичного зварювання. Флюси для автоматичного зварювання так само, як і електродні покриття, повинні забезпечувати стійке горіння дуги, необхідний хімічний склад та механічні властивості наплавленого металу, гарне формування зварного шву та легке відділення шлакової кірки з наплавленого металу. За способом виготовлення флюси поділяються на плавлені та керамічні. Плавлені флюси виготовляють сплавленням шихти в полум'яних або електричних печах з подальшою грануляцією. До складу цих флюсів входять тільки шлакоформувальні компоненти (SiO_2 , MnO , CaP_8 та ін.) Керамічні, флюси крім шлакоутворюючих компонентів містять також розкислювачі та різні легуючі елементи. Технологія виготовлення цих флюсів подібна з виготовленням електродної обмазувальної маси. З отриманої таким же способом маси густого замісу виготовляють гранульований флюс, який потім просушують та прокалюють. Керамічні, флюси застосовуються переважно при зварюванні деяких марок легованих та високолегованих сталей та для отримання твердих наплавлень.

ЛЕКЦІЯ 12. НЕМЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

План лекції

12.1. Полімерні матеріали

12.2. Матеріали неорганічного походження

12.1. Полімерні матеріали

Полімери – особливий вид макромолекулярних сполук, побудованих з великої кількості (полі-) сполучених між собою хімічними зв'язками залишків (елементарних ланок) вихідних низькомолекулярних сполук – мономерів (-мер).

За походженням полімери поділяють на природні (деревина, бавовна, вовна, натуральний каучук, азбест, целюлоза тощо), синтетичні (поліетилен, полістирол, поліаміди тощо) і модифіковані (целофан, віскоза). Синтетичні полімери одержують шляхом полімеризації та поліконденсації.

Полімеризація – це реакція сполучення великого числа молекул низькомолекулярних речовин (мономерів) без виділення побічних продуктів і зміни елементарного складу. Цим методом одержують поліетилен, полівінілхлорид, поліізобутилен тощо.

Поліконденсація – процес сполучення молекул однакової або різної будови, який супроводжується, як правило виділенням низькомолекулярних речовин.

Високомолекулярні речовини можна одержати також методом *хімічних перетворень*, який ґрунтується на хімічних реакціях, де у готові високомолекулярні речовини вводять нові функціональні групи, або старі групи заміщають новими, або відбувається зшивання макромолекул чи їх деструкція. Хімічні перетворення направлені на формування в полімерах нових структур і надання нових властивостей.

За хімічним складом полімери діляться на органічні, елементоорганічні й неорганічні. Основну масу складають органічні полімери: смоли і каучук. Їх молекулярний ланцюжок в основному утворений атомами Карбону. Атоми різних елементів, які вводяться в основний ланцюг, додають полімерам специфічні властивості (Оксиген – гнучкість, Флуор – хімічну стійкість, Хлор – вогнестійкість). До складу основного ланцюга елементоорганічних полімерів входять неорганічні атоми Кремнію, Титану, Алюмінію тощо. До цього класу відносяться більш теплостійкі смоли, каучуки, але менш пружні й еластичні, ніж органічні полімери. Основою неорганічних полімерів є оксиди кремнію, алюмінію, магнію та інших металів. До них відносяться силікатне скло,

кераміка, слюда, азбест, графіт, що відрізняються щільністю, крихкістю і тривалою теплостійкістю.

За поведінкою при нагріві полімери поділяють на *термопластичні* й *терморективні*. Термопластичні полімери (поліетилен, поліпропілен, капрон, найлон) при підвищених температурах розм'якшуються, а при знижених – тверднуть. Їх можна переробляти у виробі неодноразово, структура полімерів лінійна або розгалужена. Терморективні полімери (пластмаси на основі формальдегідних сечовиноальдегідних полімерів) на першому етапі переробки у виробі мають лінійну структуру і при нагріві розм'якшуються. При зростанні температури макромолекули «зшиваються», полімер твердне і залишається твердим, тобто можлива лише одноразова його переробка.

Багато полімерів характеризуються малою щільністю і теплостійкістю, а також високою хімічною і корозійною стійкістю, достатньою міцністю, пружністю, еластичністю, високою технологічністю. Це добрі електроізоляційні матеріали, що мають оптичні властивості. Полімери схильні до теплового, світлового, озонного і атмосферного старіння – процесу самовільної необоротної зміни властивостей. При цьому полімери або розм'якшуються, або підвищують свою твердість і крихкість.

Специфічні властивості полімерів зумовлені двома особливостями:

1) існуванням двох типів зв'язків – хімічних і міжмолекулярних, які утримують макромолекулярні ланцюги один біля одного;

2) гнучкістю ланцюгів, яка пов'язана зі здібністю полімерних ланцюгів змінювати свою конформацію (форму молекул) шляхом простого повороту ланок ланцюга без розриву хімічних зв'язків.

Пластмасами називають матеріали, що мають складну будову і містять щонайменше три групи речовин: *основу*, або зв'язуючий матеріал (синтетичні полімерні смоли); *пластифікатори* – речовини, що сприяють створенню тістоподібного стану матеріалів; *наповнювачі* – речовини (подрібнений азбест, деревина, графіт, скловолокно тощо), що надають матеріалу механічних і теплових властивостей; допоміжні матеріали (стабілізатори, барвники).

Серед полімерних конструкційних матеріалів найбільш практичне застосування в промисловості мають термопласти: поліетилен, поліпропілен, вініпласт, фторопласт, полістирол та реактопласти на основі фенолформальдегідних, поліефірних та епоксидних смол.

Поліетилен випускають двох видів: високого тиску (ПЕВТ) та низького тиску (ПЕНТ). ПЕНТ має більш високу щільність, міцність ніж ПЕВТ. Поліетилен розчиняється в ароматичних вуглеводнях (бензолі, толуолі, ксилолі) і не розчиняється у воді, спиртах, стійкий до дії кислот і лугів. Поліетилен

використовують для виготовлення ізоляційних проводів, кабелів, ненавантажених деталей, ємностей, труб.

Поліпропілен більш жаростійкий, міцний, теплостійкий та хімічно стійкий матеріал, ніж поліетилен, однак поступається поліетилену по морозостійкості. За звичайної температури не розчиняється в органічних розчинниках, але при нагріванні вище 80⁰С розчиняється в бензолі, толуолі; стійкий до дії кислот і лугів. Поліпропілен використовують у виробництві текстильних виробів, плівок, конструкційних деталей, труб і різних ємностей.

Вініпласт (полівінілхлорид) має високу хімічну стійкість та фізико-механічні властивості. Його використовують для виготовлення труб, ємностей, вентиляторів, електроізоляторів, деталей хімічної апаратури, запірної арматури. Поліетилен, поліпропілен, особливо, вініпласт добре обробляються й зварюються.

Полістирол – твердий, жорсткий і прозорий аморфний пластик, який характеризується високою жаро- і хімічною стійкістю. Розчиняється в бензолі, стійкий до слабких кислот, лугів, спиртів, не розчиняється в мастилах і бензині. Полістирол використовують для виготовлення корпусних деталей методами лиття під тиском, пресуванням.

Фторопласти мають виключно високу хімічну стійкість проти кислот, лугів, окисників і розчинників; не змочуються водою; характеризуються низьким коефіцієнтом тертя. На відміну від поліетилену, поліпропілену та вініласту вони не зварюються, склеюються тільки після спеціальної обробки. Фторопласти застосовують для виготовлення деталей хімічного машинобудування, підшипників ковзання, як антифрикційні покриття на метали.

Капрон – цінний хімічно інертний полімер для виготовлення машино- і приладобудівних деталей, а також для виробництва високоміцного волокна.

Епоксидні смоли – синтетичні в'язкі рідини специфічної будови, які здатні в спеціальних умовах перетворюватися на тверді неплавкі й нерозчинні полімерні речовини. Такі в'язкі рідини добре змішуються з будь-якими наповнювачами, а потім тверднуть, набуваючи будь-якої заданої наперед форми. Всі ці якості полімеру роблять їх досить зручними для використання в технології машинобудування. Епоксидні смоли є основою епоксидних клеїв, які використовують для склеювання металів та інших матеріалів.

Склопластики на основі поліефірних та епоксидних смол, які армовані склошугтом, застосовують для виготовлення газоходів, ємностей для хімічно-агресивних середовищ тощо.

Скло органічне використовують для скління машин та приладів, виготовлення кожухів, корпусів. Окрім вищевказаних матеріалів, у хімічному

машинобудуванні використовують поліаміди, капрон, капролон, поліакрилати, поліформальдегід для виготовлення підшипників ковзання, зубчастих коліс, антифрикційних матеріалів.

Полікарбонат (дифлон) використовують для труб, вентилів; поліуретани – для зносостійких деталей, які працюють при температурі від -60°C до $+100^{\circ}\text{C}$.

Гума, як конструкційний матеріал, відрізняється високими еластичними властивостями, міцністю, водо- і газонепроникливістю, діелектричними та іншими цінними властивостями. Розрізняють гуми м'які й ебоніт. З гумових сумішей виготовляють рукавиці, шланги, амортизатори, прокладки, транспортерні стрічки, приводні ремні та інші вироби. Ебоніт в основному використовується для виготовлення електротехнічних виробів. Гуму широко застосовують для гумування хімічної апаратури, труб та іншого обладнання. Синтетичні полімери відрізняються від металів такими характеристиками: більшою стійкістю в агресивних середовищах; низькою щільністю; високою стійкістю проти стирання; високими діелектричними й теплоізоляційними властивостями; здатністю поглинати й гасити вібрацію; стійкістю проти низьких температур до 77 K ; простотою виготовлення; належними водовідштовхувальними властивостями. Однак ці матеріали мають недоліки, серед яких слід відмітити: незадовільну стійкість проти механічних навантажень і дій; схильність до деструкційних процесів; обмеженість експлуатаційних, температурних інтервалів; чутливість проти дії органічних розчинників, зокрема набрякливість, що прискорює деструкцію матеріалів, тощо.

12.2. Матеріали неорганічного походження

Неметалічні конструкційні матеріали неорганічного походження використовують у тих випадках, коли метали або полімери не відповідають експлуатаційним умовам або економічним міркуванням.

Бетони. Найбільш широко в промисловості використовують бетон та залізобетон (на основі цементних, силікатних в'язучих) для виготовлення фундаментів під насоси, для спорудження великогабаритних ємностей для зберігання водних розчинів солей, промислових та стічних вод, грануляційних башт, конструкційних елементів будівель, споруд та ін. При високих температурах використовують жаротривкий армований бетон. У теперішній час усе ширше використовують полімербетони із застосуванням реакційноздатних смол, каучуків, полівінілхлориду та інших полімерних матеріалів.

Скло. Силікатне й кварцове скло використовують як конструкційний матеріал для виготовлення труб, реакційної та теплообмінної апаратури у виробництві хімічних реакторів і матеріалів із високим ступенем чистоти. Борсилікатне скло використовують для виготовлення термостійких труб (від -50°C до $+400^{\circ}\text{C}$).

ЛЕКЦІЯ №13. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

План лекції

13.1. Теоретичні основи різання металів

13.2. Геометрія різального інструменту

13.3. Спрацювання та стійкість різального інструменту

13.1. Теоретичні основи різання металів

Механічна обробка поверхонь заготовок є однією з основних завершальних стадій виготовлення деталей машин. Одне з актуальних завдань машинобудування є подальший розвиток, вдосконалення та розробка нових технологічних методів обробки заготовок деталей машин, застосування нових конструкційних матеріалів та підвищення якості обробки деталей машин. Поряд з обробкою різанням застосовують методи обробки пластичним деформуванням, з використанням хімічної, електричної, світлової, променевої та інших видів енергії. *Робочі, установочні та допоміжні рухи в металорізальних верстатах. Обробка металів різанням-процес* зрізання ріжучим інструментом з поверхні заготовки шару металу у вигляді стружки для отримання необхідних геометричної форми, точності розмірів, взаєморозташування та шорсткості поверхонь деталі. Щоб зрізати з заготовки шар металу, необхідно різальному інструменту та заготовці задати відносні рухи. Інструмент та заготовку встановлюють та закріплюють у робочих органах верстатів, які забезпечують ці відносні рухи: в шпинделі, на столі, в револьверній головці. Рухи робочих органів верстатів підрозділяють на рухи різання, установочні та допоміжні. Рухи, які забезпечують зрізання з заготовки шару металу або викликають зміну стану обробленої поверхні заготовки, називають рухами *різання*. До них відносять головний рух різання та рух подачі. За *головний* рух різання (O_g) приймають рух, який визначає швидкість деформування матеріалу та відділення стружки, рух *подачі* (P_z) забезпечує врізання ріжучої кромки інструменту в матеріал заготовки. Ці рухи можуть бути безперервними або переривчастими, а за своїм характером обертальними,

поступальними, зворотно-поступальними. Швидкість головного руху різання позначають (V), швидкість руху подачі ($Pз$). Рухи, які забезпечують взаємне положення інструменту та заготовки для зрізання з неї певного шару матеріалу, називають установочними. До допоміжних рухів відносять транспортування заготовки, закріплення заготовки та інструменту, швидкі переміщення робочих органів верстату. Для будь-якого процесу різання можна скласти схему обробки. На схемі умовно зображують оброблювану заготовку, її установку та закріплення на верстаті, закріплення та положення інструменту щодо заготовки, а також руху різання (рис. 13.1).

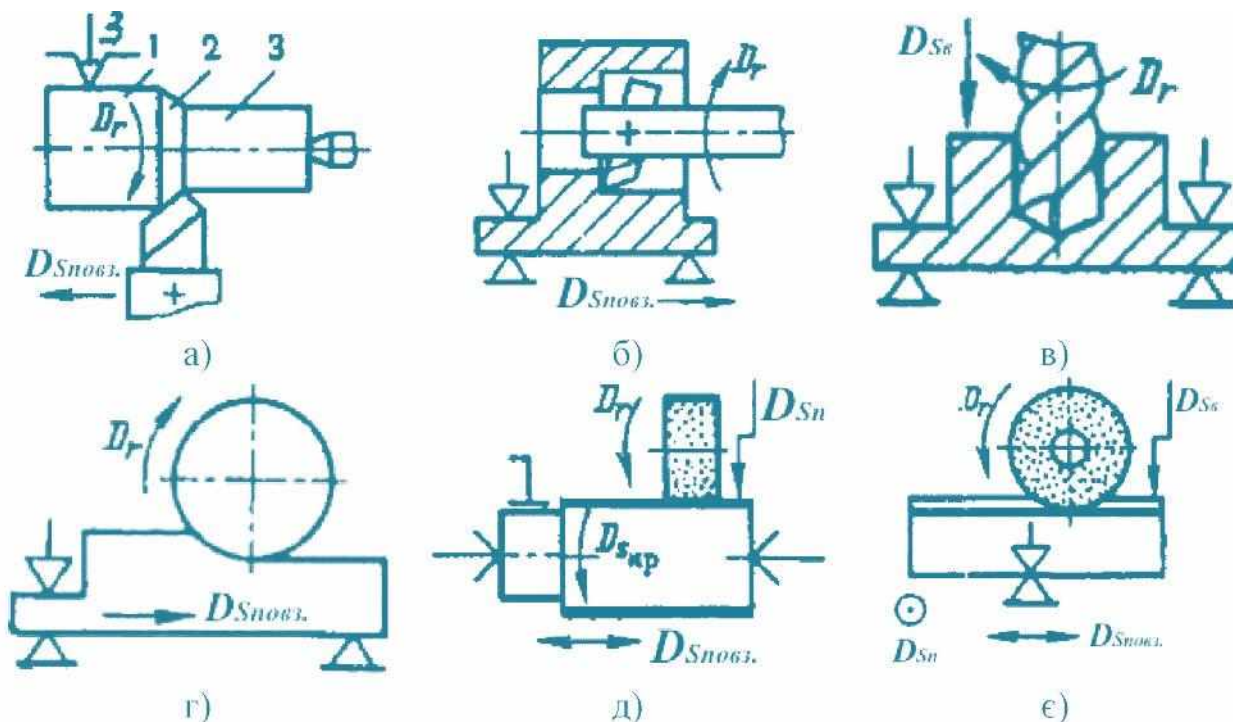


Рис. 13.1. Схеми обробки заготовок: а)-точіння; б)-розточування; в)-свердління; г)-фрезерування; д)-шліфування на круглошліфувальному верстаті; е)-шліфування на плоскошліфувальному верстаті.

Інструмент показують в положенні, відповідному закінченню обробки поверхні заготовки. Оброблену поверхню на схемі виділяють іншим кольором або стовщеними лініями. На схемах обробки показують характер рухів різання та їх технологічне призначення, використовуючи умовні позначення. Існують наступні рухи подачі: повздовжня (повз.), поперечна (п), вертикальна (в), кругова (кр.), окружна (о), тангенціальна (т). У процесі різання на заготовці розрізняють оброблювану поверхню 1, поверхню різання 2 та оброблену

поверхню 3 (рис. 13.1, а). На схемах обробки закріплення заготовки та інструменту показують напівконструктивно або умовними позначеннями відповідно ГОСТ 3.1107-81. При обробці заготовок на верстатах з ЧПК абсолютні значення швидкостей головного руху різання та руху подачі вносяться в програму спеціальними кодами. При використанні в ГВС багатоцільових металорізальних верстатів на одному верстаті можна здійснити декілька технологічних способів обробки, наприклад свердління, розгортання, розточування, фрезерування, що розширює номенклатуру деталей, оброблюваних на одному верстаті та підвищує їх продуктивність. *Режими різання, геометрія шару, що зрізується.* При виборі режимів різання визначають швидкості головного руху різання, подачі та глибину різання. Швидкістю головного руху різання V називають відстань, пройдену точкою різальної кромки інструменту відносно заготовки за одиницю часу. Ця швидкість вимірюється в метрах за секунду (м/с). Якщо головний рух різання обертальний (точіння), то швидкість головного руху різання, м/с визначають за формулою (13.1).

$$V = \frac{\pi D_{\text{заг.}} n}{1000 \times 60}, \quad (13.1)$$

де $D_{\text{заг.}}$ - найбільший діаметр оброблювальної поверхні заготовки, мм;

n - частота обертання заготовки за хвилину.

Якщо головний рух зворотно-поступальний, а швидкості робочого та допоміжного ходів різні, то швидкість головного руху різання, м/с буде визначатися за формулою (14.2).

$$V = \frac{l \cdot m(k+1)}{1000 \times 60}, \quad (13.2)$$

де l - розрахункова довжина ходу інструменту, мм;

m - число подвійних ходів інструменту за хвилину;

k - коефіцієнт, що показує співвідношення швидкостей робочого та допоміжного ходів.

Подачею (5) називають шлях точки ріжучої кромки інструмента відносно заготовки в напрямку руху подачі за один хід заготовки чи інструмента. Подача в залежності від технологічного методу обробки вимірюється в мм/об для

точіння та свердління; мм/подв.хід для строгання та шліфування. На верстатах з ЧПК величина подачі може безперервно змінюватися в процесі обробки заготовки відповідно до заданої програмою управління. В адаптивних системах ЧПК подача може автоматично змінюватися за результатами вимірювання шорсткості обробленої поверхні заготовки (самоналагоджувальна система ЧПК). Глибиною різання I називають відстань між оброблюваною та обробленою поверхнями заготовки, виміряною перпендикулярно до останньої. Глибину різання задають на кожен робочий хід інструменту відносно оброблюваної поверхні. Глибина різання вимірюється в міліметрах. При точінні циліндричної поверхні глибину різання визначають як напіврізницю діаметрів до та після обробки залежність (14.3).

$$t = \frac{D_{заг.} - d}{2}, \quad (13.3)$$

де $D_{заг.}$ - діаметр оброблюваної заготовки, мм;

d - діаметр обробленої поверхні заготовки, мм.

Форму перерізу зрізаного шару матеріалу розглянемо на прикладі обточування циліндричної поверхні на токарному верстаті. На рис. 13.2 показані два послідовних положення різця відносно заготовки за час одного повного її обороту. Різець зрізає з заготовки матеріал площею поперечного перерізу Φ_{ABCB} , яка називається номінальною площею зрізу D , мм². Для різців з прямолінійною ріжучою кромкою залежність (14.4).

$$f_{II} = f_{ABCB} = t S_{новз.}, \quad (13.4)$$

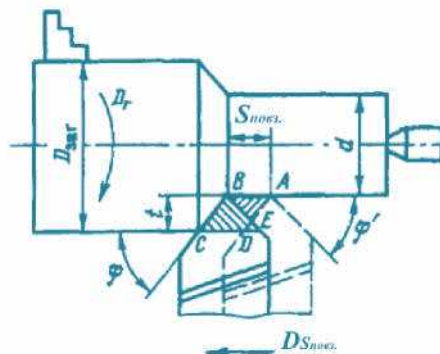


Рис. 13.2. Елементи різання та геометрія шару, що зрізується

Форма та розміри номінального перерізу зрізаного шару матеріалу залежать від $B_{пр.}$ та i , кутів та λ та форми ріжучої кромки. У процесі різання беруть участь

одночасно два рухи, тому траєкторією руху вершини різця відносно заготовки буде гвинтова лінія. Почавши різання в точці A , різець знову зустрінеться з цією утворюючою циліндричної поверхні тільки в точці B . Отже, не вся площа зрізу $/_{ABCЮ}$ буде зрізана з заготовки, а тільки частина її, та на обробленій поверхні залишаться мікронерівності (залишковий переріз площі зрізаного шару $/_{O=}/_{ABE}$). Дійсний переріз площі зрізаного шару матеріалу $/_{Д=}/_{BCBE}$ буде менше номінального $/_{н}$ на величину площі осьового перерізу мікронерівностей. Залишковий переріз площі зрізаного шару матеріалу утворює на обробленій поверхні мікроступи та мікрозападини, що створюють шорсткість поверхні. Цим і відрізняється реальна оброблена поверхня від ідеальної геометричної. *Шорсткість поверхні-ре* сукупність нерівностей обробленої поверхні з відносно невеликими кроками. Шорсткість одна з характеристик якості поверхневого шару заготовки. Вона оцінюється декількома параметрами, зокрема критерієм \wedge -середнє арифметичне відхилення профілю в межах певної базової довжини обробленої поверхні. Допустиме значення шорсткості оброблених поверхонь деталей машин вказується на кресленнях умовними позначеннями по ГОСТ 2789-73. Переважні значення параметра K_a для різних технологічних методів обробки лежать в наступних межах, мкм: для попередньої, чорнової, обробки 100...22,5; для чистової обробки 6,3...0,4; для фінішної та доводочної обробки 0,2...0,012. На шорсткість поверхні, обробленою різанням, впливає велика кількість факторів, пов'язаних з умовами виготовлення деталі, наприклад режими різання, геометрія різального інструменту, вібрації, фізико-механічні властивості матеріалу заготовки. До параметрів процесу різання відносять основний технологічний час обробки, час, що витрачається безпосередньо на процес зміни форми, розмірів та шорсткості оброблюваної поверхні заготовки. При токарній обробці циліндричної поверхні основний час T_o , хв., залежність (14.5).

$$T_o = \frac{L \cdot i}{(n S_{\text{нов}})}, \quad (13.5)$$

де $L=l+\Delta l$ - шлях ріжучого інструменту відносно заготовки в напрямку подачі;

l - довжина обробленої поверхні, мм;

Δl - величина врізання та виходу (перебіг) різця, мм;

i - число робочих ходів різця, необхідних для зняття матеріалу, залишеного на обробку;

n - частота обертання заготовки за хвилину; $\delta_{повз}$ - повздовжня подача мм/об.

13.2. Геометрія різального інструменту

Геометричні параметри різального інструменту доцільно розглядати на прикладі токарного прямого прохідного різця як типового зразка ріжучого клину. Геометричні параметри інших лезових ріжучих інструментів завжди можна ототожнювати з геометричними параметрами токарного прямого прохідного різця з урахуванням особливостей їх конструкції та способу дії на оброблюваний матеріал заготовки. Токарний прямий прохідний різець (рис. 13.3) має ріжучу частину I та приєднувальну частину II , яка служить для закріплення різця в різцетримачу. Ріжуча частина утворюється при спеціальному заточенні різця та має наступні елементи: передню поверхню леза 1, по якій сходить стружка; задню поверхню леза 2, повернену до поверхні різання заготовки; допоміжну задню поверхню 5, повернену до обробленої поверхні заготовки; ріжучу кромку 3, допоміжну ріжучу кромку 6, вершину леза 4.

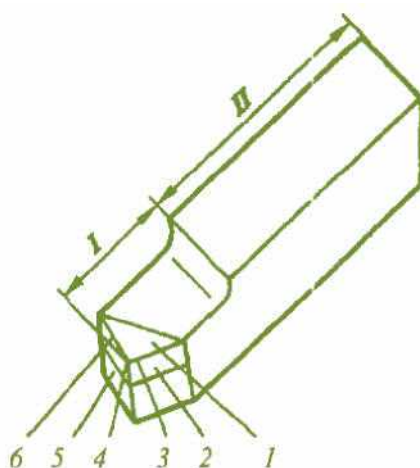


Рис. 13.3. Елементи токарного прямого прохідного різця

Інструмент заточують по передній та задній поверхнях. Для визначення кутів, під якими розташовані поверхні ріжучої частини інструменту відносно

один одного, вводять координатні площини (рис. 14.4). Основна плоскість P_{yc} проходить через точку різальної кромки перпендикулярно до напрямку швидкості головного руху різання. Плоскість різання $P_{\partial c}$ проходить дотично до різучої кромки леза перпендикулярно до основної площини. Головна січна плоскість P_{mc} проходить перпендикулярно до лінії перетину основної площини та плоскості різання. Допоміжна січна плоскість P_{mc} і плоскість, перпендикулярна до проекції допоміжної різальної кромки на основну плоскість.

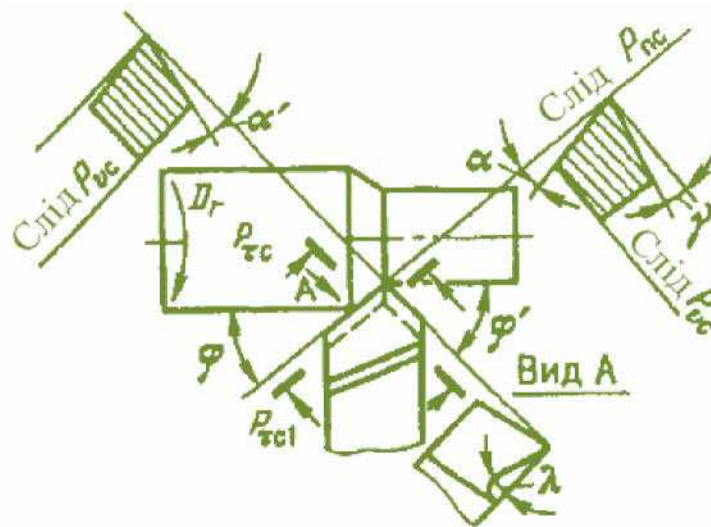


Рис. 13.4. Кути різця в статиці

Кути різця визначають положення елементів різальної частини в просторі щодо координатних площин та відносно один одного. Ці кути називають кутами різця в статиці. Кути інструменту мають істотний вплив на процес різання та якість оброблених поверхонь заготовок. У токарного різця розрізняють головні та допоміжні кути, які розглядають виходячи з таких умов: вісь різця перпендикулярна до лінії центрів верстату; вершина різця знаходиться на лінії центрів верстату, відбувається головний рух різання. *Передній кут* γ вимірюють у головній січній площині між слідом передній поверхні леза та слідом площини, перпендикулярної до сліду плоскості різання. Передній кут γ має великий вплив на процес різання. Зі збільшенням кута γ зменшується деформація зрізаного шару, так як інструмент легше врізається в матеріал, знижуються сили різання та витрата потужності. Одночасно покращуються умови сходу стружки, та якість обробленої поверхні заготовки підвищується. Надмірне збільшення кута γ призводить до зниження міцності

головної ріжучої кромки, збільшення зносу внаслідок викрашування, погіршення умов тепловідводу від ріжучої кромки. При обробці заготовок з крихких та твердих матеріалів для підвищення міцності та стійкості різця слід призначати менші значення кута γ , іноді від'ємні. При обробці заготовок з м'яких та в'язких матеріалів кут γ збільшують. *Головний задній кут α* вимірюють у головній січній площині між слідом площини різання та слідом головної задньої поверхні. Наявність кута α зменшує тертя між головною задньою поверхнею інструменту та поверхнею різання заготовки, що зменшує знос інструменту по головній задній поверхні. Надмірне збільшення кута « призводить до зниження міцності ріжучої кромки. Кут « призначають виходячи з величини пружного деформування матеріалу оброблюваної заготовки. *Допоміжний задній кут α'* вимірюють у допоміжній січній площині між слідом допоміжної задньої поверхні та слідом площини, що проходить через допоміжну ріжучу кромку перпендикулярно до основної площини. Наявність кута «' зменшує тертя між допоміжною задньою поверхнею інструмента та обробленої поверхні заготовки. *Кут β в плані γ* кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину та напрямком руху подачі робить значний вплив на шорсткість обробленої поверхні. Зі зменшенням кута шорсткість обробленої поверхні знижується. Одночасно збільшується активна робоча довжина головної різальної кромки. Сила та температура різання, що припадають на одиницю довжини кромки, зменшуються, що знижує знос інструменту. Зі зменшенням кута зростає сила різання, спрямована перпендикулярно до осі заготовки та спричинює її підвищену деформацію. Зі зменшенням кута можливе виникнення вібрацій в процесі різання, що знижує якість обробленої поверхні. *Допоміжний кут β в плані γ'* кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину та напрямком, зворотним руху подачі. Зі зменшенням кута β шорсткість обробленої поверхні знижується, збільшується міцність вершини різця, знижується його знос. *Кут нахилу ріжучої кромки A* кут у площині різання між різальною кромкою та основною плоскістю. Зі збільшенням кута A якість обробленої поверхні погіршується. Кути γ , α , γ' та D можуть змінюватися внаслідок похибки установки різця. Якщо

при обточуванні циліндричної поверхні вершину різця встановити вище лінії центрів, то кут γ збільшиться, а кут α зменшиться, а при установці вершини різця нижче лінії центрів верстату навпаки. Якщо вісь різця буде неперпендикулярна до лінії центрів верстату, то це викличе зміну кутів γ та α . У процесі різання кути γ та α різця змінюються. Це можна пояснити тим, що міняється положення площини різання в просторі внаслідок обертання заготовки та поступального руху різця. У цьому випадку реальною поверхнею різання, до якої дотична площина різання, буде гвинтова поверхня. При роботі з великими подачами та при нарізуванні різьби різцем зміна кутів γ та α буде істотним, що слід враховувати при виготовленні різців, вносячи корекцію в значення цих кутів. Кути γ та α в процесі різання можуть виявитися змінними, що має місце при обробці складних поверхонь деталей типу кулачків, лопаток турбін, гвинтових поверхонь із змінним кроком.

13.3. Спрацювання та стійкість різального інструменту

Тертя між стружкою та передньою поверхнею леза інструменту та між його головною задньою поверхнею та поверхнею різання заготовки спричинює знос різального інструменту. В умовах сухого та напівсухого тертя переважає абразивне зношування інструменту. Високі температури та контактні тиски викликають наступні види зношування: *окисне* - руйнування поверхневих оксидних плівок; *адгезійне* - виривання частинок матеріалу інструменту стружкою або матеріалом заготовки внаслідок їх молекулярного зчеплення; *термічне* - структурні перетворення в матеріалі інструменту. Знос інструменту призводить до зниження точності розмірів та геометричної форми оброблених поверхонь. Робота інструментом, який затупився викликає зростання сили різання. Відповідно, збільшуються складові сили різання, що спричинює підвищену деформацію заготовки та інструменту та ще більше знижує точність й форму оброблених поверхонь заготовок. Збільшуються глибина наклепаного поверхневого шару матеріалу заготовки та сили тертя між заготовкою та інструментом, що, в свою чергу, збільшує теплоутворення в процесі різання. При обробці на настроєних верстатах знос інструменту призводить до

розсіювання розмірів оброблених поверхонь заготовок, що знижує якість збірки деталей в умовах взаємозамінності. Зменшити вплив зносу на точність обробки можна періодичним підналагодженням верстату. Для цього в зоні обробки поверхні заготовки встановлюють спеціальні пристрої активного контролю розмірів. У разі відхилення розміру обробленої поверхні від допуску на нього пристрій дає електричний імпульс на включення привода системи підналагодження або вимикає електродвигун верстату. Загальний характер зносу різального інструменту показаний на прикладі токарного різця (рис. 14.5, а). При зносі різця на передній поверхні леза утворюється лунка шириною B , а на головній задній поверхні стрічка шириною κ . У інструментів з різних матеріалів та при різних режимах різання переважає знос по передній або головній задній поверхні. При одночасному зносі по цих поверхнях утворюється перемичка/.

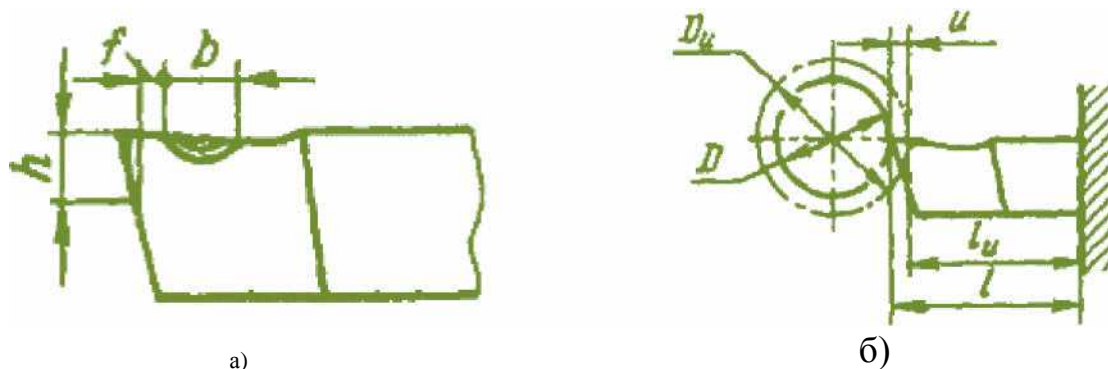


Рис. 13.5. Знос різця (а) та змінення розмірів різця та заготовки в результаті зносу (б)

Знос різця по головній задній поверхні в процесі обробки змінює глибину різання, та зменшує виліт різця з різцетримача на величину $n=l-l_u$ (рис. 13.5, б). Значення зносу різця пропорційно часу обробки, тому по мірі зростання значення u , глибина різання i зменшується. Оброблена поверхня виходить конусоподібною з найбільшим діаметром D_u та найменшим O . Кількісний вираз допустимого значення зносу називають критерієм зносу. За критерій зносу приймають в більшості випадків знос інструменту по головній задній поверхні κ . Для токарних різців з швидкорізальної сталі допустимий знос $\kappa=1,5...2$ мм, для різців з пластинками твердого сплаву $\kappa=0,8...1$ мм, з мінералокерамічними пластинками $\kappa=0,5...0,8$ мм. Допустимому зносу інструменту відповідає певний період стійкості (стійкість). Під *стійкістю* інструмента T розуміють сумарний

час (хв.) його роботи між переточуваннями на певному режимі різання. Стійкість токарних різців, ріжуча частина яких виготовлена з різних інструментальних матеріалів, складає 30...90 хв. Стійкість інструменту залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу інструменту та заготовки, режиму різання, геометрії інструменту та умов обробки. Найбільший вплив на стійкість має швидкість різання. Між величинами V та T існує залежність (13.6).

$$V_1 T_1^m = V_2 T_2^m = V_n T_n^m = const \quad \text{або} \quad V = \frac{C}{T^m}, \quad (13.6)$$

де C -постійна величина;

m -показник відносної стійкості (для різців $m=0,1...0,3$).

Так як величина m невелика, то стійкість різців різко падає навіть при незначному підвищенні швидкості різання. Тому обробку слід вести на розрахунковій швидкості. Ця умова легко виконується на верстатах з безступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя, зокрема на більшості типів верстатів з ЧПК. На верстатах зі ступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя обробку ведуть на найближчій меншій до розрахункової частоті обертання заготовки. У цьому випадку при невеликому зменшенні швидкості головного руху різання стійкість інструменту буде більше прийнятої. За рахунок чого зменшиться час на заміну інструменту, який затупився та, як правило, не знизить продуктивність. Застосування автоматичних підналадчиків в значній мірі зменшує вплив зносу різального інструменту на точність розмірів та форми оброблених поверхонь заготовок на токарних, фрезерних, шліфувальних та інших верстатах.

У металорізальних верстатах з системами програмного управління знос різального інструменту може компенсуватися в процесі обробки партії заготовок спеціально передбачаються для цієї мети блоками систем зворотного зв'язку. Коли знос різального інструменту призводить до того, що розмір обробленої поверхні заготовки не відповідає допуску на нього, датчики системи активного контролю дають сигнали в систему корекції та в програму обробки заготовки вноситься відповідна величина переміщення інструменту в певному

напрямку. У верстатах з ЧПК та інструментальними магазинами при зносі інструментів або переході на обробку іншого типу заготовок можна цілком замінювати весь магазин. Установку та наладку інструментів в магазині виробляють поза верстатом. На верстатах з ЧПК в умовах обробки заготовок в ГВС для підвищення стійкості інструментів широко використовують неперетачувані пластини з надтвердих та керамічних матеріалів.

ЛЕКЦІЯ №14. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ ТОКАРНОЇ І СВЕРДЛИЛЬНО – РОЗТОЧУВАЛЬНОЇ ГРУП.

План лекції

14.1. Технологія обробки заготовок на верстатах токарної групи.

14.2. Технологія обробки заготовок на верстатах свердлильно-розточувальної групи

14.1. Технологія обробки заготовок на верстатах токарної групи.

Технологічний метод формоутворення поверхонь заготовок точінням характеризується двома рухами: обертальним рухом заготовки (головний рух різання) та поступальним рухом ріжучого інструменту різця (рух подачі). Рух подачі здійснюється паралельно осі обертання заготовки (повздовжня подача), перпендикулярно до осі обертання заготовки (поперечна подача), під кутом до осі обертання заготовки (подача з нахилом). *Різновидності точіння:* обточування-обробка зовнішніх поверхонь; розточування-обробка внутрішніх поверхонь; підрізання - обробка плоских торцевих поверхонь; розрізка - розділення заготовки на частини або відрізка готової деталі від заготовки пруткового прокату. *По розташуванню* осі обертання заготовки токарні верстати можуть бути з вертикальною віссю обертання (вертикальні напівавтомати, автомати та токарно-карусельні верстати) та з горизонтальною віссю обертання (токарні верстати інших типів). На токарних верстатах виконують чорнову, напівчистову та чистову обробку поверхонь заготовок. *Класифікація верстатів токарної групи та їх призначення.* За технологічним призначенням верстати токарної групи ділять на токарно-гвинторізні, токарно-револьверні, карусельні, багаторізцеві одно-та багатошпindelні автомати та ін. За способом керування верстати ділять на верстати з ручним керуванням (універсальні), напівавтомати та автомати, з системами ЧПК. Сучасні токарні верстати з ЧПК в основі конструкції мають базові моделі універсальних

верстатів з ручним керуванням, схеми яких показані на рис. 15.1. Призначення верстатів з ЧПК залишилося тим же, хоча їх технологічні можливості значно розширилися. Токарно-гвинторізні верстати (рис. 15.1, а) застосовують в умовах одиничного (дрібносерійного) виробництва для обробки заготовок невеликих партій. Обробка складних деталей вимагає застосування великого числа різальних інструментів. Для скорочення витрат машинного часу на зміну інструменту необхідно мати спеціальний пристрій. Таким пристроєм є револьверна головка (револьверний супорт) токарно-револьверного верстату (рис. 15.1, б). Попередня наладка верстатів дозволяє обробляти поверхні заготовок по упорах, обмежуючим (вимикаючи) рух супортів, що забезпечують автоматичне отримання розмірів діаметрів та довжин оброблюваних поверхонь. Крім того, на револьверних верстатах можна вести паралельну (одночасну) обробку декількох поверхонь заготовок різними інструментами. Все це підвищує продуктивність верстатів, які використовують при виготовленні партій однакових заготовок в серійному виробництві.

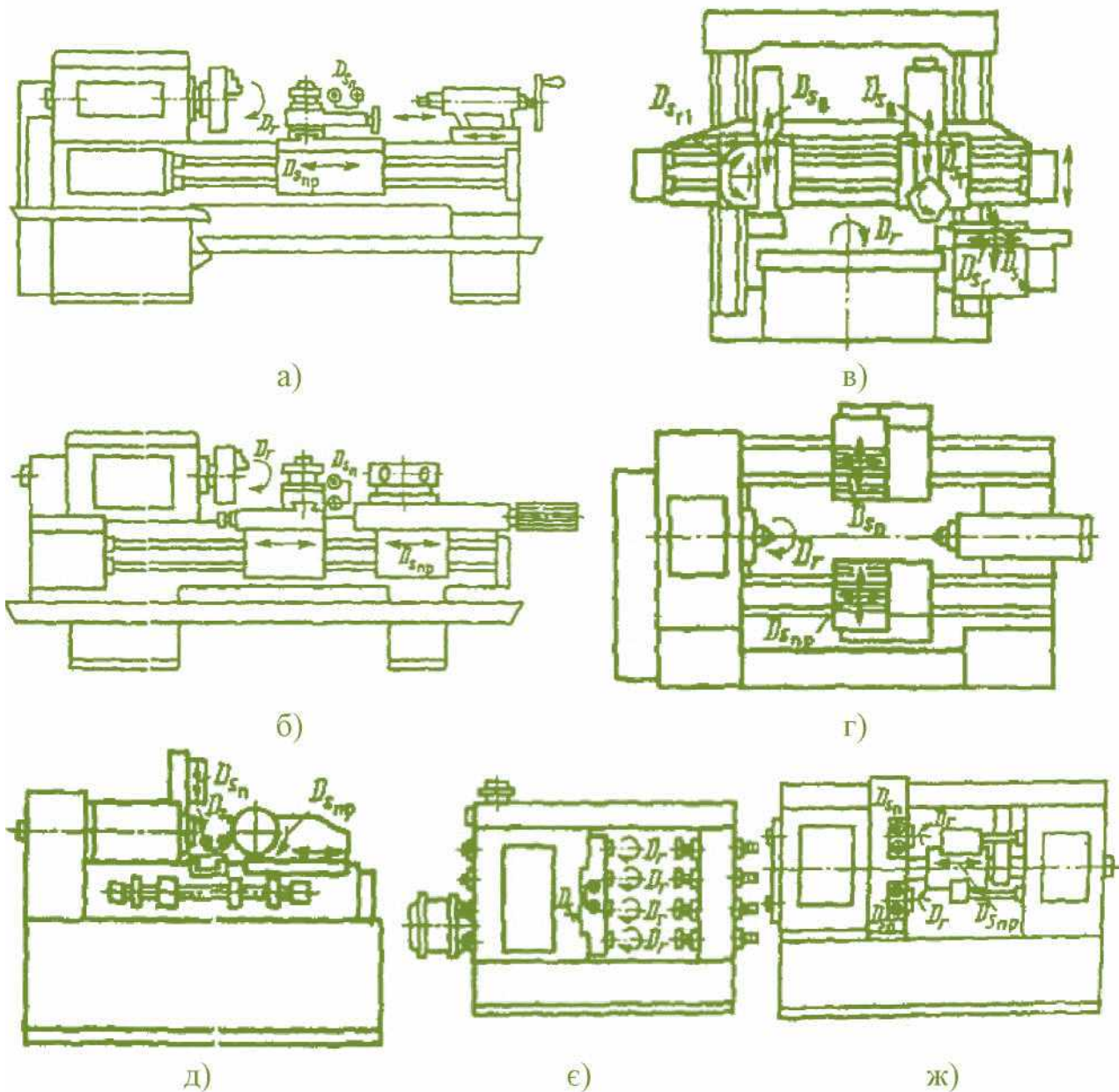


Рис. 14.1. Загальні види верстатів токарної групи (стрілками без позначення вказані установочні рухи вузлів верстатів)

Токарно-карусельні верстати (рис. 14.1, в) призначені для обробки великих важких заготовок, у яких відношення довжини (висоти) заготовки до діаметра становить 0,3...0,5 м. Це заготовки робочих коліс водяних та газових турбін, зубчастих коліс, маховиків. Особливістю верстатів є наявність круглого столу каруселі з вертикальною віссю обертання. Наявність каруселі (діаметром 0,5...21 м) полегшує установку, вивірку та закріплення важких заготовок на верстаті. Верстати використовують в середньому та важкому машинобудуванні. Багаторіздцеві токарні напівавтомати (рис. 14.1, г) призначені для обробки зовнішніх поверхонь заготовок типу ступінчастих валів, блоків зубчастих коліс,

шпинделів. На багаторізцевих напівавтоматах одночасно обробляються кілька поверхонь заготовки. На одношпindelних токарно-револьверних автоматах (рис. 14.1, д) обробляють заготовки невеликих розмірів (діаметром 8...31 мм), але складних за формою. Автомати працюють по замкнутому технологічному циклу паралельної обробки поверхонь. Рухи (різання, установочні, допоміжні) робочих органів автомата здійснюються від кулачкового розподільного валу. Автоматизація рухів забезпечує високу продуктивність. Автомати використовують для виготовлення великих партій деталей. Багатошпindelні автомати паралельної обробки заготовок (рис. 14.1, є) використовують у масовому виробництві. На автоматах одночасно обробляються стільки заготовок, скільки шпинделів має автомат. Виготовляються деталі одного типорозміру: форма деталей середньої складності. На багатошпindelних автоматах послідовної обробки (рис. 14.1, ж) одночасно обробляються кілька заготовок (по числу шпинделів). У кожній з позицій заготовки знаходяться на різних стадіях обробки. Автомати мають високу продуктивність, їх використовують у масовому виробництві для виготовлення складних по конструкції деталей. В даний час більшість токарних верстатів оснащується системами ЧПК. Токарні верстати з ЧПК класифікують за декількома ознаками: по технологічному призначенню та типам оброблюваних заготовок: на центрові, патронні, патроно-центрові, карусельні, пруткові; по розташуванню напрямних станини на горизонтальні, вертикальні та нахилені; по способах закріплення використовуваних інструментів на супорті, в револьверній голівці, в інструментальному магазині; по положенню осі обертання шпинделя на горизонтальні й вертикальні. Центрові верстати служать для обробки заготовок типу валів з прямолінійними та криволінійними контурами. Обробляються тільки зовнішні поверхні заготовок. *Патронні верстати* служать для обробки заготовок типу зубчастих коліс, фланців, шківів. Обробляються як зовнішні, так і внутрішні поверхні. *Патроно-центрові* верстати призначені для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь складних за формою заготовок та мають технологічні можливості центрових та патронних верстатів. *Карусельні верстати* застосовують для обробки заготовок великих розмірів по діаметру,

наприклад корпусів турбін, станин верстатів та вантажопідійомних машин та ін. Верстати використовують у важкому та енергетичному машинобудуванні. На рис. 15.2 показані дві схеми загального виду токарних верстатів з ЧПК: з нахиленою (рис. 15.2, а) та вертикальною станиною (рис. 15.2, б). Токарний верстат першого типу має нахилену станину 1 з направляючими 6, по яких переміщується супорт 7 паралельно осі оброблюваної заготовки. По напрямних супорта переміщуються салазки 9, які забезпечують рух ріжучого інструмента поперечної подачі. На салазках змонтована інструментальна револьверна головка 8, в пазах якої закріплюються різці. Головка автоматично повертається щодо осі, що забезпечує зміну різців.

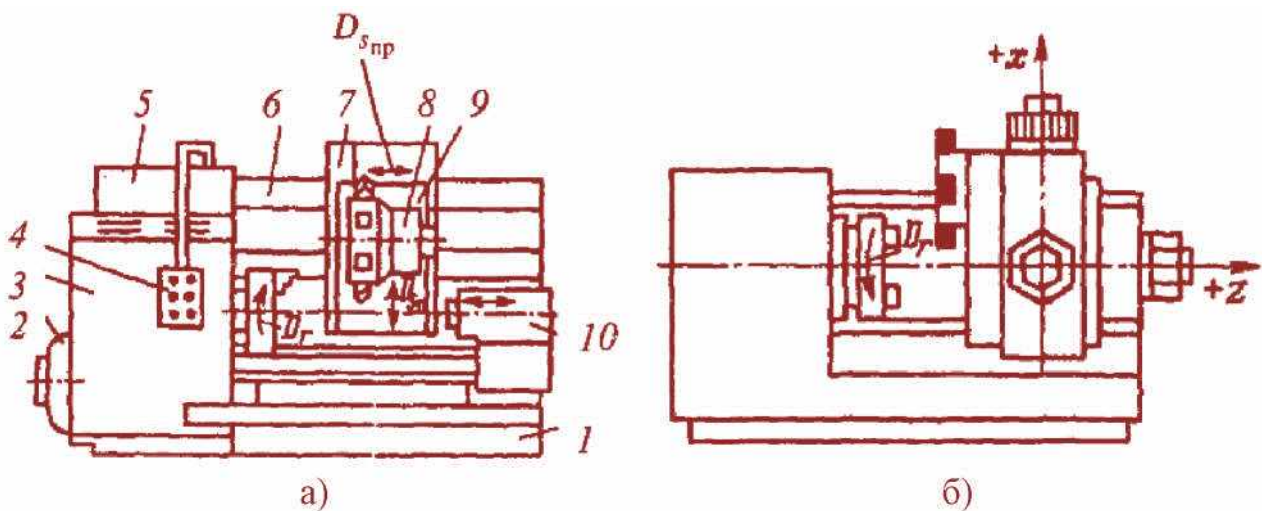


Рис. 14.2. Загальні види токарних верстатів з ЧПК

У передній бабці 3 змонтовані коробка швидкостей для зміни частоти обертання шпинделя, коробка подач для зміни поздовжньої та поперечної подач та головний електродвигун 2. У задній бабці 10 встановлено задній центр, який служить для стискання правого кінця оброблюваної заготовки. Піноль задньої бабки має гідравлічний привід, що забезпечує стабільність сили підтискання заготовки. В шафу 5 вмонтована електрична розподільча апаратура, управління якою здійснюється з пульта 4. Верстат поставляється замовнику з шафою, в якій вмонтовані блоки системи ЧПК, керуючої циклом роботи верстата. Система ЧПК забезпечує зміну частоти обертання заготовки, зміна швидкості подачі, періодичний поворот інструментальної головки. Всі команди виконавчим механізмам оператор вводить за допомогою кнопок на панелі управління. При установці на верстаті двох револьверних головок (рис.

14.2, б) в одній з них закріплюють інструменти для оброблення зовнішніх поверхонь, в іншій для внутрішніх. Револьверні головки мають горизонтальну, вертикальну або нахилену вісь обертання. У пазах револьверних головок встановлюють змінні взаємозамінні інструментальні блоки, які налагоджують на заданий розмір обробки поверхні заготовки поза верстатом. У конструкціях токарних верстатів з ЧПК використовують револьверні головки чотирьох дванадцяти позиційних. У кожній позиції головки можна встановлювати по два інструменти для паралельної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь заготовки. Інструментальні магазини (місткістю по 8...20 інструментів) в токарних верстатах з ЧПК використовують рідко. Використання інструментальних магазинів з великим числом інструментів доцільно при вбудовуванні верстатів в гнучкі виробничі модулі, роботизовані технологічні комплекси, а також у випадках, коли ріжучі інструменти мають невеликі періоди стійкості. В сучасних токарних верстатах використовують системи ЧПК: 8КС, мають пам'ять для зберігання всієї керуючої програми; СКС-автономне керування верстатом з ЧПК, що мають міні-ЕОМ або мікропроцесор; ПКС-групове керування верстатами від загальної керуючої ЕОМ. *Ріжучий інструмент та технологічне оснащення токарних верстатів.* Різноманіття видів поверхонь заготовок, що обробляються на верстатах токарної групи, призвело до створення великої кількості токарних різців (рис. 14.3). Головним принципом класифікації різців є їх технологічне призначення. Розрізняють різці: прохідні прямі (рис. 14.3, а), відігнуті (рис. 14.3, б), упорні (рис. 14.3, в) та широкі (рис. 14.3, г) для обточування зовнішніх циліндричних та конічних поверхонь; підрізні (рис. 14.3, д) для підрізання торців заготовки; відрізні (рис. 14.3, є) для відрізання обробленої заготовки та для проточування кільцевих канавок; розточувальні прохідні (рис. 14.3, ж) та упорні (рис. 14.3, з) для розточування наскрізних та глухих отворів; фасонні стержневі (рис. 14.3, і), круглі (рис. 14.3, к) та призматичні (рис. 14.3, л) для обробки фасонних коротких поверхонь з довжиною утворюючої лінії до 30...40 мм; різьбові для нарізання зовнішніх (рис. 14.3, м) та внутрішніх (рис. 14.3, н) метричних різьб.

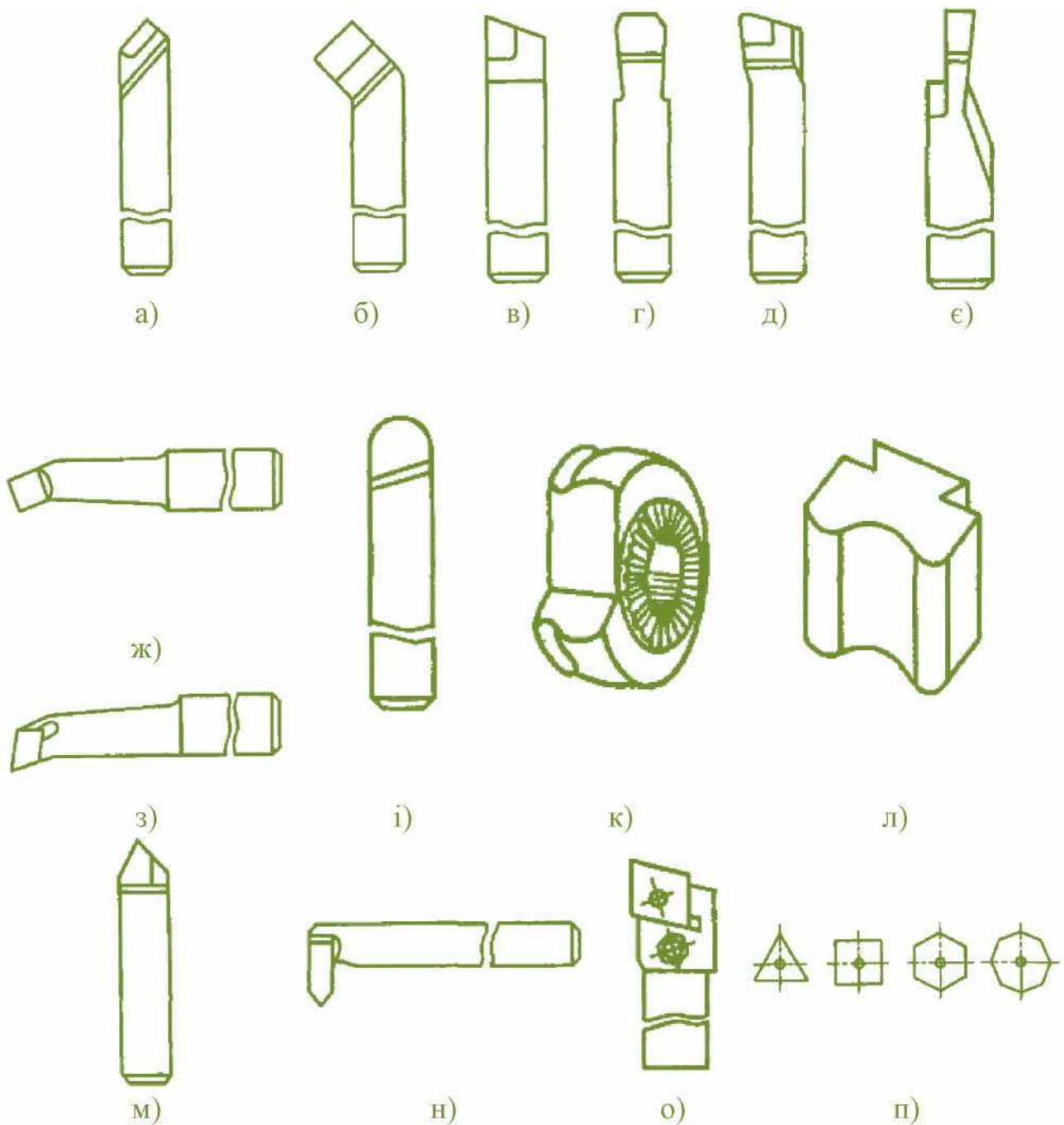


Рис. 14.3. Види токарних різців

За характером обробки різці поділяють на чорнові, напівчистові та чистові, по напрямку руху подачі на праві та ліві. Праві працюють з подачею справа наліво, ліві зліва направо. По конструкції різці поділяють на цілі, з привареною або припаяною пластиною ріжучого матеріалу, зі змінними пластинами. Широко застосовують різці з багатограними непереточуваними пластинами (рис. 14.3, о). Коли одна з ріжучих кромek пластини виходить з ладу внаслідок затуплення, відпускають механічний притискач та встановлюють в робоче положення наступну ріжучу кромку. На рис. 14.3, п показані типи змінних багатограних ріжучих пластин. Установка та

закріплення заготовки, що обробляється на токарному верстаті, залежать від типу верстата, виду оброблюваної поверхні, характеристики заготовки (відношення довжини заготовки до діаметра), точності обробки та інших чинників. На токарно гвинторізних верстатах для закріплення заготовок широко використовують трьохкулачкові самоцентруючі патрони (рис. 14.4, а). На корпусі 1 патрона розташовані три радіальних паза, по яким переміщаються кулачки 2. Патрони для закріплення заготовок застосовують при відношенні їх довжини до діаметра $Ш < 4$. В автоматизованих верстатах та верстатах з ЧПК використовують патрони з механічним, пневматичним, гідравлічним та електричним приводами кулачків. У центрових верстатах із ЧПК при відношенні $Ш = 4 \dots 10$ заготовку встановлюють в центрах, а для передачі на неї крутного моменту від шпинделю верстата застосовують різні повідкові пристрої та пристосування. Для установки заготовки в центрах необхідно зробити центрові отвори з торців валу. Центрові отвори роблять спеціальними центрувальними свердлами. Центри можна розділити на упорні (рис. 14.4, б), зрізані (рис. 14.4, в), кулькові (рис. 14.4, г). *Упорні центри* роблять з твёрдосплавними наконечниками, що підвищує їх довговічність. *Зрізані центри* застосовують при підрізанні торців заготовки, коли підрізний різець повинен дійти майже до осі обертання заготовки. *Кулькові центри* використовують при обточуванні конічних поверхонь заготовки, *зворотні центри* (рис. 14.4, д) при обробці заготовок невеликих діаметрів. *Оберткові центри* (рис. 14.4, є) застосовують при різанні з великими перерізами шару, металу, що зрізується коли виникають великі складові сили різання, або при обробці на великих швидкостях різання. При установці заготовки в центрах для передачі на неї крутного моменту від шпинделя верстату використовують повідковий патрон (рис. 14.4, ж) та хомутик (рис. 14.4, з). Повідковий патрон являє собою корпус, який нагвинчують на шпиндель верстату. На торці патрона запресований циліндричний палець, який передає момент на хомутик, який закріплюють на заготовці болтом. При відношенні $Ш > 10$ для зменшення деформації заготовки від сил різання застосовують люнети. Рухомий відкритий люнет (рис. 14.4, і) встановлюють на поздовжньому супорті верстату, нерухомий закритий люнет

(рис. 14.4, к) закріплюють на станині. Сили різання сприймають опори люнетів, що підвищує точність обробки.

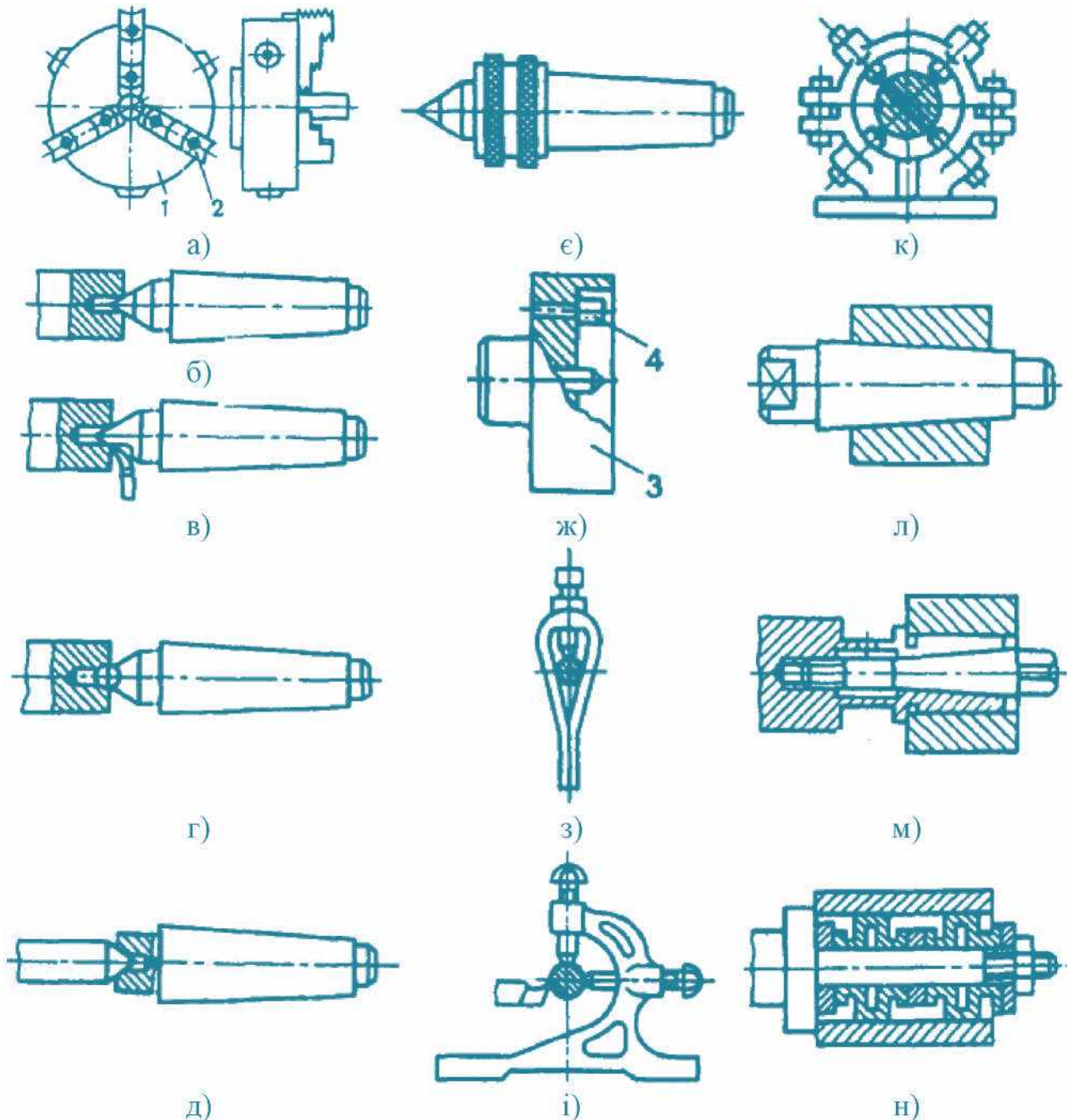


Рис. 14.4. Технологічне оснащення для закріплення заготовок в токарних верстатах

Для установки заготовок типу втулок, кілець та стаканів застосовують конічні оправки (рис. 14.4, л), коли заготовка утримується на оправці силою тертя на спряжених поверхнях; цангові оправки (рис. 14.4, м) з розтискними пружними елементами цангами; пружні оправки з гідропластмасою, гофрованими втулками (рис. 14.4, к). На токарно-револьверних верстатах, напівавтоматах та автоматах для закріплення заготовок прутків

використовують цангові патрони. Для установки різців на токарних верстатах з ЧПК з інструментальними (рис. 14.5, а) або револьверними головками використовують спеціальні змінні взаємозамінні інструментальні блоки (рис. 14.5, б).

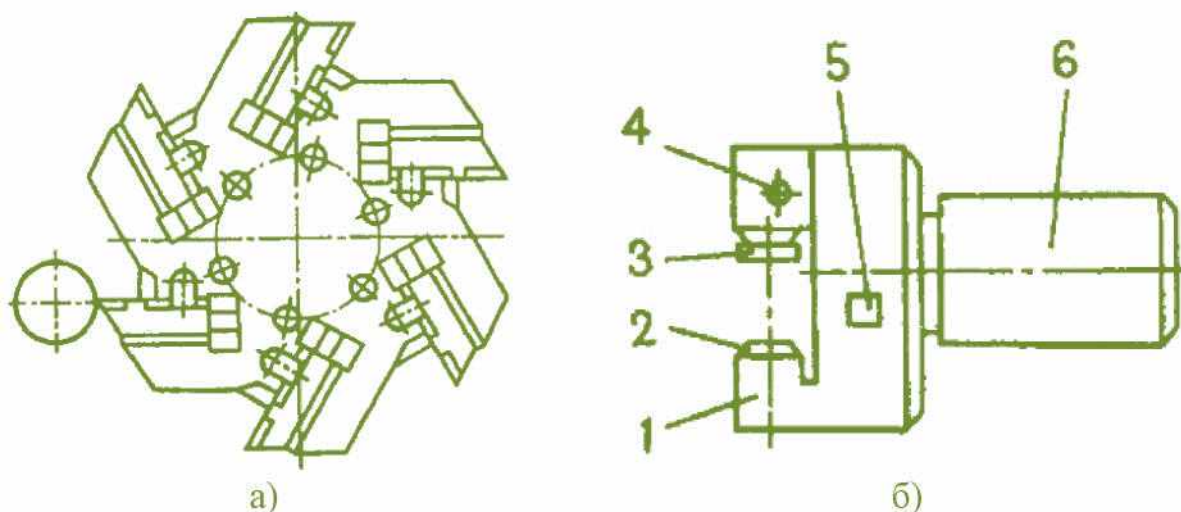


Рис. Інструментальна головка токарного верстату з ЧПК (а) та інструментальний різцевий блок

Інструментальні блоки налагоджують на розміри оброблюваних поверхонь заготовок поза верстатом на спеціальних приладах. Це значно знижує простої верстатів з ЧПК, підвищує продуктивність та точність обробки. Різцеві блоки в револьверних головках базуються на призму циліндричним хвостовиком (рис. 14.5, б). Різець кріплять в пазу корпусу 1 гвинтами через притискну планку 3. Для установки різця по висоті на лінії центрів верстату служить підкладка 2. Два регулювальних гвинти 5, розташованих під кутом 45° до осі хвостовика 6, дозволяють виводити вершину різця на задані координати в процесі наладки блоку. Подача змащувально-охолоджувальної рідини здійснюється через канал у корпусі 1 блоку. В кінці каналу встановлено сопло 4, що дозволяє регулювати напрямок подачі ЗОР в зону різання. Деякі моделі токарних верстатів мають інструментальні магазини, в яких зберігається весь інструмент, необхідний для обробки заготовки. В таких випадках верстат забезпечується спеціальним автооператором, що здійснює зміну інструменту в різцетримачі верстату. Автооператор працює по циклу відповідно до заданої

програми: витяг інструменту з різцетримача, установка інструменту в гнізді магазину, поворот магазину, витяг чергового інструменту з магазину, установка інструменту в різцетримачі. Знімання з верстату оброблених деталей та установка на верстаті заготовок здійснюються маніпулятором. Заготовки та оброблені деталі складуються на тактовому столі, представляє собою замкнений кроковий конвеєр. Робот забирає зі столу заготовки для їх установки на верстаті, а готові деталі, зняті з верстату, встановлює на тактовому столі. За цикл обробки заготовки транспортер тактового столу переміщується на один крок. *Основні види робіт виконуваних на токарних верстатах.* Схеми основних видів обробки поверхонь, показаних на рис. 14.6, є типовими, так як їх можна реалізувати на універсальних токарних верстатах, напівавтоматах, автоматах та верстатах з ЧПК. Обробка поверхонь здійснюється або з поздовжнім, або з поперечним рухом подачі (рис. 14.6, а). Формоутворення поверхонь при обробці з поздовжнім рухом подачі здійснюється за методом слідів, при обробці з поперечним рухом подачі в основному за методом копіювання. Переміщення інструментів в напрямку стрілок руху подачі залежать від типу верстата, та управління ними здійснюється вручну на універсальних верстатах, від кулачків та копіїв на напівавтоматах та автоматах або по керуючим командам програми системи ЧПК верстату. Зовнішні циліндричні поверхні обточують прямими (рис. 14.6, б) або відігнутими прохідними різцями. Гладкі вали обточують при установці заготовки в центрах. Ступінчасті вали обточують за схемами ділення припуску на частини або за схемами ділення довжини заготовки на частини. Для обробки нежорстких валів рекомендують використовувати прохідні різці, у яких головний кут в плані $\alpha = 90^\circ$. При обробці заготовок валів такими різцями радіальна складова сили різання P_y дорівнює нулю, що знижує деформування заготовок у процесі обробки та підвищує їх точність. Зовнішні (рис. 14.6, в) та внутрішні різьби нарізають різьбовими різцями, форма ріжучих кромки яких визначає профіль нарізуваних різьб. При наладці універсальних токарно-гвинторізних верстатів для нарізування різьби заданого кроку необхідно попередньо визначити ті зубчасті колеса, які встановлюють в кінематичний ланцюг. На верстатах з ЧПК крок нарізуваної

різьби встановлює система управління. Нарізають як однозахідні, так і багатозахідні різьби.

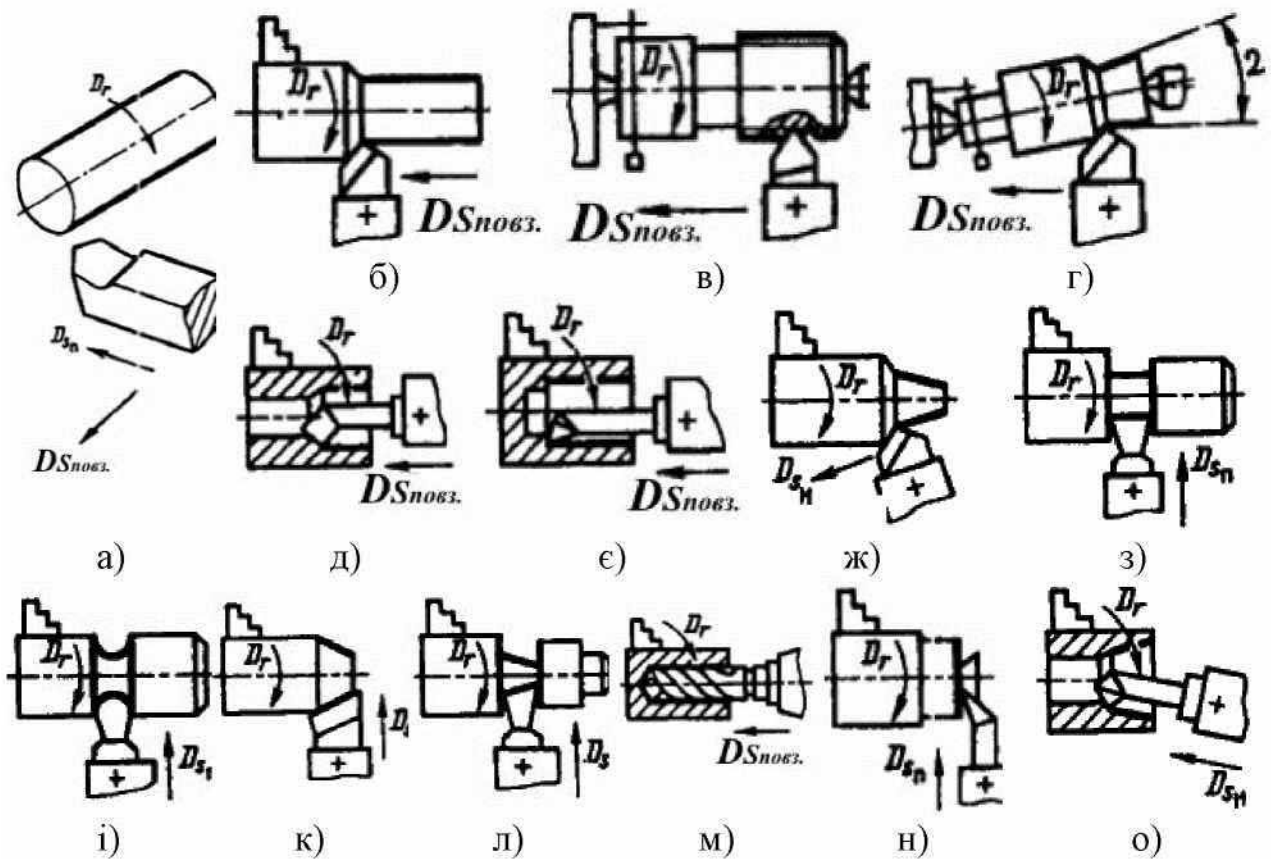


Рис. 14.6. Типові схеми обробки поверхонь заготовок на верстатах токарної групи

Точіння довгих пологих конусів ($2\ll 8\text{...}10^\circ$) роблять при зсуві в поперечному напрямку корпусу задньої бабки відносно її основи (рис. 14.6, г) або з використанням спеціального пристосування конусної лінійки. Точіння на верстатах з ЧПК конічних поверхонь з будь-яким кутом конуса при вершині здійснюють підбором швидкостей повздовжньої та поперечної подач. Наскрізні отвори на токарно-гвинторізних верстатах розточують прохідними розточувальними різцями (рис. 14.6, д), глухі упорними (рис. 14.6, е). З поперечним рухом подачі на токарно-гвинторізних верстатах обточують кільцеві канавки (рис. 14.6, з) прорізними різцями, фасонні поверхні (рис. 14.6, і) фасонними стержневими різцями, короткі конічні поверхні фаски (рис. 14.6, к) широкими різцями, у яких головний кут в плані дорівнює половині кута при вершині конічної поверхні. Для відрізки деталей від заготовки (рис. 14.6, л) використовують відрізни різці з нахиленою ріжучою кромкою, що забезпечує після відрізання чистий торець на готовій деталі; для підрізання торців (рис.

15.6, і) спеціальні підрізні різці. На токарно-гвинторізних верстатах обробку отворів виконують свердлами (рис. 15.6, м), зенкерами та розгортками. У цьому випадку обробку ведуть з рухом поздовжньої подачі різального інструменту. Обточування зовнішніх та розточування внутрішніх конічних поверхонь середньої довжини (рис. 15.6, ж, о) з будь-яким кутом конуса при вершині на токарно-гвинторізних верстатах роблять з нахиленим рухом подачі різців при повороті верхнього супорту. На верстатах з ЧПК ця обробка виконується після введення в програму відповідних величин подач $\%_{np}$, та V . Точність обробки поверхонь заготовок на верстатах з програмним керуванням можна значно підвищити. Для цього слід автоматично, без втручання оператора, вибирати найбільш оптимальний режим роботи в кожний момент часу, безперервно враховуючи змінні умови обробки. Розглянемо принципову схему токарного верстату з адаптивною системою програмного керування (рис. 15.7), яка дозволяє обробляти заготовку при постійному значенні сили різання. Оброблювана заготовка 1 приводиться в обертання електродвигуном 2.

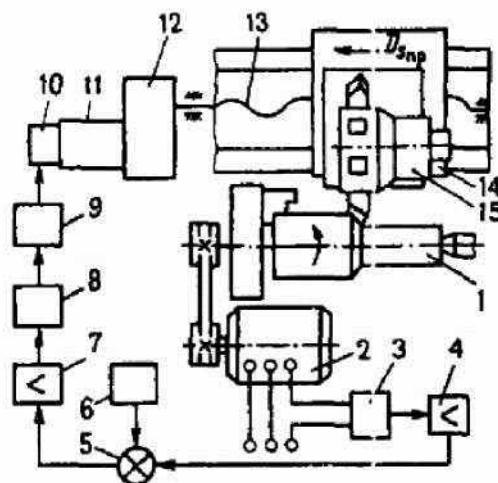


Рис. 14.7. Схема обробки заготовки на токарному верстаті з адаптивною системою ЧПК

Рух поздовжньої подачі інструментальної головки 15 здійснюється ходовим гвинтом 13. Вимірюваним збудженням є зміна сили різання внаслідок порушення умов обробки. Коливання сили різання викликають пропорційні зміни потужності, споживаної електродвигуном 2, що реєструє датчик 3. Отриманий сигнал через підсилювач 4 передається в блок-схему порівняння 5, де його рівень порівнюється з рівнем сигналу з пристрою, який їх задає. Різниця

сигналів датчика 3 та пристрою 6 після підсилювача 7 надходить у блок-схему програмного управління 8. Після цього сигнал підсумовується з сигналом програми та надходить у кроковий комутатор 9, кроковий електродвигун 10, гідропідсилювач 11 та редуктор 12, обертає ходовий гвинт 13 та повідомляє повздовжню подачу супорта 14. В залежності від знаку різниці сигналів датчика та пристрою, що задає відбувається збільшення або зменшення швидкості повздовжньої подачі, яка впливає на зміну сили різання. Обробка заготовки при постійному значенні сили різання дозволяє значно зменшити коливання пружних деформацій в технологічній системі, що призводять до похибок обробки, оптимально використовувати потужність верстату та підвищити стійкість інструменту.

14.2. Обробка заготовок на верстатах свердлильної групи

Свердління - найпоширеніший метод отримання отворів в суцільному матеріалі. Свердлінням отримують наскрізні та нескрізні (глухі) отвори та обробляють попередньо отримані отвори в цілях збільшення їх розмірів, підвищення точності та зниження шорсткості поверхні. Свердління здійснюють поєднанням обертального руху інструменту навколо осі (головного руху різання) та поступального його руху вздовж осі (руху подачі). Обидва рухи на свердлильному верстаті передають інструменту. Процес різання при свердлінні протікає в більш складних умовах, ніж при точінні. У процесі різання ускладнені відведення стружки та підведення охолоджуючої рідини до ріжучих кромки інструменту. При відведенні стружки відбувається тертя її об поверхню канавок свердла та свердла об поверхню отвору. В результаті підвищуються деформація стружки та тепловиділення. На збільшення деформації стружки впливає зміна швидкості головного руху різання вздовж ріжучої кромки від максимального значення на периферії свердла до нульового значення в центрі. *За швидкість головного руху* різання при свердлінні приймають окружну швидкість точки ріжучої кромки, найбільш віддаленої від осі свердла, м/с залежність (14.1).

$$V = \frac{\pi D n}{1000 \times 60}, \quad (14.1)$$

де P - зовнішній діаметр свердла, мм;
 n - частота обертання свердла, об/хв.

Подача (мм/об) дорівнює осьовому переміщенню свердла за один оборот.

За глибину різання при свердлінні отворів в суцільному матеріалі приймають половину діаметра свердла, мм залежність (16.2).

$$t = \frac{D}{2}, \quad (14.2)$$

а при розсвердлюванні за формулою (16.3)

$$t = \frac{(D - d)}{2}, \quad (14.3)$$

де D - діаметр оброблюваного отвору, мм.

У процесі різання на свердло діє опір з боку оброблюваного матеріалу. Рівнодіючу сил опору, прикладену в деякій точці A ріжучої кромки, можна розкласти на три складові сили: P_x , P_y та P_z (рис. 14.1). Складова P_x спрямована вздовж осі свердла. У цьому ж напрямку діє до сила P_n на поперечну ріжучу кромку. Сумарна всіх зазначених сил, що діють на свердло вздовж осі X , називається осьовою силою. Радіальні сили P_y , рівні по величині, але спрямовані протилежно, тому взаємно урівноважуються. У розрахунках для визначення осьової сили P_0 (Н) та крутного моменту M_k (Нм) використовують емпіричні формули (14.4).

$$\begin{aligned} P_0 &= C_p D^{x_p} S^{y_p} k_p; \\ M_k &= C_M D^{x_M} S^{y_M} k_M, \end{aligned} \quad (14.4)$$

де C_p , C_M - коефіцієнти, які враховують фізико-механічні властивості матеріалу, що оброблюється та умови різання;

x_p , y_p , x_M , y_M - показники ступенів;

k_p , k_M - поправочні коефіцієнти на зміну умов різання.

Коефіцієнти та показники ступенів наведені в довідниках. Осьова сила та крутний момент є вихідними для розрахунку свердла та вузлів верстату на міцність, а також для визначення ефективної потужності. Ефективна потужність (кВт), витрачається на різання при свердлінні залежність (14.5).

$$M_e = \frac{M_{Kn}}{1000 \times 60}, \quad (14.5)$$

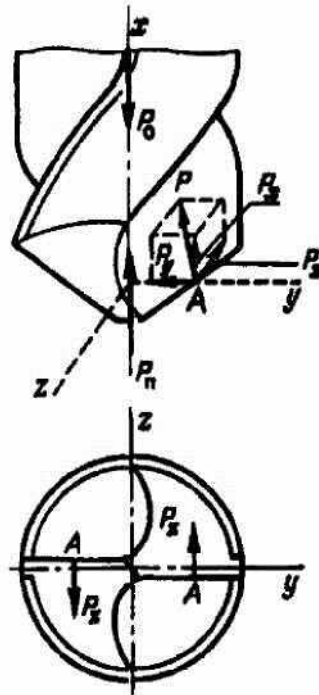


Рис. 14.1. Сили різання, які діють на свердло

Типи свердлильних верстатів. Свердлильні верстати ділять на кілька типів. Настольно - свердлильні верстати випускають для свердління отворів діаметром до 16 мм; вертикально-свердлильні та радіально-свердлильні для свердління отворів діаметром до 100 мм. Горизонтально-свердлильні верстати призначені для отримання глибоких отворів спеціальними свердлами. Широка універсальність свердлильних верстатів дозволяє використовувати їх у всіх галузях промисловості. Конструкції свердлильних верстатів різних типів мають багато спільного. На фундаментній плиті 1 вертикально-свердлильного верстата (рис. 14.2, а) змонтована колона 2 У верхній частині колони розташована коробка швидкостей 6, через яку шпинделю з ріжучим інструментом повідомляють головний обертальний рух різання. Рух подачі (поступальний вертикальний) інструмент отримує через коробку подач 5, розташовану в кронштейні 4 Заготовку встановлюють на столі 3. Стіл та кронштейн мають установочні переміщення по вертикальних напрямних колони 2. Поєднання осі обертання інструменту із заданою віссю отвору досягається переміщенням заготовки.

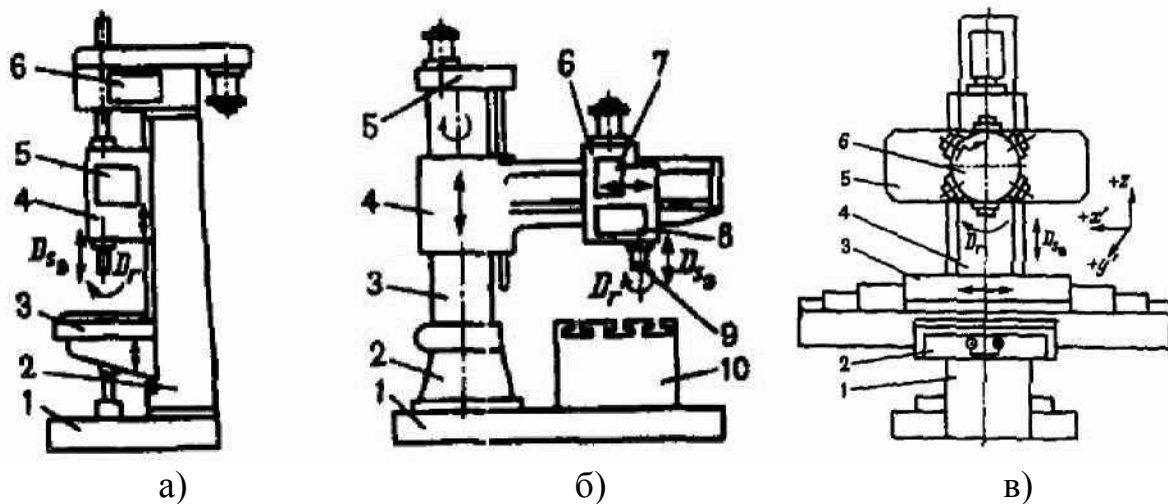


Рис. 14.2. Основні типи свердильних верстатів

На фундаментній плиті I радіально-свердильного верстату (рис. 14.2, б) закріплена колона 2 з поворотною гільзою 3, по якій переміщається у вертикальному напрямку та встановлюється в потрібному положенні за допомогою механізму 5 траверса 4. По горизонтальних напрямках траверси переміщається шпindelна головка 6, в якій розташовані коробка швидкостей 7 та коробка подач 8. Шпindel 9 з інструментом отримує головний обертальний рух різання та рух вертикальної подачі. Заготовку закріплюють на столі 10 або безпосередньо на фундаментній плиті 1. Інструмент встановлюють в робоче положення поворотом траверси разом з гільзою 3 та переміщенням шпindelної головки по напрямках траверси. На радіально-свердильних верстатах обробляють отвори, розташовані на значній відстані один від одного, в великогабаритних та великої маси заготовках. Ці верстати на відміну від вертикально-свердильних забезпечують (без зміни положення заготовки) суміщення осей різального інструменту та оброблюваних отворів переміщенням шпindelної головки. Для обробки заготовок з великим числом отворів доцільно використовувати свердильні верстати з ЧПК. У вертикально-свердильного верстата з ЧПК (рис. 14.2, в) на станині 1 встановлена колона 4, по вертикальних напрямках якої переміщується супорт 5 (рух подачі по осі 2) з револьверною головкою 6 для автоматичної зміни різального інструменту. Хрестовий стіл, що складається з салазок 2 та столу 3, здійснює два взаємно перпендикулярних рухи по осям x' , y' , що дозволяє точно встановлювати заготовку щодо інструменту без попередньої розмітки та спеціальних

пристосувань. Швидке підведення інструменту до заготовки, глибина свердління, зміна частоти обертання та руху подачі проводяться автоматично за програмою. Для одночасної обробки декількох отворів застосовують багатошпиндельні вертикально-свердлильні верстати. Шпинделі на цих верстатах встановлюють в свердлильну головку в залежності від розташування отворів в заготовці. На одношпиндельних та багатошпиндельних свердлильних автоматах та напівавтоматах цикли обробки отворів відбуваються без втручання робітника. *Ріжучий інструмент та технологічне оснащення свердлильних верстатів.* Отвори на свердлильних верстатах обробляють свердлами, зенкерами, розгортками та мітчиками. Свердла по конструкції і призначенню підрозділяють на спіральні, центрові та спеціальні. Найбільш поширений для свердління та розсвердлювання інструмент спіральне свердло (рис. 14.3, а), що складається з робочої частини 6, шийки 2, хвостовика 4 та лапки 3. У робочій частині 6 розрізняють ріжучу 1 і спрямовуючу 5 частини з гвинтовими канавками. Шийка 2 з'єднує робочу частину свердла з хвостовиком. Хвостовик 4 необхідний для установки свердла в шпинделі верстату. Лапка 3 служить упором при вибиванні свердла з отвору шпинделя.

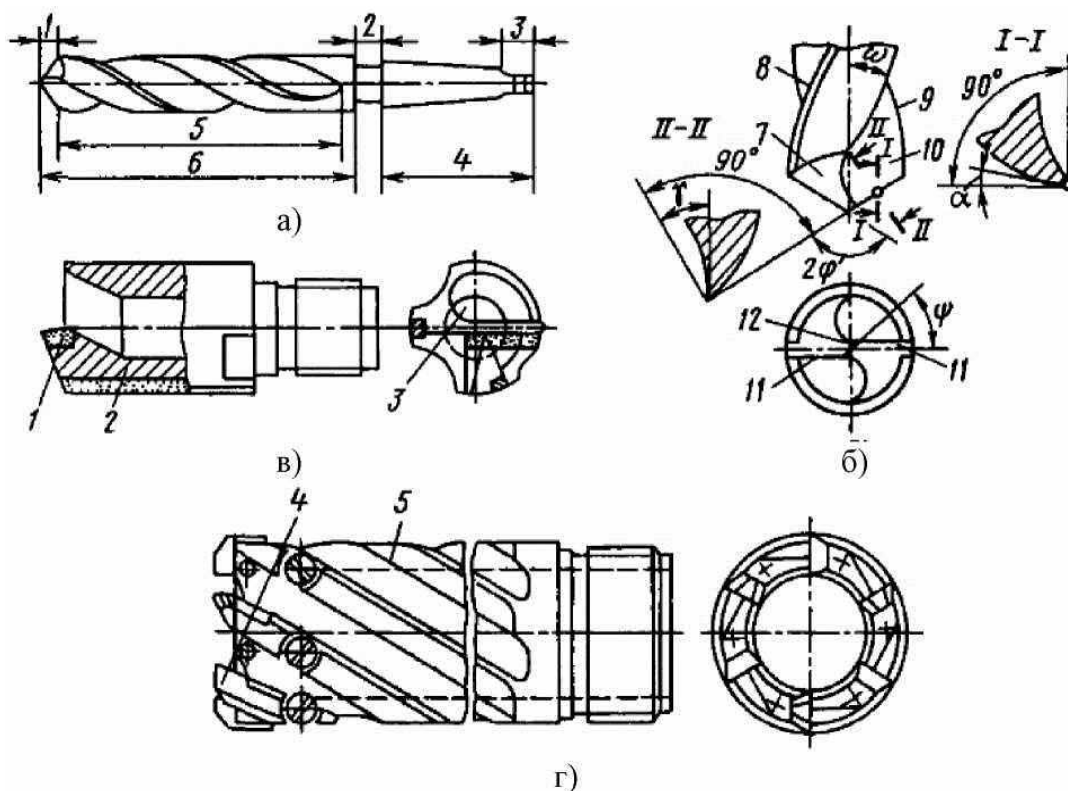


Рис. 14.3. Конструкції свердел: а), б)-частини, елементи та кути спірального свердла; в), г)-спеціальні свердла для глибокого свердлення.

Елементи робочої частини та геометричні параметри спірального свердла показані на рис. 14.3, б. Свердло має дві головні ріжучі кромки 11, утворені перетинанням передніх 10 та задніх 7 поверхонь леза та виконують основну роботу різання; поперечну ріжучу кромку 12 (перемичку) та дві допоміжні ріжучі кромки 9. На циліндричній частині свердла уздовж гвинтової канавки розташовані дві вузькі стрічки 8, що забезпечують напрямок свердла при різанні. Геометричні параметри свердла визначають умови його роботи. Передній кут у вимірюють у головній січній площині *II-II*, перпендикулярної до головної ріжучої кромки. Задній кут « вимірюють у площині *I-I*, паралельній осі свердла. Передній та задній кути в різних точках головної ріжучої кромки різні. У зовнішній поверхні свердла кут γ найбільший, а кут α найменший; ближче до осі навпаки. Кут при вершині свердла 2ϕ вимірюють між головними ріжучими кромками; їх значення різне в залежності від оброблюваного матеріалу. Кут нахилу поперечної ріжучої кромки вимірюють між проекціями головної та поперечної ріжучих кромки на площину, перпендикулярну до осі свердла. Кут нахилу гвинтової канавки σ вимірюють по зовнішньому діаметру. Зі збільшенням кута σ збільшується передній кут γ ; при цьому полегшується процес різання та покращується вихід стружки. Рекомендовані геометричні параметри свердла наведені в довідковій літературі. Для глибоких отворів (довжина отвору більше п'яти діаметрів) застосовують спеціальні свердла. На рис. 14.3, в показано свердло з однією кромкою для свердління глибоких отворів діаметром 30...80 мм. Свердло має твердосплавну ріжучу пластинку 1 та дві напрямні пластинки 2. Мастильно-охолоджуюча рідина подається в зону різання та вимиває стружку через внутрішній канал 3 свердла. Наскрізні отвори діаметром більше 100 мм свердлять кільцевими свердлами (рис. 14.3, г). Свердло складається з порожнистого корпусу 5 з гвинтовими канавками. На його торцевій частині закріплені ріжучі пластинки 4 (різці), ширина яких більше товщини стінок корпусу. Ріжучі кромки пластинок виступають з боку торця зовнішнього та внутрішнього діаметрів корпусу. Число пластинок 4...8 залежно від діаметра свердла. Таким свердлом вирізується кільцева канавка

шириною, рівній ширині пластинок. Мазильну охолоджувальну рідину подають через внутрішню порожнину свердла, а стружка відводиться по гвинтовим канавкам. *Зенкерами* (рис. 14.4) обробляють отвори в литих або штампованих заготовках, а також попередньо просвердлені отвори.

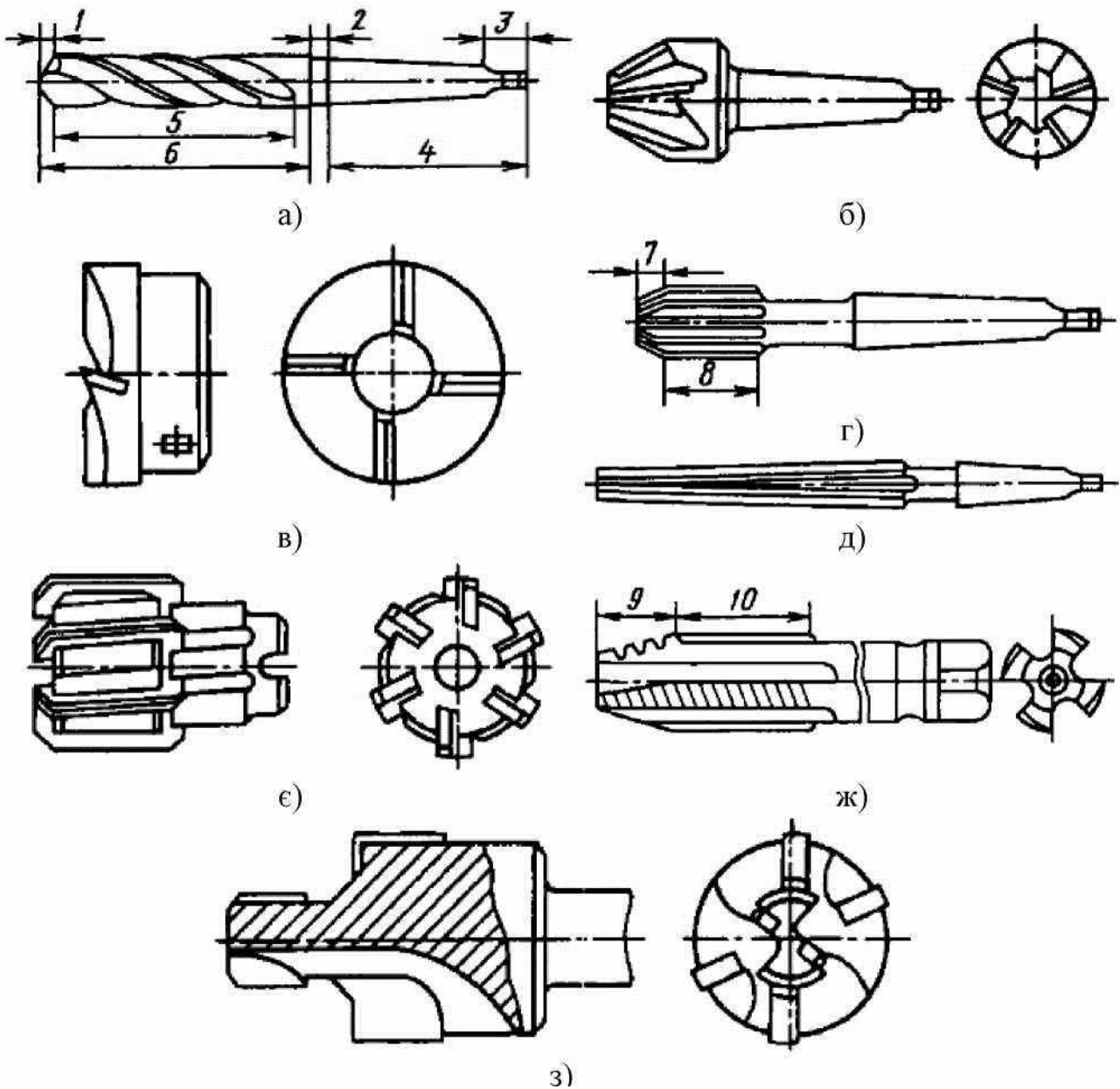


Рис. 14.4. Інструменти для обробки на свердлильних верстатах:

а), б), в)-зенкери; г), д), е)-розгортки; ж)-мітчик; з)-комбінований зенкер з пластинками з твердого сплаву.

На відміну від свердл, зенкери забезпечені трьома або чотирма головними ріжучими кромками та не мають поперечної кромки. Ріжуча частина 1 виконує основну роботу різання. Частина 5 служить для калібрування та спрямування зенкера в отворі та забезпечує необхідні точність та шорсткість

поверхні (2-шийка, 3-лапка, 4-хвостовик, 6-робоча частина). По виду оброблюваних отворів зенкери поділяють на циліндричні (рис. 14.4, а), конічні (рис. 14.4, б) та торцеві (рис. 16.4, в). Зенкери бувають цільні з конічним хвостовиком (рис. 14.4, а, б) та насадні (рис. 14.4, в). *Розгортками* остаточно обробляють отвори. За формою оброблюваного отвору розрізняють циліндричні (рис. 14.4, г) та конічні (рис. 14.4, д) розгорнення. Розгортки мають 6... 12 головних різальних кромки, розташованих на ріжучій частині 7 з направляючим конусом. Частина 8, яка калібрує та направляє розгортку в отворі й забезпечує необхідні точність та шорсткість поверхні. По конструкції закріплення розгортки ділять на хвостові і насадні. На рис. 14.4, є показана машинна насадна розгортка з механічним кріпленням ріжучих пластинок в її корпусі. *Мітчики* застосовують для нарізування внутрішніх різьб. Мітчик (рис. 14.4, ж) являє собою гвинт з прорізними прямими або гвинтовими канавками, що утворюють ріжучі кромки. Робоча частина мітчика має ріжучу 9 та калібруючу 10 частини. Профіль різьби мітчика повинен відповідати профілю нарізуваної різьби. Мітчик закріплюють у спеціальному патроні. При обробці на свердлильних верстатах застосовують різні пристосування для установки та закріплення заготовки на столах верстатів (рис. 14.5).

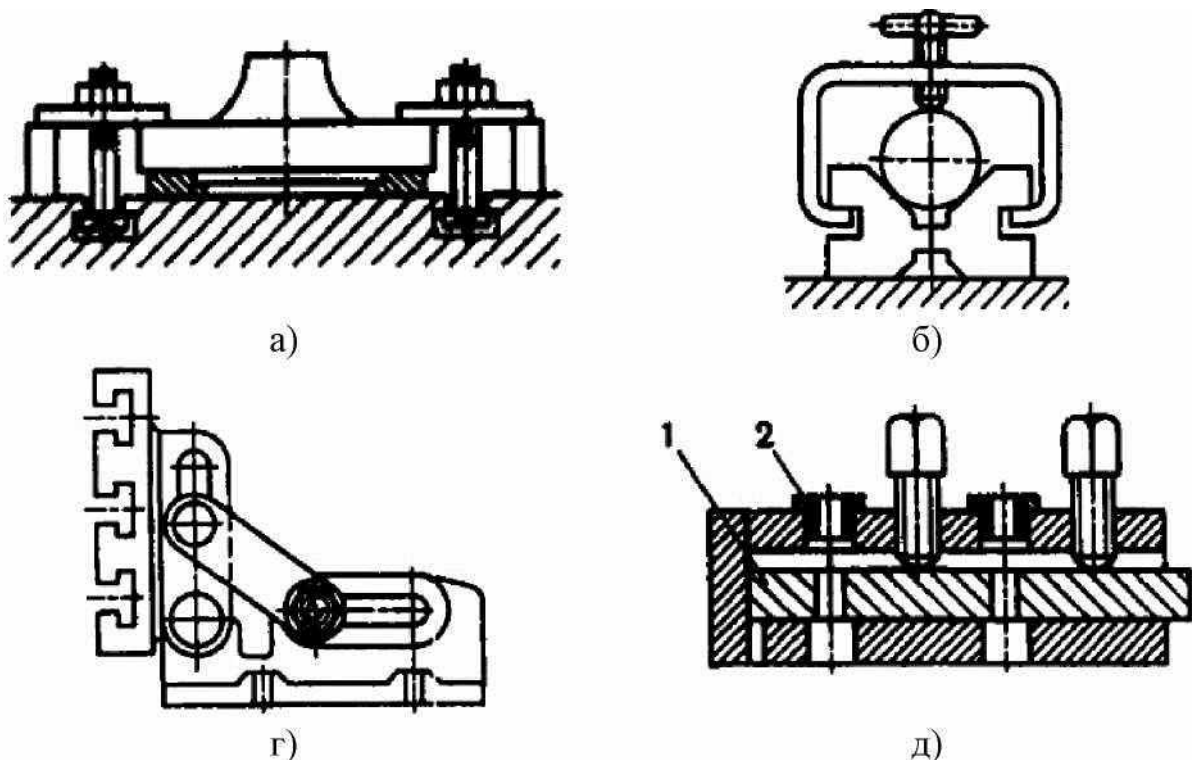


Рис. 14.5. Пристосування для закріплення заготовок на свердлильних верстатах

Заготовки закріплюють притискними планками (рис. 14.5, а) або в машинних тисках. При обробці отворів, осі яких паралельні або розташовані під кутом до установочної площині, використовують кути (рис. 14.5, б). Заготовки, що мають циліндричні частини, закріплюють в трьох або чотирьохкулачкових патронах, які закріплюють на столі верстату. При свердленні отворів в циліндричних заготовках їх встановлюють на призмі та закріплюють струбциною (рис. 14.5, в). Для свердління декількох точно розташованих отворів в заготовках, оброблюваних великими партіями, широко використовують спеціальні пристосування *кондуктори* (рис. 14.5, г). Вони мають направляючі втулки 2, забезпечують певне положення різального інструменту відносно оброблюваної заготовки 1, закріпленої в кондукторі. Необхідність в розмітці при використанні кондукторів відпадає. Різучий інструмент в шпинделі свердлильного верстату закріплюють за допомогою допоміжного інструменту: перехідних втулок, свердлильних патронів та оправок. Різучі інструменти з конічним хвостовиком закріплюють безпосередньо в шпинделі свердлильного верстату (рис. 14.6, а).

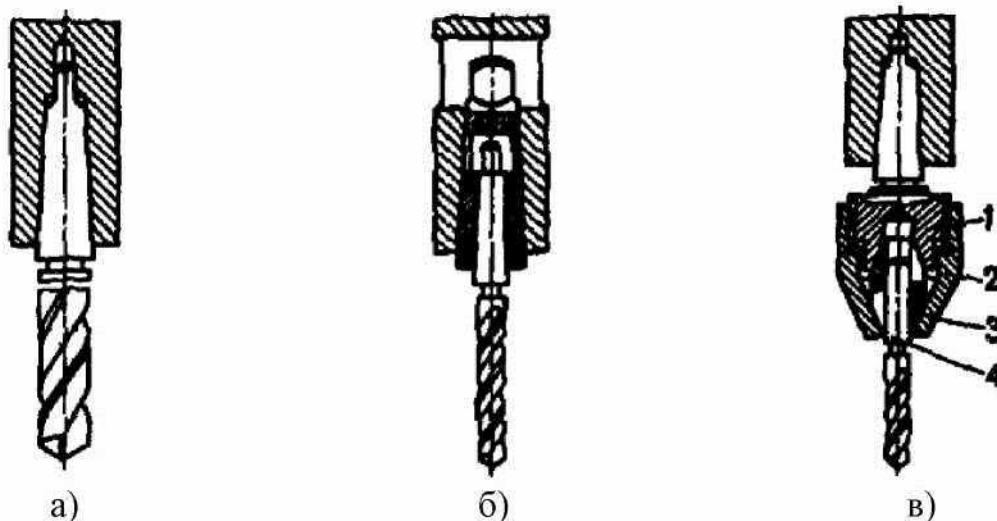


Рис. 14.6. Схеми закріплення інструменту на свердлильних верстатах

Якщо розмір конуса хвостовика інструменту менше розміру конічного отвору шпинделя, то застосовують перехідні конічні втулки (рис. 14.6, б). Інструменти з циліндричним хвостовиком закріплюють у двох, трьохкулачкових або цангових патронах. Закріплення різального інструменту в цангові патрони показано на рис. 14.6, в. На різьбову частину корпусу патрона

1 нагвинчена втулка 2, в якій знаходиться розрізна цанга 3. Циліндричний хвостовик інструменту 4 вставляють в отвір цанги та закріплюють обертанням втулки 2. *Основні види робіт виконуваних на верстатах свердлильної групи.* На свердлильних верстатах виконують свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, цекування, зенкування, нарізання різьби та обробку складних отворів (рис. 14.7). *Свердління* наскрізного отвору показано на рис. 14.7, а. Різальним інструментом служить спіральне свердло. У залежності від необхідної точності та величини партії оброблюваних заготовок отвори свердлять в кондукторі або по розмітці. *Розсвердлювання* - процес збільшення діаметра раніше просвердленого отвору свердлом більшого діаметра (рис. 14.7, б). Діаметр отвору під розсвердлювання вибирають так, щоб поперечна ріжуча кромка в роботі участі не брала. У цьому випадку осьова сила зменшується. *Зенкування-обробка* попередньо отриманих отворів для додання їм більш правильної геометричної форми, підвищення точності та зниження шорсткості багатолезовим ріжучим інструментом *зенкером* (рис. 14.7, в). *Розгортання*-остаточна обробка циліндричного або конічного отвору розгорткою (зазвичай після зенкерування) з метою отримання високої точності та невеликої шорсткості обробленої поверхні (рис. 14.7, г, д). *Зенкування* - обробка торцевої поверхні отвору торцевим зенкером для досягнення перпендикулярності плоскої торцевої поверхні до його осі (рис. 14.7, е). *Зенкування* отримують в наявних отворах циліндричні або конічні поглиблення під головки гвинтів, болтів, заклепок і інших деталей. На рис. 14.7, ж, з показано зенкерування циліндричного поглиблення циліндричним зенкером (зенківкою) та конічного поглиблення конічним зенкером. *Нарізання різьби- отримання* на внутрішній циліндричній поверхні за допомогою мітчика гвинтової канавки (рис. 14.7, і). *Отвори складного профілю* обробляють за допомогою комбінованого різального інструменту. На рис. 14.7, к показаний комбінований зенкер для обробки двох поверхонь: циліндричної та конічної. *Свердління глибоких отворів* (довжина отвору більше п'яти діаметрів) виконують на спеціальних горизонтально-свердлильних верстатах. При обробці глибоких отворів спіральними свердлами відбуваються відхилення свердла та «розбивання»

отвору: ускладнюється підведення мастильно-охолоджувальної рідини та відведення стружки. Тому для свердління глибоких отворів застосовують свердла спеціальної конструкції (рис. 14.3, в, г). На рис. 14.7, л показана схема свердління глибокого отвору спеціальним свердлом з однією кромкою на горизонтально-свердильному верстаті. Заготовка 1, закріплена в трьохкулачковому патроні та люнеті, передають головний обертальний рух різання ($Bт.$).

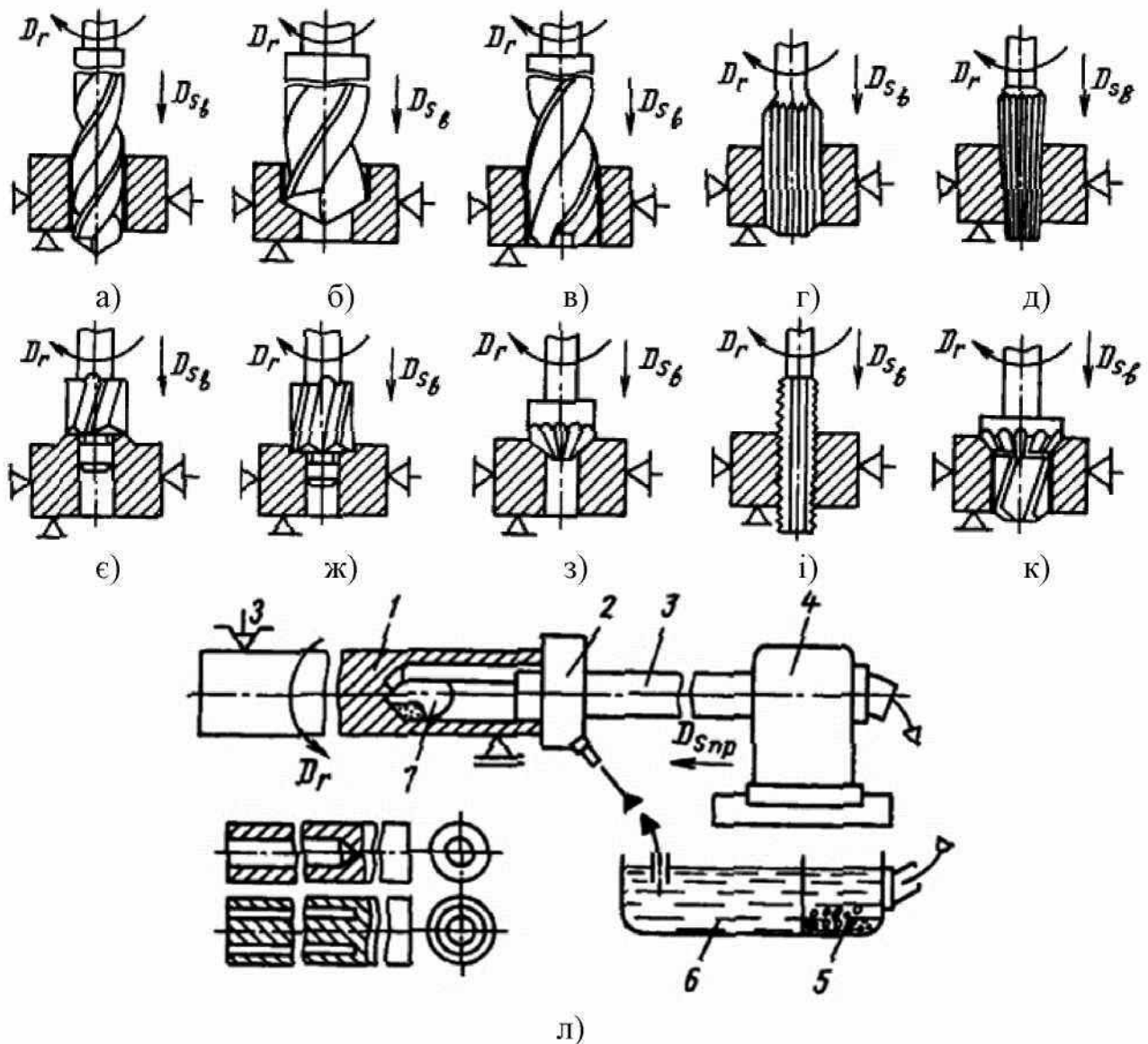


Рис. 14.7. Схеми обробки заготовок на свердильних верстатах

Свердло 7 закріплюють на різьбі в стеблі 3 (труби), а другий кінець останнього в супорті 4 та передають свердлу повздовжню подачу ($\delta_{np.}$). Мастильно-охолоджуюча рідина під великим тиском подається насосом з резервуару 6 по трубопроводу через маслоприймач 2 до ріжучої кромки

свердла, стружка відводиться разом з рідиною через внутрішній канал свердла в стружкозбірник 5. При даному способі глибокого свердління для отримання отвору заданого розміру весь метал, що підлягає видаленню, перетворюється в стружку (рис. 14.7, б). Глибокі отвори великого діаметру ($P > 100$ мм) свердлять свердлами кільцевого типу (рис. 14.3, г). У процесі свердління в стружку перетворюється тільки метал кільцевої порожнини (рис. 14.7, в). Залишений після свердління центральний стержень використовують як заготовку для виготовлення різних деталей.

ЛЕКЦІЯ №15. ОБРОБКА НА ВЕРСТАТАХ ШЛІФУВАЛЬНОЇ ГРУПИ.

ЧИСТОВІ МЕТОДИ ОБРОБКИ.

План лекції

15.1 Обробка заготовок на шліфувальних верстатах

15.2. Технологічні методи чистової та фінішної обробки поверхонь

15.1 Обробка заготовок на шліфувальних верстатах

Шліфуванням називають процес обробки заготовок різальним інструментом, робоча частина якого містить частинки абразивного матеріалу. Такий різальний інструмент називають абразивним. Подрібнений абразивний матеріал (абразивні зерна), твердість якого перевищує твердість оброблюваного матеріалу та який здатний в подрібненому стані здійснювати обробку різанням, називають *шліфувальним*. Залежно від виду використовуваного шліфувального матеріалу розрізняють алмазні, ельборові, електрокорундові, карбідо-кремнієві та інші абразивні інструменти (шліфувальні круги). Абразивні зерна розташовані в крузі хаотично та утримуються зв'язуючим матеріалом. При обертальному русі круга в зоні його контакту з заготовкою частина зерен зрізує матеріал у вигляді дуже великого числа тонких стружок (до 100000000 за хвилину). Шліфувальні крути зрізують стружки на дуже великих швидкостях від 30 м/с і вище (близько 125 м/с). Процес різання кожним зерном здійснюється майже миттєво. Оброблена поверхня являє собою сукупність мікрослідів абразивних зерен та має малу шорсткість. Частина зерен орієнтована так, що різати не може. Такі зерна виробляють роботу тертя по поверхні різання. Абразивні зерна можуть також надавати на заготовку істотний силовий вплив. Відбувається поверхневе пластичне деформування матеріалу, змінення його кристалічної решітки. Деформуюча сила викликає зсув одного шару атомів відносно іншого. Внаслідок пружно-пластичного деформування матеріалу оброблена поверхня зміцнюється. Але цей ефект виявляється менш відчутним, ніж при обробці металевим інструментом. Тепловий та силовий вплив на оброблену поверхню призводять до структурних перетворень, змін фізико-механічних властивостей поверхневих шарів оброблюваного матеріалу. Так утворюється дефектний поверхневий шар деталі. Для зменшення теплового впливу процес шліфування проводять при подачі

мастильно-охолоджуючих рідин. Шліфування застосовують для чистової та фінішної обробки деталей з високою точністю. Для заготовок із загартованих сталей шліфування є одним з найбільш поширених методів формоутворення. З розвитком маловідходної технології частина обробки металевим інструментом буде зменшуватися, а абразивним збільшуватися. *Режими різання та сили різання.* Для формоутворення будь-якої поверхні методом шліфування необхідні обертальний рух інструмента та відносне переміщення по одній з координатних осей (рис. 15.1, а). Переміщення вздовж осей можуть бути замінені обертовим рухом навколо осі. Основні елементи режимів різання швидкість головного руху різання, подача та глибина різання. Для раціонального ведення процесу шліфування необхідно вибрати їх оптимальні значення.

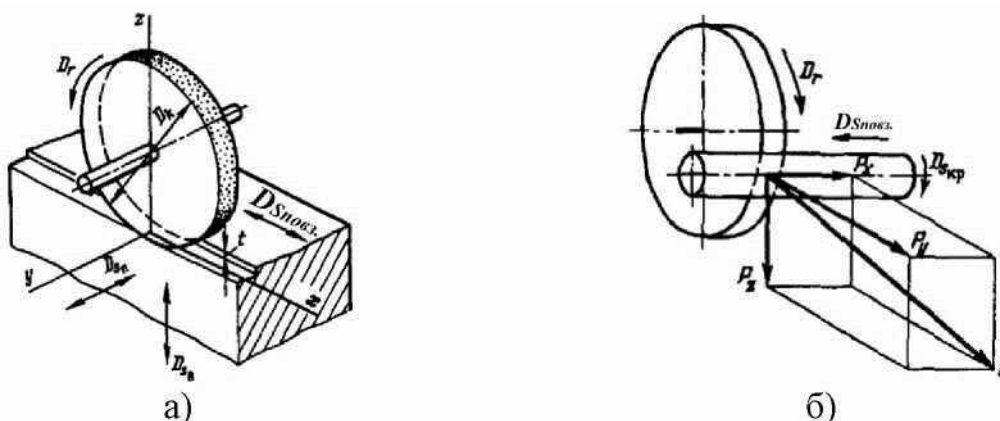


Рис. 15.1. Елементи різання при шліфуванні (а), сили різання при шліфуванні (б)

Швидкість головного руху різання дорівнює окружній швидкості точки на периферії шліфувального круга, м/с залежність (15.1).

$$V_K = \frac{\pi D_K n_k}{1000 \times 60}, \quad (15.1)$$

де D - зовнішній діаметр шліфувального круга, мм;
 n - частота обертання круга, об/хв.

Рухами подач є переміщення заготовки або інструменту вздовж або навколо координатних осей. Вираження та розмірності подач визначаються схемами шліфування. Глибина різання (мм) визначається товщиною шару матеріалу, що зрізується за один прохід. Для оцінки точності обробки необхідно знати сили різання. Сила різання P , що виникає при шліфуванні в зоні контакту круга та заготовки, для зручності розрахунків розкладають по

координатним осям на три складові (рис. 15.1, б): дотичну P_z , радіальну P_y та осьову P_x . Складову P_y використовують у розрахунках точності обробки, P_z використовують для визначення потужності електродвигуна шліфувального круга, P_x необхідна для проектування механізмів подач шліфувальних верстатів. Сили знаходять за довідковими даними в залежності від конкретних умов шліфування або за емпіричними формулами (18.2, 18.3).

$$P_z = C_{P_z} V_{заг.}^a S_{повз.}^b t^c, \quad (15.2)$$

де C_{P_z} -коефіцієнт та показники ступеню a , b , c обумовлені умовами шліфування;

$V_{заг.}$ -лінійна швидкість на поверхні заготовки визначається за формулою.

$$P_y = k P_z, \quad (15.3)$$

де k -коефіцієнт ($k > 1$).

Потужність електродвигуна, яка призводить до обертання шліфувального круга, кВт залежність (18.4).

$$N_K = \frac{P_z V_K}{10^3 \eta_1}, \quad (15.4)$$

Потужність електродвигуна, яка призводить до обертання заготовки, кВт залежність (18.5).

$$N_{заг.} = \frac{P_z V_{заг.}}{60 \times 10^3 \eta_2}, \quad (15.5)$$

де η_1 , η_2 -відповідно ККД кінематичних ланцюгів передачі обертання круга та заготовки. Шліфування є найбільш поширеним методом зменшення шорсткості поверхонь. *Основні схеми шліфування.* Форми деталей сучасних машин являють собою поєднання зовнішніх та внутрішніх плоских, кругових циліндричних та кругових конічних поверхонь. Інші поверхні зустрічаються рідше. Відповідно до форм деталей машин найбільш поширені схеми шліфування, приведені на рис. 18.2.

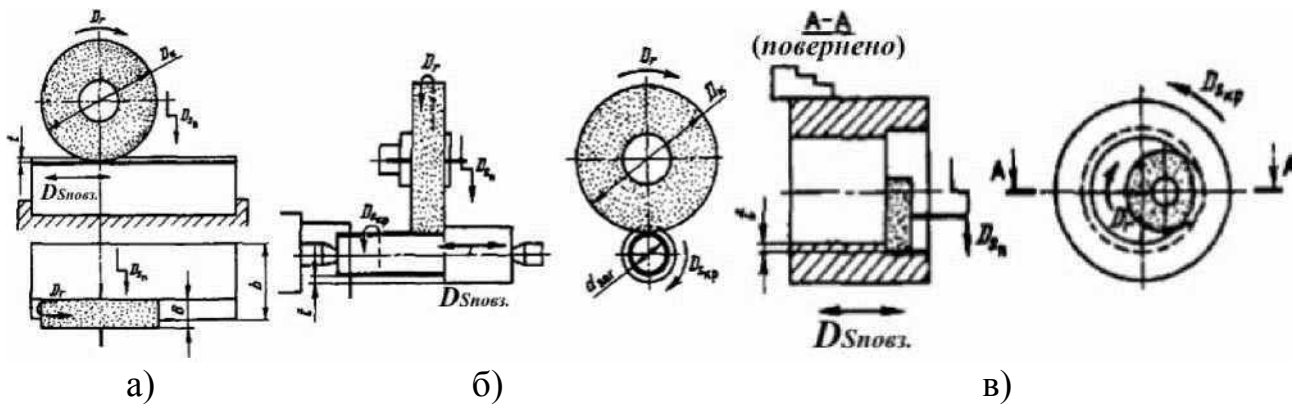


Рис. 15.2. Основні схеми шліфування

Для всіх технологічних способів шліфувальної обробки головним рухом різання U_k (м/с) є обертання круга. При плоскому шліфуванні зворотно-поступальне переміщення заготовки необхідно для забезпечення повздовжньої подачі $\delta_{повз.}$ (м/хв.) (рис. 15.2, а). Для обробки поверхні на всю ширину B заготовка або круг повинні мати рух поперечної подачі $П\delta_n$. Цей рух відбувається переривчасто (періодично) при крайніх положеннях заготовки в кінці повздовжнього ходу. Періодично відбувається і рух подачі lA_e на глибину різання. Це переміщення здійснюється також у крайніх положеннях заготовки, але в кінці поперечного ходу. При круглому шліфуванні (рис. 15.2, б) рух повздовжньої подачі забезпечується зворотно-поступальним переміщенням заготовки. Подача $\delta_{повз.}$ (мм/об.заг.) відповідає осьовому переміщенню заготовки за один її оберт. Обертання заготовки є рухом кругової подачі. Подача δ_n (мм/подв.хід або мм/хід) на глибину різання для приведеної схеми обробки відбувається при крайніх положеннях заготовки. Рухи, що здійснюються при внутрішньому шліфуванні, показані на рис. 15.2, в. В автоматизованих шліфувальних верстатах цикл роботи верстату включає періодичний вивід круга із зони шліфування, його автоматичну правку і переміщення кола до виробу на величину знятого при правці шару абразиву. Передбачають також автоматичну установку заготовок в затискні пристрої та видалення готових деталей. *Абразивні інструменти.* Абразивні інструменти розрізняють по геометричній формі та розмірам, роду та виду абразивного матеріалу, зернистості або розмірами абразивних зерен, зв'язці або виду сполучної речовини, твердості, структурі круга. Зерна абразивних інструментів

являють собою штучні або природні мінерали та кристали. Абразивні матеріали відрізняються високою твердістю, яка визначається за мінералогічною шкалою. Зерна абразивів розділяють по крупності на групи та номери. Основна характеристика номеру зернистості кількість та крупність його основної фракції. Речовину або сукупність речовин, що застосовуються для закріплення зерен шліфувального матеріалу та наповнювача в абразивному інструменті, називають *зв'язкою*. Наповнювач в зв'язці призначений для додання інструменту необхідних фізико-механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей. При виготовленні інструменту зерна скріплюють один з одним за допомогою цементуючої речовини *зв'язки*. Найбільш широко застосовують інструменти, виготовлені на керамічній, бакелітовій або вулканітовій зв'язці. *Керамічну* зв'язку виготовляють з глини, польового шпату, кварцу та інших речовин шляхом їх тонкого подрібнення та змішування в певних пропорціях. *Бакелітова* зв'язка складається в основному з штучної смоли *бакеліту*. *Вулканітова* зв'язка являє собою штучний каучук, підданий вулканізації для перетворення його в міцний, твердий ебоніт. *Під твердістю абразивного інструменту* розуміють здатність зв'язки чинити опір вириванню абразивних зерен з робочої поверхні інструменту під дією зовнішніх сил. Для шліфування заготовок із твердих сплавів й надтвердих матеріалів успішно застосовують алмазні круги. *Алмазний круг* складається з корпусу та алмазоносного шару. Корпус виготовляють з алюмінію, пластмас або сталі. Товщина алмазоносного шару у більшості кругів становить 1,5...3 мм. Найчастіше для виготовлення таких інструментів використовують синтетичні алмази. Питома вага їх застосування перевищує 80%. Створено нові матеріали, які практично не вимагають правки та зберігають свої властивості при нагріванні до 1200°C. На шліфувальні круги наносять позначення, та маркування. Маркування необхідно для правильного вибору інструменту при проведенні конкретної роботи. Умовні позначення розташовують у певній послідовності: абразивний матеріал та його марка, номер зернистості, ступінь твердості, номер структури, вид зв'язки. Области застосування зв'язувань абразивних інструментів, твердість абразивного інструменту, рекомендації з вибору номера структури абразивного інструменту наведені в довідковій літературі.

15.2. Технологічні методи чистової та фінішної обробки поверхонь

Подальший розвиток машинобудування пов'язано зі збільшенням навантажень на деталі машин, збільшенням швидкостей руху, зменшенням маси конструкції. Виконати ці вимоги можна при досягненні особливих якостей поверхневих шарів деталей. Вплив якості поверхневих шарів на експлуатаційні властивості величезний, та викликає зміну наступних показників:

- зносостійкість;
- корозійна стійкість;
- контактна жорсткість;
- міцність з'єднань та інші властивості.

З цією метою широко застосовуються фінішні методи обробки, для яких характерні невеликі сили різання, незначне тепловиділення, невелика товщина шару, що зрізується. *Хонінгування*. Застосовують для отримання поверхонь високої точності та невеликої шорсткості, а також для створення специфічного мікропрофілю обробленої поверхні у вигляді сітки. Такий профіль необхідний для утримання мастильного матеріалу при роботі машини (наприклад, двигуна внутрішнього згорання) на поверхні її деталей. Поверхню нерухомої заготовки обробляють дрібнозернистими абразивними брусками, які закріплюють в хонінгувальній головці (хоні). Бруски обертаються та одночасно переміщуються зворотно-поступально вздовж осі оброблюваного циліндричного отвору висотою k (рис. 15.3, а). Співвідношення швидкостей зазначених рухів становить 1,5...10 та визначає умови різання. Схема обробки в порівнянні з внутрішнім шліфуванням має переваги: відсутнє пружне віджимання інструменту, рідше спостерігається вібрація, різання відбувається більш плавно. При поєднанні рухів на оброблюваній поверхні з'являється сітка мікроскопічних гвинтових слідів переміщення абразивних зерен.

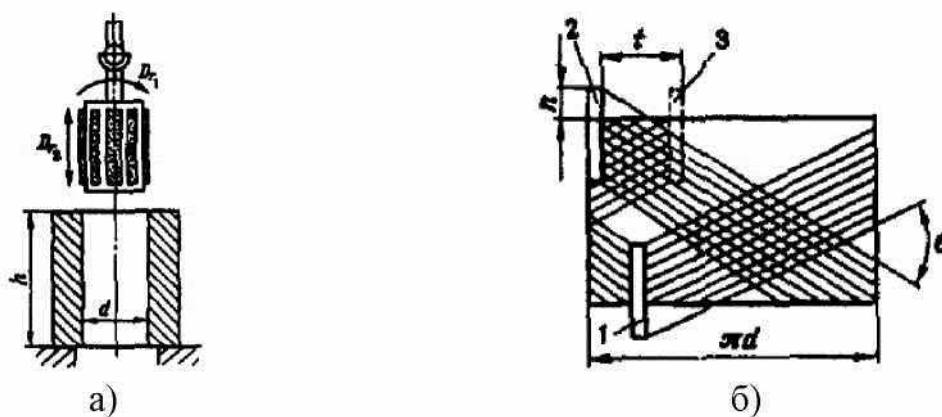


Рис. 15.3. Схема хонінгування отворів

Кут β (рис. 15.3, б) перетину цих слідів залежить від співвідношення швидкостей. На рис. 15.3, б наведена розгортка внутрішньої циліндричної поверхні заготовки та схема утворення сітки. Крайні нижнє 1 та верхнє 2 положення абразивних брусків встановлюють так, що створюється перебіг n . Він необхідний для того, щоб утворюючи отвору виходили прямолінійними навіть при нерівномірному зносі брусків. Здійснюючи обертальний рух, абразивні бруски при кожному подвійному ході починають різання з нових положень 3 хону з урахуванням зсуву l по куту. Тому виключається накладення траєкторій абразивних зерен. Абразивні бруски завжди контактують з оброблюваною поверхнею, так як можуть розсуватися в радіальних напрямках механічними, гідравлічними або пневматичними пристроями. Тиск брусків повинен контролюватися. Хонінгуванням виправляють похибки форми від попередньої обробки у вигляді відхилень від круглості, циліндричності та ін., якщо загальна товщина шару, що знімається не перевищує 0,01...0,2 мм. Похибки розташування осі отвору (наприклад, відхилення від прямолінійності) цим методом зменшуються менш інтенсивно, так як ріжучий інструмент самовстановлюється по отвору. *Суперфінішування.* Зменшує шорсткість поверхні, що залишилася від попередньої обробки. Отримують дуже гладку поверхню, сітчастий рельєф, сприятливі умови для взаємодії поверхонь. Поверхні обробляють абразивними брусками, встановленими в спеціальній головці. Для суперфінішування характерно коливальний рух брусків разом з рухом заготовки (рис. 15.4).

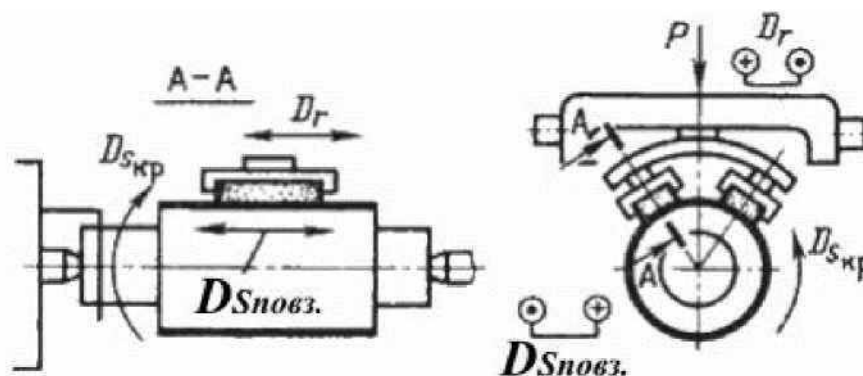


Рис. 15.4. Схема процесу суперфінішування

Процес різання відбувається при тиску брусків $(0,5...3)10^5$ Па у

присутності мастильного матеріалу невеликої в'язкості. Амплітуда коливань складає 1,5...6 мм. Частота коливань 400...1200 хв.⁻¹. Бруски за допомогою пружини самовстановлюються по оброблюваній поверхні. Співвідношення швидкостей $V_{кр.}$ до на початку обробки становить 2...4, а в кінці 8...16.

Полірування. Поліруванням зменшують шорсткість поверхні. Цим методом отримують дзеркальний блиск на відповідальних частинах деталей (доріжки кочення підшипників) або на деталях, застосовуваних для декоративних цілей (облицювальні частини автомобіля). Для цього використовують полірувальні пасти або абразивні зерна, змішані з мастильним матеріалом. Ці матеріали наносять на еластичні (наприклад, фетрові) круги, які швидко обертаються або коливні щітки. Хороші результати дає полірування нескінченними абразивними стрічками (шкурками), які швидко рухаються. У зоні полірування одночасно протікають наступні основні процеси: тонке різання, пластичне деформування поверхневого шару, хімічні реакції (вплив на метал хімічно активних речовин, що знаходяться в полірувальних матеріалах). При поліруванні абразивною шкуркою позитивну роль відіграє рухливість її ріжучих зерен. Ця особливість шкурок призводить до того, що зернами в процесі обробки не можуть наноситися мікросліди, істотно різних по глибині. В якості абразивного матеріалу застосовують порошки з електрокорунду та оксиди заліза при поліруванні сталі, карбїду кремнію та оксиди заліза при поліруванні чавуну, оксиди хрому та наждаку при поліруванні алюмінію та сплавів міді. Порошок змішують зі мастильним матеріалом, який складається з суміші воску, сала, парафіну та керосину. Полірувальні круги виготовляють з войлоку, фетру, шкіри, капрону, спресованої тканини та інших матеріалів. Процес полірування проводять на великих швидкостях (до 50 м/с). Заготовка підтискається до круга силою P (рис. 15.5, а) та здійснює рухи подачі $V_{повз.}$ та $V_{кр.}$ відповідно до профілю оброблюваної поверхні.

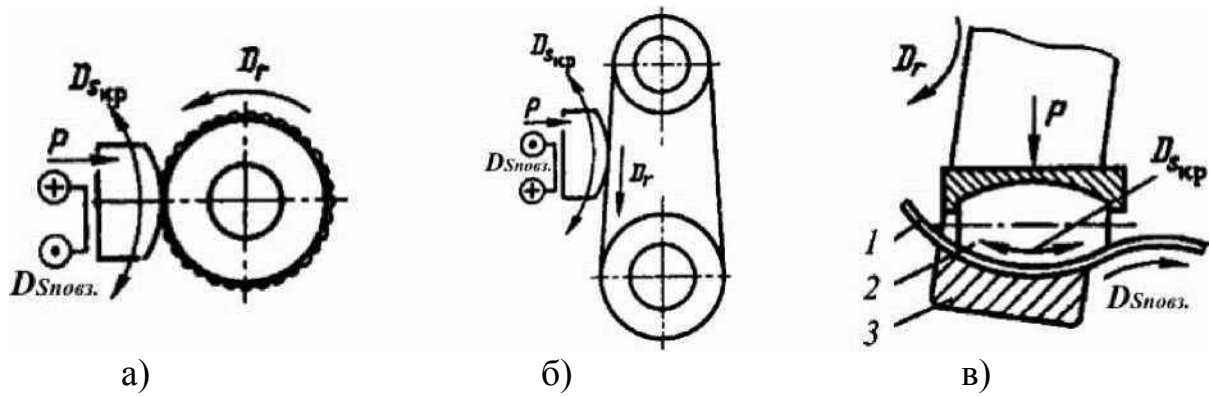


Рис. 15.5. Схеми процесу полірування

Полірування стрічками (рис. 15.5, б) має ряд переваг. Еластична стрічка може огинати всю шліфовану поверхню. Тому рухи подачі можуть бути відсутніми. Головний рух різання при поліруванні іноді здійснює і заготовка 3 (рис. 15.5, в), що має, наприклад, форму кільця з фасонною внутрішньою поверхнею. Абразивна стрічка 1 підтискається полірувальником 2 до оброблюваної поверхні та періодично переміщується (рух *Виповз*). Стрічково-полірувальні верстати оснащують також головками з двома механізмами протягування стрічки для чорнової та чистової обробки. На оброблюваній поверхні формується сітчастий маслоутримуючий рельєф. Полірування можливо в автоматичному чи напівавтоматичному режимі. Заготовки, закріплені на конвеєрі, безперервно переміщуються відносно круга або стрічки. Знімання деталей відбувається на ходу конвеєра. У процесі полірування не вдається виправляти похибки форми, а також місцеві дефекти попередньої обробки. *Гідро-абразивна обробка.* Покращення стану об'ємно-криволінійних, фасонних поверхонь звичайними методами викликає великі технологічні труднощі. Метод абразивно-рідинної обробки дозволяє вирішити завдання порівняно просто. На оброблювану поверхню, що має сліди попередньої обробки, подають струмені антикорозійної рідини із зваженими частинками абразивного порошку (рис. 15.6, а). Водно-абразивна суспензія переміщується під тиском з великою швидкістю. Частинки абразиву вдаряються об поверхню заготовки та згладжують мікронерівності.

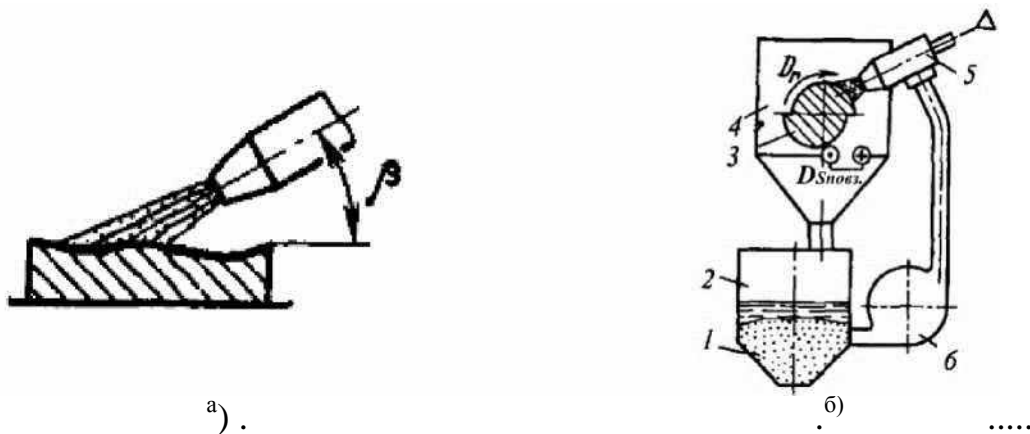


Рис. 15.6. Технологічні схеми згладжування мікронерівностей:

а)-гідро-абразивна обробка; б)-гідро-полірування.

Інтенсивність знімання оброблюваного матеріалу регулюється зернистістю порошку, тиском струменя та кутом Δ . Змінюючи швидкість польоту та розмір вільних абразивних зерен, можна збільшити ступінь пластичної деформації та шорсткість поверхні. Рідинна плівка, що покриває оброблювану поверхню, відіграє дуже важливу роль. Абразивні зерна, що потрапляють на мікровиступи, легко долають її опір та видаляють метал. Ті ж зерна, які потрапляють на западини, зустрічають більший опір рідини, і знімання матеріалу уповільнюється, тому шорсткість поверхні зменшується. В якості абразиву часто застосовують електрокорунд. У суспензії міститься 30...35% абразиву (по масі). На рис. 15.6, б показана схема рідинного полірування. Оброблювана заготовка 3 складного профілю переміщується (B_z , $V_{повз}$) в камері 4 так, що всі її ділянки піддаються поліруванню. Абразивна суспензія 1, поміщена в бак 2, подається насосом 6 в робочу камеру через твердосплавне сопло 5. Відпрацьована суспензія падає назад в бак 2 і може бути використана багаторазово. Найбільше знімання металу виходить при куті Δ 45°. Метод рідинного полірування особливо успішно застосовують при обробці фасонних внутрішніх поверхонь. У цьому випадку сопло вводиться в порожнину заготовки, яка здійснює обертальні й поступальні переміщення в залежності від профілю полірованої поверхні. Абразивно-рідинну обробку проводять також у вібруючих резервуарах, що містять абразивну суспензію. Режим коливання резервуарів забезпечує відносне переміщення заготовок та абразивних зерен, які згладжують мікронерівності на зовнішніх й внутрішніх поверхнях заготовок. Внутрішня поверхня резервуарів облицьована гумою. Обробка може проводитися в автоматичному режимі: заготовки по черзі

Лекція №16 Зварювання під флюсом. Зварювання в захисних газах. Плазмове зварювання

План лекції:

1. *Зварювання під флюсом*
2. *Зварювання в захисних газах*
3. *Плазмове зварювання*

16.1 Зварювання під флюсом

16.1.1 Суть процесу

Зварювання під флюсом – це дугове зварювання, при якому дуга горить під шаром зварювального флюсу, який забезпечує захист зварювальної ванни від повітря. Поряд із захистом флюс стабілізує дугу, забезпечує розкислення, легування та рафінування розплавленого металу зварювальної ванни.

За ступенем механізації процесу розрізняють автоматичне та механізоване зварювання під флюсом. Найчастіше використовується автоматичний процес. Механізоване зварювання під флюсом застосовують значно рідше.

Схему процесу автоматичного зварювання під флюсом наведено на рис. 11.1. Електродний дріт автоматично подається в зону зварювання. Дуга горить між кінцем електрода 4 та виробом 2 під шаром зварювального флюсу 6, який подається на виріб із бункера 3. Під дією теплоти, що виділяється зварювальною дугою, плавляться електродний дріт і основний метал, а також частина флюсу, що перебуває в зоні дуги. В зоні горіння дуги утворюється порожнина, обмежена у верхній частині оболонкою розплавленого флюсу 7. Ця порожнина заповнена паром металу, флюсу чи газами, їх тиск підтримує флюсове склепіння, що утворюється над зварювальною ванною. Дуга 5 горить безпосередньо близько від переднього краю ванни, трохи відхиляючись від вертикального положення в бік, зворотний напрямку зварювання. Під впливом тиску дуги рідкий метал також відтискується в бік, протилежний напрямку зварювання, утворюючи зварювальну ванну 8. Під електродом створюється кратер з тонким шаром розплавленого металу, а основна маса розплавленого металу займає простір від кратера до поверхні шва 12. Розплавлений флюс 7

внаслідок значно меншої густини спливає на поверхню розплавленого металу і покриває його щільним шаром.

Флюс захищає дугу та зварювальну ванну від шкідливої дії навколишнього середовища, впливає на метал зварювальної ванни і, крім того, перешкоджає розбризкуванню рідкого металу. Розплавлений флюс, маючи низьку теплопровідність, уповільнює процес охолодження шва, що полегшує шлаковим включенням і розчиненим у металі газам 9 піднятися на поверхню ванни, сприяючи очищенню металу шва від забруднення. Нерозплавлений у процесі зварювання надлишковий флюс пневматичним пристроєм 10 відсмоктують із шва і використовують потім при наступному зварюванні.

Розплавлена та затверділа частина флюсу утворює на шві товсту шлакову кірку 11. Після припинення зварювання та охолодження металу шлакова кірка легко відокремлюється від металу шва 12. Зварювання звичайно проводять на підкладці 1 чи флюсовій подушці.

Перевагами зварювання під флюсом є:

- висока продуктивність (підвищення в 6...12 разів порівняно з ручним дуговим зварюванням) завдяки застосуванню великих струмів (до 2000 А і більше), великої глибини проплавлення (до 20 мм), а також майже повної відсутності втрат металу на вигар і розбризкування (не більше 3% проти 20...30% при зварюванні відкритою дугою);

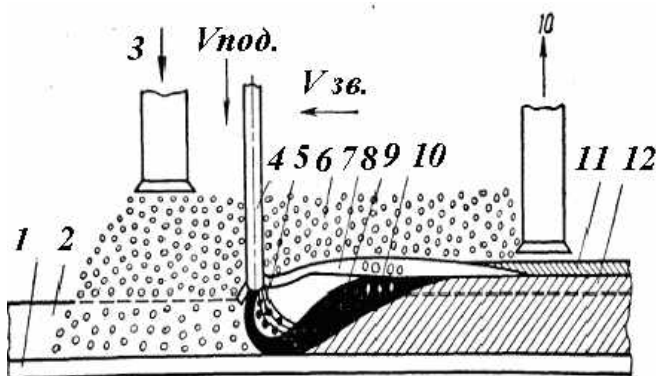


Рис.11.1 - Схема процесу

автоматичного зварювання під флюсом

- механізація процесу зварювання;
- висока та стабільна якість зварних швів за рахунок надійного захисту флюсом зварювальної ванни від повітря, однорідності металу шва за хімічним складом, поліпшення форми шва та збереження сталості його розмірів;
- поліпшення умов праці зварників.

Недоліками зварювання під флюсом є можливість зварювання лише в нижньому положенні (нахил до 15°), трудність застосування в монтажних умовах, на коротких, криволінійних швах, у різному просторовому положенні.

Автоматичне та механізоване зварювання під флюсом застосовують для зварювання в нижньому положенні металу завтовшки 2...100 мм у серійному і масовому виробництві при виготовленні котлів, мостових балок, резервуарів для зберігання рідин і газів, корпусів суден, зварних труб великих діаметрів та інших виробів. Зварюють сталі різного складу, мідь, титан, алюміній та сплави на їх основі.

Автоматичне зварювання під флюсом ведуть зварювальним дротом суцільного перерізу діаметром 1...6 мм при силі струму 150...2000 А та напрузі дуги 22...55 В, напівавтоматичне – зварювальним дротом діаметром 0,8...2 мм при силі струму 100...500 А та напрузі дуги 22...38 В.

16.1.2 Обладнання для зварювання під флюсом

За ступенем механізації окремих операцій дугове зварювання під флюсом може бути автоматичним і механізованим.

Автоматичним прийнято називати зварювання з механізованим збудженням і підтриманням дугового процесу, механізованою подачею зварювальних матеріалів у зону плавлення та механізованим переміщенням дуги вздовж лінії зварного з'єднання.

Механізованим прийнято називати зварювання з механізованою подачею дроту та інших зварювальних матеріалів у зону плавлення і ручним переміщенням дуги вздовж лінії зварного з'єднання.

Переносний зварювальний апарат (автомат) для дугового зварювання із самохідним візком, який переміщує його вздовж зварювальних кромок по

поверхні виробу чи переносній колії, покладеній на виріб, називається зварювальним трактором.

Стійкий процес зварювання та добра якість зварного шва забезпечуються при правильному виборі та підтриманні сталими режимів зварювання. До основних параметрів режиму належать зварювальний струм, напруга та швидкість зварювання. В сучасних зварювальних головках використовуються два принципи регулювання режиму дуги за її напругою – саморегулювання дуги та автоматичне регулювання дуги.

Стала довжина дуги забезпечується в разі, коли швидкість подачі електродного дроту v_e дорівнює швидкості його плавлення v_n . Якщо $v_e > v_n$, то це призведе до коротких замикань, коли ж $v_e < v_n$ — до обриву дуги та припинення процесу зварювання.

Порушення рівності $v_e = v_n$ у процесі зварювання можливе з таких причин: коливання напруги в мережі; нерівності, хвилястість, прихватки на зварюваних поверхнях; нерівномірна швидкість подачі електродного дроту; магнітне дуття, що відхиляє дугу, та інші причини.

Більшість зварювальних апаратів для дугового зварювання працює за принципом саморегулювання дуги.

Саморегулювання дуги – це властивість зварювальної дуги при зварюванні плавким електродом відновлювати довжину при випадкових її відхиленнях завдяки зміні швидкості плавлення електрода. Чим більше змінюється довжина дуги, тим більше змінюється струм i , отже, швидкість плавлення електрода. Якщо довжина дуги зменшується, струм i та швидкість плавлення збільшуються і довжина дуги повертається до початкового значення.

16.2 Зварювання в захисних газах

16.2.1. Загальні відомості

Суттю і характерною особливістю дугового зварювання в захисних газах є захист розплавленого і нагрітого до високої температури основного та електродного металу від шкідливого впливу повітря захисними газами, які

забезпечують фізичну ізоляцію металу та зони зварювання від повітря і задану атмосферу в зоні зварювання.

Як захисні гази використовують інертні та активні гази, а також їх суміші.

Інертними називаються гази, які хімічно не взаємодіють з металом і не розчиняються в ньому. Як інертні гази використовують аргон (*Ar*), гелій (*He*) та їх суміші. Інертні гази застосовують для зварювання хімічно активних металів (титан, алюміній, магній та ін.), а також у всіх випадках, коли потрібно отримати зварні шви, однорідні за складом з основним та присаджувальним металом (високолеговані сталі та ін.). Інертні гази забезпечують захист дуги та зварюваного металу, не чинячи на нього металургійної дії.

Аргон і гелій поставляють в балонах місткістю 40 л під тиском 15 МПа. Балон для аргону пофарбований у сірий колір, напис зеленого кольору; балон для гелію – коричневий, напис білого кольору.

Активними захисними газами називають гази, які вступають у хімічну взаємодію із зварюваним металом і розчиняються в ньому (вуглекислий газ, водень, пара води та ін.). Основним активним захисним газом є вуглекислий газ.

Вуглекислий газ зберігають і транспортують у рідкому вигляді переважно в сталевих балонах місткістю 40 л під тиском 6,0...7,0 МПа. У балоні знаходиться 60...80 % рідкої вуглекислоти, а решта – газ, що випарився. Колір балона чорний, напис жовтого кольору.

Способи подачі захисного газу в зону зварювання показані на рис.11.2

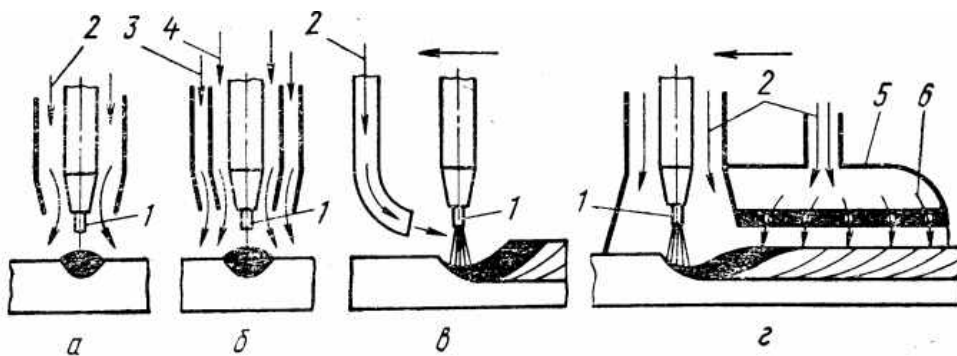


Рис. 11.2 - Подача захисних газів у зону зварювання:

а — центральна одним концентричним потоком; б — центральна двома концентричними потоками; в — бічна; г — у рухому камеру (насадку); 1 — електрод; 2 — захисний газ; 3, 4 — зовнішній та внутрішній потоки захисних газів; 5 — насадка; 6 — розподільна сітка

Перевагами зварювання в захисних газах є:

- висока продуктивність (приблизно в 2,5 рази вища, ніж при ручному дуговому зварюванні покритими електродами) ;
- простота механізації та автоматизації;
- можливість зварювання в різних просторових положеннях;
- мала зона термічного впливу та відносно невеликі деформації виробу в зв'язку з високим ступенем концентрації дуги;
- висока якість захисту, немає потреби зачищати шов при багатошаровому зварюванні;
- доступність спостереження за процесом зварювання;
- можливість зварювання металу різної товщини (від десятих часток міліметра до десятків міліметрів).

Недоліками зварювання в захисних газах є відкрита дуга, що підвищує небезпеку ураження зору світловим випромінюванням і потреба захисту зони зварювання від протягу (при струменевому захисті), що утруднює застосування цього виду зварювання в монтажних умовах на відкритому повітрі.

16.2.2 Аргонодугове зварювання

Аргонодугове зварювання — дугове зварювання, при якому як захисний газ використовують аргон. Застосовують аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим і плавким електродами. Аргонодугове зварювання вольфрамовим електродом може бути ручне та автоматичне. Зварювання можливе без подачі та з подачею присаджувального дроту. Цей процес призначений головним чином для металів завтовшки менш ніж 3...4 мм.

Більшість металів зварюють на постійному струмі прямої полярності. Зварювання алюмінію, магнію та берилію ведуть на змінному струмі.

При *прямій полярності* (плюс на виробі, мінус на електроді) кращі умови термоелектронної емісії, вища стійкість вольфрамового електрода, дуга на прямій полярності легко запалюється і горить стійко при напрузі 10...15 В у широкому діапазоні густин струму.

При *зворотній полярності* зростає напруга дуги, зменшується стійкість її горіння, різко зменшується стійкість електрода, підвищується його нагрівання та витрата. Ці особливості дуги зворотної полярності роблять її непридатною для безпосереднього використання в зварювальному процесі. Проте дуга зворотної полярності має важливі технологічні властивості: при її дії з поверхні зварюваного металу видаляються оксиди та бруд. Це явище пояснюється тим, що при зворотній полярності поверхня металу бомбардується важкими позитивними іонами аргону, які, переміщуючись під дією електричного кола від плюса (електрод) до мінуса (виробу), руйнують оксидні плівки на зварюваному металі, а електрони, що виходять із катода (поверхні виробу), сприяють видаленню зруйнованих оксидних плівок. Цей процес видалення оксидів називається *катодним розпиленням*. Зазначену властивість дуги зворотної полярності використовують при зварюванні *Al, Mg, Be* та їх сплавів, які мають міцні оксидні плівки. Але тому, що при постійному струмі зворотної полярності стійкість вольфрамового електрода низька, для зварювання цих металів використовують змінний струм. При цьому видалення плівки, тобто катодне розпилення, відбувається, коли зварюваний виріб буде катодом. Отже, при зварюванні неплавким електродом на змінному струмі в певній мірі реалізуються переваги дуги прямої та зворотної полярності, тобто при цьому забезпечується і стійкість електрода і руйнування оксидних плівок.

Аргонодугове зварювання плавким електродом застосовують для зварювання кольорових металів (*Al, Mg, Cu, Ti* та їх сплавів) і легованих корозієстійких сталей.

Зварювання виконують на постійному струмі високої густини (не менше 100 А/мм^2) при зворотній полярності, який одержують від джерел з жорсткою або зростальною зовнішньою характеристикою.

16.2.3 Зварювання у вуглекислому газі

Зварювання здійснюється з використанням плавкого електрода та захисного вуглекислого газу, що подається в зону дуги. Це зварювання механізоване, його виконують напівавтоматами і автоматами. Стійке горіння забезпечується при високій густині постійного струму (100 А/мм^2 і вище).

Висока густина зварювального струму зумовлює застосування електродного дроту малого діаметра (звичайно $d_e = 0,8...2,5 \text{ мм}$). Зварювання зазвичай виконують на постійному струмі зворотної полярності при безперервній подачі електродного дроту.

Основною особливістю зварювання у вуглекислому газі плавким електродом є потреба застосування електродних дротів з підвищеним вмістом елементів-розкислювачів – кремнію та марганцю, що компенсують їх вигорання в зоні зварювання та запобігають додатковому окисненню металу при зварюванні і утворенню пор. Для вуглецевих сталей в основному використовують зварювальні дроти суцільного перерізу Св-10ГС, Св-08Г2С, а також порошкові дроти, що містять порошки феросплавів $FeSi$, $FeMn$.

Зварювання у вуглекислому газі можна також здійснювати *порошковим дротом*. Порошковий дріт являє собою трубчастий (часто із складним внутрішнім перерізом) дріт, заповнений порошкоподібним наповнювачем. Оболонку порошкового дроту виготовляють із стрічки низьковуглецевої сталі завтовшки $0,2...0,5 \text{ мм}$. Наповнювач - це суміш порошків з газо-, шлакоутворюючих та легуючих компонентів, які забезпечують захист зони зварювання та потрібні властивості зварного шва.

Зварювання порошковими дротами всіх типів звичайно виконують на постійному струмі зворотної полярності з використанням джерел живлення з жорсткими зовнішніми характеристиками.

16.3 ПЛАЗМОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Плазмове зварювання – зварювання плавленням, при якому нагрівання здійснюється стиснутою дугою.

Стиснута дуга – дуга, стовп якої стиснутий за допомогою сопла плазмового пальника чи потоку газів (аргону, азоту та ін.).

Плазма – це газ, що складається з позитивно та негативно заряджених часток, загальний заряд яких дорівнює нулю. Плазма генерується в каналі сопла, обтискується та стабілізується його водоохолоджуваними стінками та холодним плазмоутворюючим газом. Обтискання та охолодження зовнішньої поверхні стовпа дуги викликає його концентрацію, що призводить до різкого збільшення числа зіткнень між частинками плазми, збільшення ступеня іонізації та різкого підвищення кінетичної енергії плазми і температури стовпа дуги (до 10 000...20 000 $^{\circ}K$), що використовується для зварювання й різання. Пристрій для створення спрямованого потоку плазми, який рухається з великою швидкістю і має великий запас енергії, називається плазмотроном або плазмовим пальником.

Є кілька схем пристроїв для створення плазмових дуг і струменів:

1. для одержання плазмової дуги, коли сопло і канал сумішені, плазмовий струмінь збігається зі стовпом дуги, одним з електродів є оброблюваний матеріал (рис. 11.3, а);
2. з одержанням плазмового струменя, виділеного із стовпа дуги при роздільних соплі та каналі (рис. 11.3, б);
3. те саме, але із суміщеним соплом і каналом (рис. 11.3, в).

Плазмовий струмінь створюється дуговим розрядом 4, який збуджується між електродом 1 та ще одним електродом, яким може служити виріб 6, роздільне сопло 7 або стінки каналу 2.

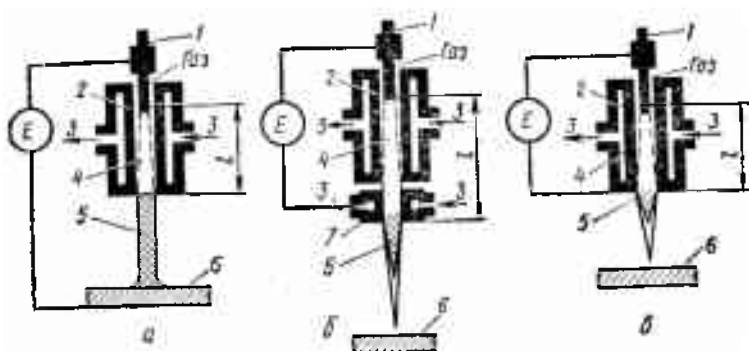


Рис. 11.3 - Схеми зварювання плазмовою дугою (а) та плазмовим струменем (б, в):

1 — електрод; 2 — канал; 3 — охолодна вода; 4 — стовп дуги; 5 — плазмовий струмінь; 6 — виріб; 7 — сопло; E — джерело струму; l — довжина робочої частини каналу

Зварювання плазмовою дугою здійснюється змінним або постійним струмом прямої полярності. Збуджують дугу за допомогою осцилятора. Для полегшення збудження дуги прямої дії використовують чергову дугу, що постійно горить між соплом пальника та електродом. Для живлення плазмоутворюючої дуги потрібні джерела живлення зварювального струму з робочою напругою до 120 В, а в деяких випадках і вищою.

Плазмовою дугою та плазмовим струменем можна зварювати практично всі метали а також деякі неметалеві матеріали. Як плазмоутворюючий газ використовують аргон і гелій, які також можуть бути і захисними.

Контрольні питання

1. Суть, схема та режим автоматичного зварювання під флюсом.
2. Сфера застосування автоматичного зварювання під флюсом, його переваги та недоліки.
3. Суть і схеми зварювання в захисних газах.
4. Способи зварювання в аргоні. Режимы, застосування.
5. Зварювання у вуглекислому газі: особливості, режимы, застосування.
6. Суть і схеми плазмового зварювання.