МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНЫЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Кафедра лазерної техніки та фізико-технічних технологій

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ З ДИСЦИПЛІНИ

«Технологія конструкційних матеріалів»

для напряму підготовки:
131 Прикладна механіка
(Об’єм лекцій-36 годин)

Рекомендовано Вченою радою
механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ»
протокол №2 від 25 вересня 2017р.

Київ 2017

Технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій для студентів напряму підготовки: 131-прикладна механіка / Укладачі: Кондрашев П.В., Сердітов О.Т., Ключников Ю.В., Лутай А.М.-НТУУ «КПІ», 2017р.-96с.

Гриф надано Вченою радою
механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ»
(*протокол №2 від 25 вересня 2017р.*)

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Конспект лекцій для напряму підготовки: 131-прикладна механіка.

Укладачі: Кондрашев П.В., к.т.н., доц., каф. ЛТФТ
Сердітов О.Т., к.т.н., доц., каф. ЛТФТ
Ключников Ю.В., к.т.н., доц., каф. ЛТФТ
Лутай А.М., ст.викл., каф. ЛТФТ

Відповідальний редактор: Анякін М.І., д.т.н., доц., каф. ЛТФТ

За редакцією укладача

Рецензент: Шевченко О.В., д.т.н., проф., кафедри Конструювання верстатів і машин ММІ НТУУ «КПІ»

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ №1

РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА……...5

1.1. Матеріали для виробництва металів…….5

1.2. Способи отримання металів з руди……..6

ЛЕКЦІЯ №2

1.3. Виробництво чавуну……..7

ЛЕКЦІЯ №3

1.4. Виробництво сталі……12

ЛЕКЦІЯ №4

РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА……22

2.1. Загальна характеристика ливарного виробництва……22

2.2. Теоретичні основи виготовлення відливків……...24

ЛЕКЦІЯ №5

2.3. Виготовлення відливків у разових піщано-глинястих формах……26

ЛЕКЦІЯ №6

2.4. Спеціальні методи литва……..37

ЛЕКЦІЯ №7

РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ (ОМТ)……46

3.1. Загальна характеристика ОМТ та вплив пластичної деформації на структуру та властивості металів……46

ЛЕКЦІЯ №8

3.2. Прокатка. Сутність процесу прокатки……...53

3.3. Пресування. Сутність процесу пресування……...59

3.4. Волочіння. Сутність процесу……..61

3.5. Вільне кування. Сутність процесу кування……...63

ЛЕКЦІЯ №9

3.6. Гаряче об’ємне штампування……..64

3.7. Холодне об’ємне штампування……...74

3.8. Листове штампування……..78

ЛЕКЦІЯ №10
РОЗДІЛ 4. ОСНОВИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА……..80
4.1. Фізичні основи отримання зварних з’єднань……80
4.2. Сутність та способи дугового зварювання……82
ЛЕКЦІЯ №11
4.3. Ручне дугове зварювання……87
4.4. Автоматичне дугове зварювання……91
ЛЕКЦІЯ №12
4.5. Електричне контактне зварювання……94
ЛЕКЦІЯ №13
4.6. Газове зварювання……..102
4.7. Термічне різання металів……...106
ЛЕКЦІЯ №14
РОЗДІЛ 5. ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ (ОМР)……...109
5.1. Теоретичні основи ОМР……109
5.2. Геометрія різального інструменту……113
5.3. Спрацювання та стійкість різального інструменту……117
ЛЕКЦІЯ №15
5.4. Обробка заготовок на токарних верстатах……...120
ЛЕКЦІЯ №16
5.5. Обробка заготовок на верстатах свердлильної групи……132
ЛЕКЦІЯ №17
5.6. Обробка заготовок на строгальних та довбальних верстатах……143
5.7. Обробка заготовок на фрезерних верстатах……147
ЛЕКЦІЯ №18
5.8. Обробка заготовок на шліфувальних верстатах……..155
5.9. Технологічні методи чистової та фінішної обробки поверхонь……160
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ…….....165

ЛЕКЦІЯ №1

РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Введення. 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. Двохетапна схема виробництва сталі-виплавка чавуну в доменної 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.

1.1. Матеріали для виробництва металів

Для виробництва чавуну, сталі та кольорових металів використовують руду, флюси, паливо, вогнетривкі матеріали. *Промислова руда*-горна 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 елементу, що добувається розрізняють руди багаті та бідні. Бідні руди збагачують, завдяки видаленню частини пустої породи. *Флюси*-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, MgO, FeO). *Паливо*-в металургійних печах використовують кокс, природний газ, мазут, доменний (колошниковий) газ. Кокс отримують сухою перегонкою при температурі 1000°С (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 матеріали*-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 лєщаді доменних печей, електролізних ванн для отримання алюмінію, тиглів для плавлення та розливання мідних сплавів.

1.2. 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 й 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.

ЛЕКЦІЯ №2

1.3. 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 змістом заліза 55…60%;

-червоний залізняк (Fe_2O_3) з змістом заліза 55…60%;

-бурий залізняк (гідроксидів заліза $2Fe_2O_3+3H_2O$ та $Fe_2O_3+H_2O$) з змістом 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 (хромомагнезитів). *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°С. При спіканні з руди видаляються шкідливі домішки (сірка, миш'як), розкладаються карбонати і отримується кусковий пористий офлюсований агломерат. При окатуванні шихту з подрібнених концентратів, флюсу, палива зволожують та піддають обробці в обертових барабанах до отримання шариків-окатишів діаметром до 30 мм. Далі їх підвергають термічної обробці при температурі 1200…1350°С. Використання агломерату та окатишів виключає подачу флюсу-вапняку до доменної печі при виплавлені. *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. 2.1)

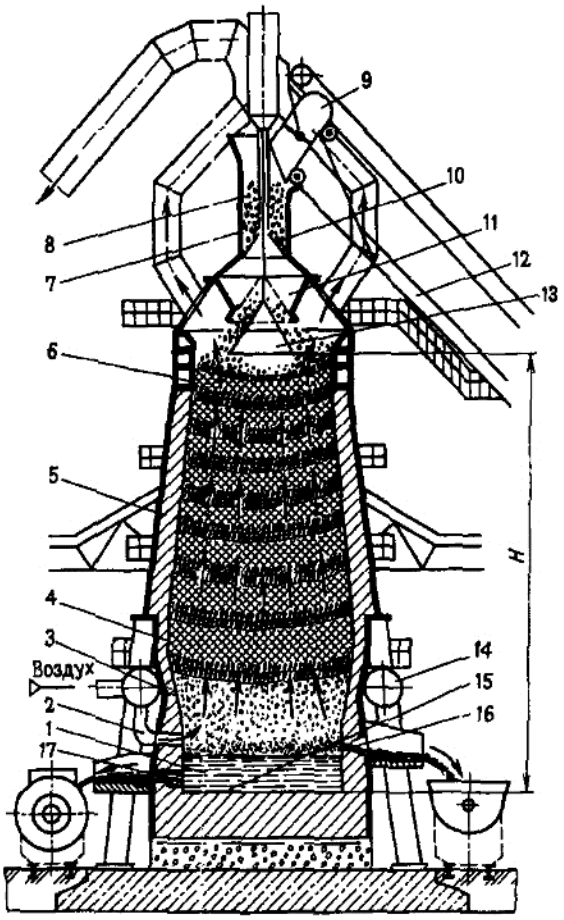


Рис. 2.1. Конструкція доменної печі

Доменна піч (рис. 2.1) має стальний кожух, викладений вогнетривкою шамотною цеглою. Робочий простір печі включає колошник 6, шахту 5, розпар 4, заплечики 3, горн 1, лещадь 15. В верхній частини 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 розподілювача 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 лєщаді до нижньої кромки великого конуса засипного апарату при його опусканні. Корисна висота доменної печі досягає 35 м а корисний об’єм 2000…5000 м^3. В верхньої частині горна знаходяться фурмені пристрої 14, через які в піч надходить розігріте повітря, яке необхідне для горіння палива. Повітря надходить з повітряного

нагрівачу, внутрішня частина якого має камеру згоряння та насадку з вогнетривкої цегли, в якої 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°С та потрапляє до фурменого пристрою, далі через фурми 2 до робочого простору печі. Після охолодження насадок нагрівачі переключаються. *Горіння палива*. Поблизу фурм природний газ та вуглець коксу, взаємодія з киснем згоряє:

$$C+O_2=CO_2+Q$$

$$CH_4+2O_2=CO_2+2H_2O_{(пара)}+Q$$

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

$$CO_2+C=2CO-Q$$

$$H_2O+C=CO+H_2-Q$$

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°С біля колошника. Шихта (агломерат, кокс) опускається на зустріч потоку газів та при температурі приблизно 570°С починається відновлення оксидів заліза. *Відновлення оксидів заліза в доменної печі*. Відновлення заліза проходить по мірі просування шихти до низу по шахті та підвищення температури від вищого оксиду до нижчого за декілька стадій:

$$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$$

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:

$$FeO+C=Fe+CO-Q$$

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

$$3Fe_2O_3+CO=2Fe_3O_4+CO_2+Q$$

$$Fe_3O_4+CO=3FeO+CO_2-Q$$

$$FeO+CO=Fe+CO_2+Q$$

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°С). Каплі залізовуглецевих сплавів, протікаючи по кускам коксу, додатково насичуються вуглецем (до 4%), марганцем, кремнієм, фосфором, які при температурі 1200°С 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, MgO, 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 лєщаді). 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 приходиться 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.

ЛЕКЦІЯ №3

1.4. Виробництво сталі

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 гази в процесі плавки. Залізо окислюється в першу чергу при взаємодії чавуну з киснем в сталеплавильних печах:

$$2Fe+O_2=2FeO+Q$$

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 не стійке з’єднання:

$$2P+5FeO+4CaO \rightarrow (CaO)_4P_2O_5+5Fe$$

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, зміст фосфору в шлаку збільшується. Тому необхідно убрати цей шлак з металу та замінити його новим з свіжими добавками *CaO*. *Другий етап*-кипіння металевої ванни починається поступово по мірі прогріву до більш високих температур. При підвищенні температури більш інтенсивно протікає реакція окислення вуглецю, яка проходить з поглинанням теплоти:

$$FeO+C=CO+Fe-Q$$

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 зміст 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 сульфіду (*FeS*), який розчинюється також в основному шлаку. Чим вище температура, тим більша кількість сульфіду 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_5 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, сприяючі 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 (*Ni*, *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 на при кінці плавлення, а іноді в ковш. Виробництво сталі в *мартенівських печах* характеризується порівняно невеликою продуктивністю, можливістю використання другорядного металу-стального скрапу. Місткість печі становить 200…900 т. Даний спосіб позволяє отримувати якісну сталь. Мартенівська піч (рис. 3.1) представляє собою регенеративну полум’яну піч, висока температура в якої (1750…1800°С) досягається за рахунок згорання газу в плавильному просторі.

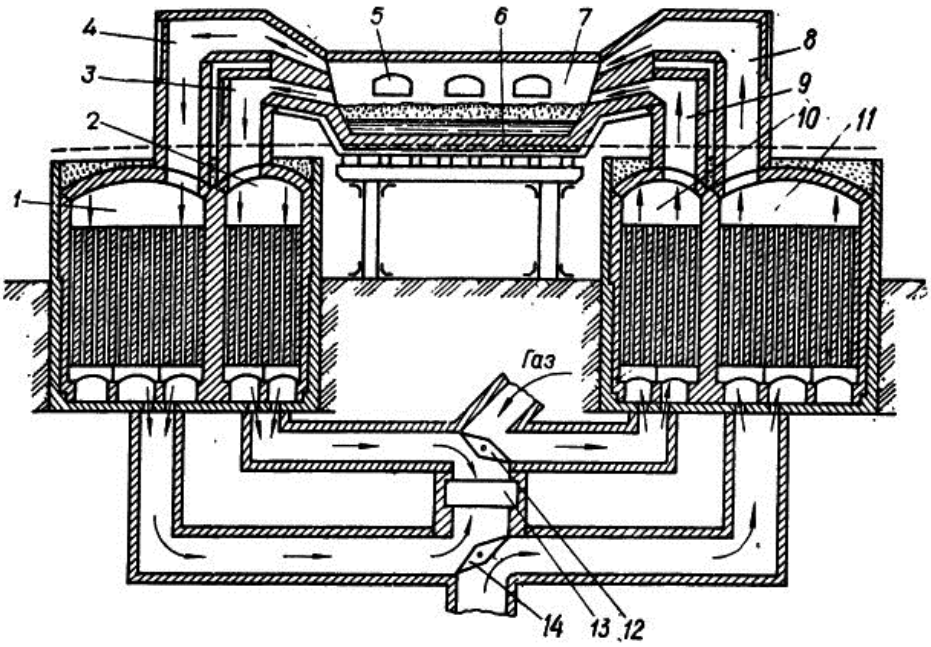


Рис. 3.1. Схема мартенівської печі

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°С 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 згоряння по каналам 3 та 4 потрапляють у регенератори 1 та 2, нагрівають їх, охолоджуючись до температури 500…600°С та уходять в димову трубу 13. По мірі охолодження регенераторів 10 та 11 направлення 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 м^2.

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 плавкі розрізняють різновиди мартенівського процесу:

-Скрап процес, при якому шихта складається з стального 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 містить 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 м^2 площі поду за добу (т/м^2 за добу), в середньому складає 10 т/м^2;

-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*-це сосуд грушовидної форми з стального 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, стальний лом (не більше 30%), вапняк для наведення шлаку, залізна руда, а також боксит Al_2O_3 та плавиковий шпат CaF_2 для розрідження шлаку. Послідовність технологічних операцій при виплавки сталі в кисневих конвертерах наведена на рис. 3.2.

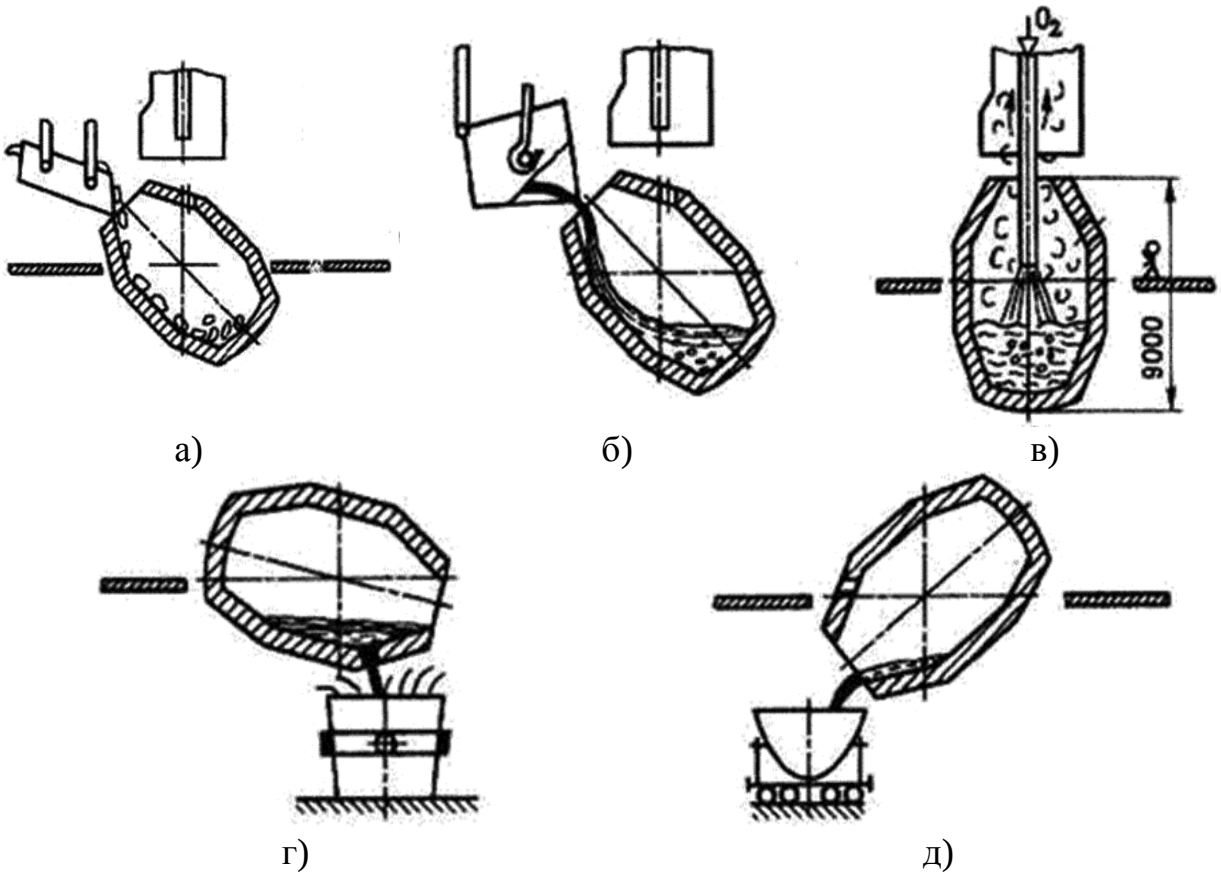


Рис. 3.2. Послідовність технологічних операцій при виплавки сталі в кисневих конвертерах

Після чергової плавки сталі випускний отвір закладають вогнетривкою масою та перевіряють футеровку, ремонтують. Перед плавкою конвертер нахиляють за допомогою завалочних машин завантажують скрап (рис. 3.2, а), заливають чавун при температурі 1250…1400°С (рис. 3.2, б). Після цього конвертер повертають в робоче положення (рис. 3.2, 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°С. В зоні контакту кисневої струї 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. 3.2, г), де розкислюють осаджуючим методом феромарганцем, феросиліцієм та алюмінієм, потім зливають шлак (рис. 3.2, 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 електропіч* (рис. 3.3).

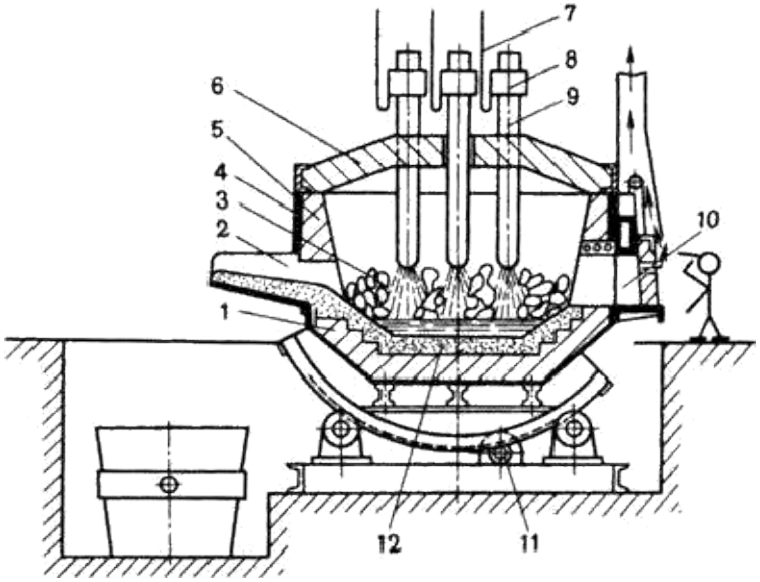


Рис. 3.3. Схема дугової плавильної печі.

Дугова плавильна піч живиться трьохфазним 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 стальний 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 корпуса 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 окисленням 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: стальний 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 подині 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°С

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 легуючи 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. 3.4.

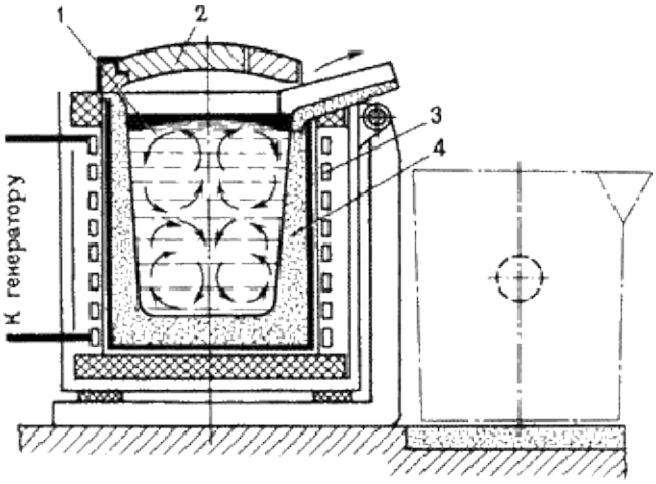


Рис. 3.4. Схема індукційної тигельної печі

Піч складається з водоохолоджувального індуктора 3, всередині якого знаходиться тигель 4 (основні або кислі вогнетривкі матеріали) з металевою 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) вогнетривів. 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 (SiO_2). 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 кислою 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. Получають сплави високої якості з малим вмістом газів, неметалевих включень та сплави, які леговані будь якими елементами.

ЛЕКЦІЯ №4

РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1. 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.

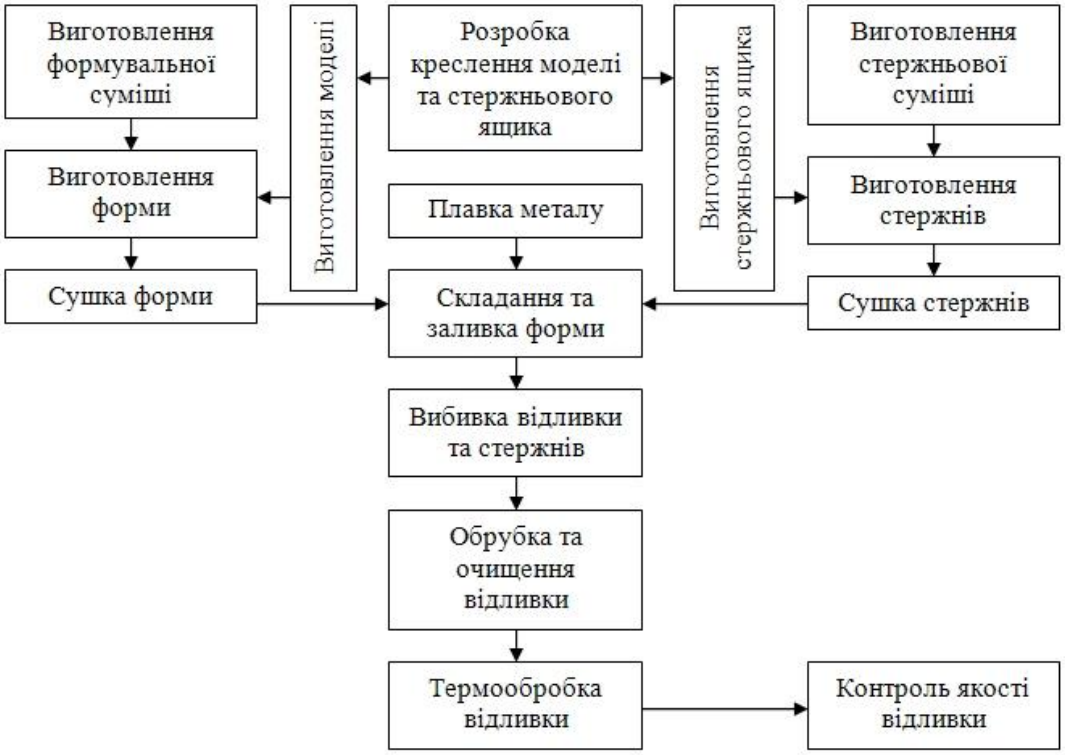


Рис. 4.1. Схема технологічного процесу виготовлення відливки

Технологія виготовлення відливки починається з розробки її креслення та робочих креслень модельного комплекту (моделі та стержньового ящика). До складу ливарного цеху входять відділення: модельне, землевиготовільне, стержньове, формувальне, плавильне, вибивне, обрубне, очищувальне. В модельному відділенні по робочим кресленням виготовляють модельний комплект. В землевиготовільному 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 затвердівання в вибивному відділенні видаляють з форми відливку, обрубують ливникову систему та очищують відливку від пригару в очищувальному відділенні. Заключною операцією є контроль якості відливки.

2.2. Теоретичні основи виготовлення відливків

Ливарні властивості сплавів. Отримання якісних відливків 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, ліквація. *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 натяжіння 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 натяжіння 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 *додатки*-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 затвердіванні 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. *Ліквація*-неоднорідність хімічного складу сплаву в різних частинах відливки. Ліквація утворюється в процесі затвердівання відливки, із за різної розчинності окремих компонентів сплаву в його твердої та рідкої фазах. В сталях та чавунах помітно піддаються ліквації сірка, фосфор та вуглець. Розрізняють ліквацію *зональну*, коли різні частини відливки мають різний хімічний склад, та *дендритну*, коли хімічна неоднорідність спостерігається у кожному зерні (дендриті). *Класифікація способів отримання відливків та різновидності ливарних форм*. Сучасне ливарне виробництво містить в собі наступні способи виготовлення відливків: 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

відливків (дрібні-до 100 кг, середні-до 1000 кг, крупні-більше 1000 кг); точністю та чистотою поверхні відливків; ливарними властивостями сплавів; економічною доцільністю використання того чи іншого способу. *Різновидності ливарних форм*. Для отримання відливків використовують різноманітні ливарні форми, які відрізняються: строком служби (разові, багаторазові); станом перед заливкою (сухі, підсушені, сирі, хімічно твердіючи, самотвердіючи); 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 відливків з сталі, до декілька тисяч відливків з чавуну та до сотень тисяч відливків зі сплавів кольорових металів. Із за високої вартості кокілі використовують тільки в серійному або масовому виробництві відливків. Відливка витягується з кокілю спеціальними штовхачами, які при розкритті половин кокілю виходять з своїх гнізд та виштовхують відливку.

ЛЕКЦІЯ №5

2.3. Виготовлення відливків у разових піщано-глинястих формах

Литво в піщано-глинясті форми є самим розповсюдженим способом виготовлення відливків. 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 відливків з розплавленого металу, який затвердіває в формах, виготовлених з формувальних сумішей шляхом ущільнення з використанням модельного комплекту. Ливарна форма (рис. 5.1) 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.

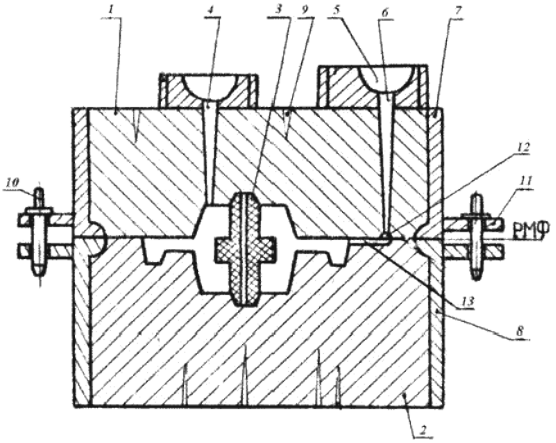
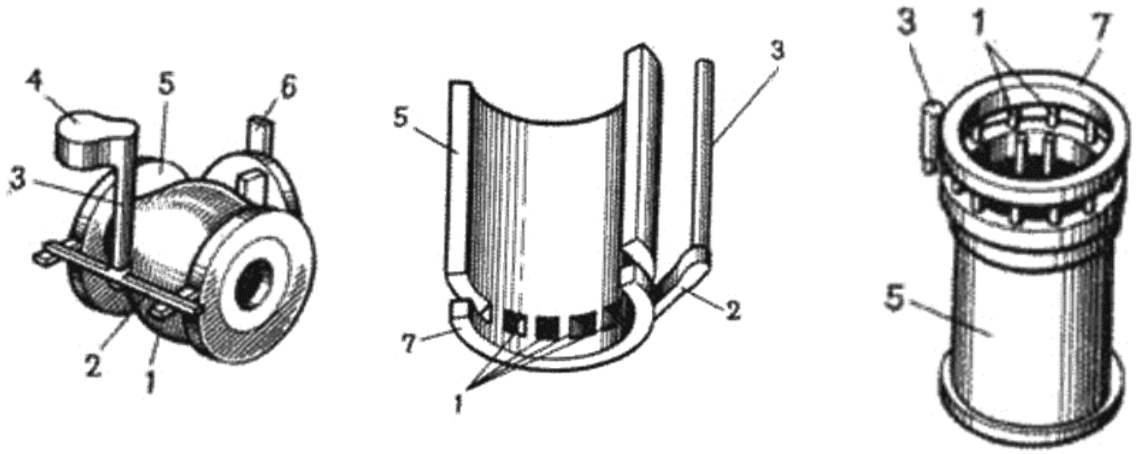


Рис. 5.1. Ливарна форма

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 розливального 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 затвердіванні служать додатки або випар 4. Для виводу газів призначені також вентиляційні канали 9. *Різновидності ливникових систем* наведені на рис. 5.2.



а) б) в)

Рис. 5.2. 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. 5.2, 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 $H/\delta \geq 60$). Нижній підвід через велику кількість живильників часто використовують при виготовленні складних за формою, крупних відливків з чавуну. Верхня ливникова система (рис. 5.2, 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 несхильних до сильного окислення в розплавленому стані (чавуни, вуглецеві та конструкційні сталі, латуні). Бокова ливникова система (рис 5.2, а). Підвід металу відбувається в середню частину відливки (по лінії роз'єднання форми). Таку систему застосовують при отриманні відливків з різних сплавів, невеликих та середніх за масою деталей, площина 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, стійки до корозії, гарно оброблюються. Для зменшення маси моделі їх виготовлюють порожнистими з ребрами жорсткості. Моделі з пластмаси вологостійкі при експлуатації та зберіганні, не піддаються короблению, 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 відливків 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. 5.3).

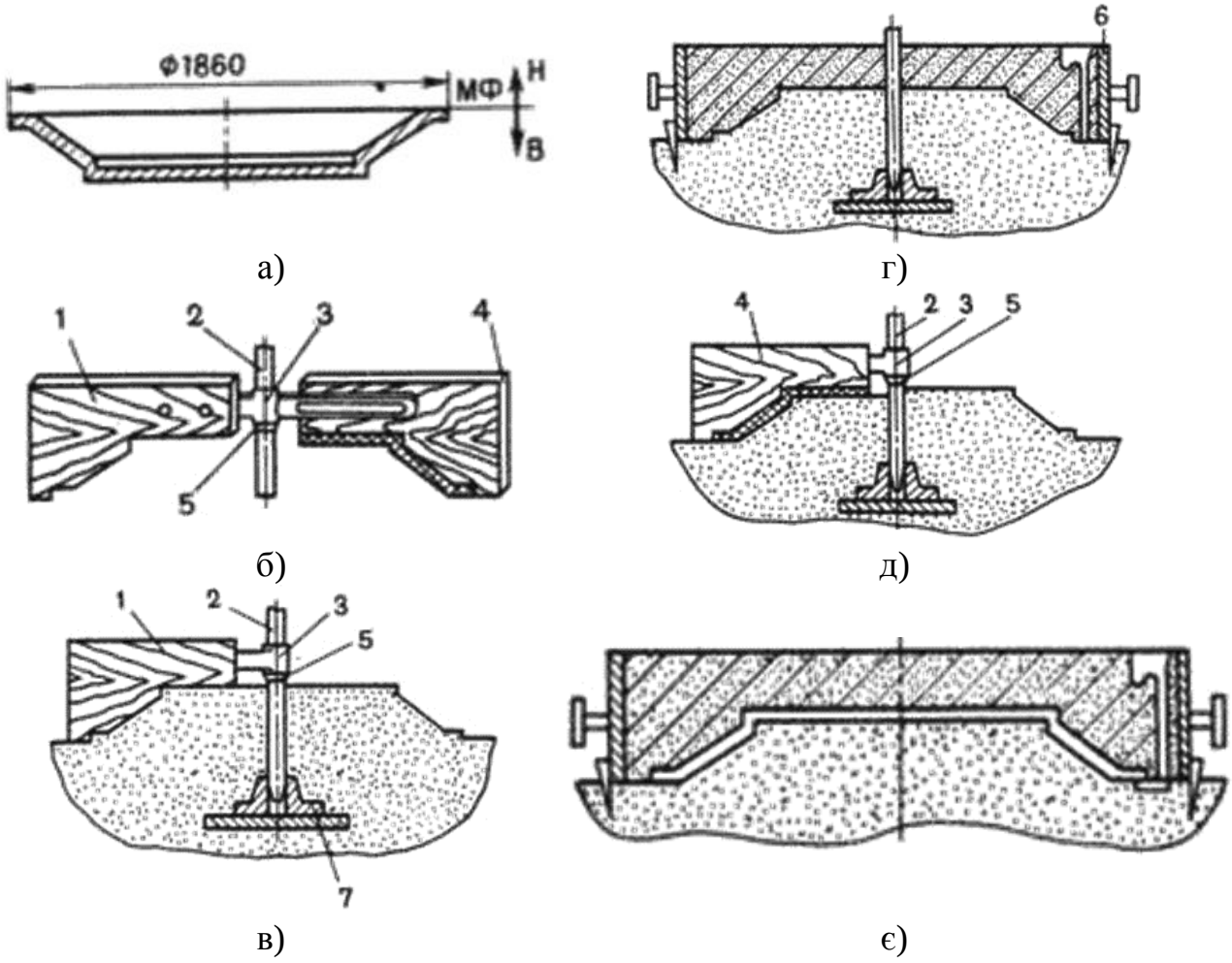
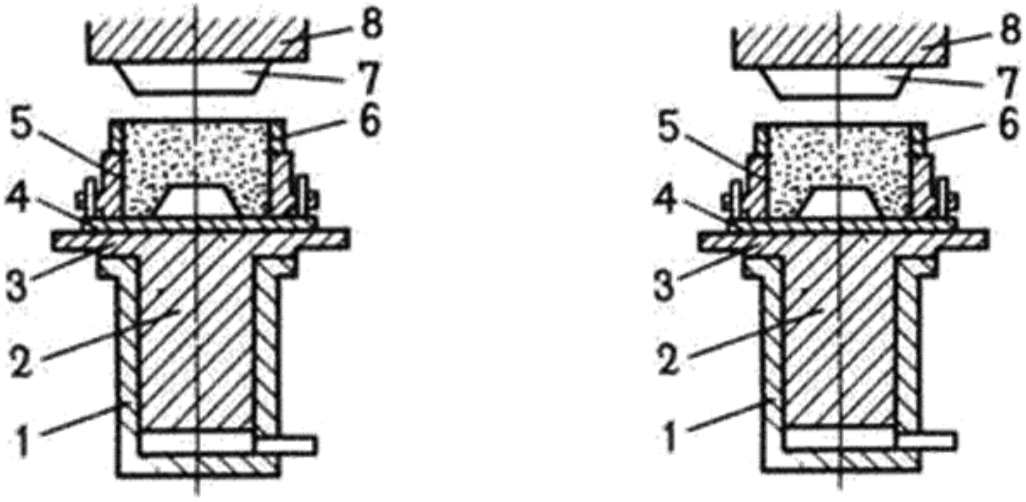


Рис. 5.3. Шаблонна формовка

В ущільненої формувальної суміші повертанням шаблону 1, який закріплений на шпинделі 2 за допомогою серги 3, оформлюють зовнішню поверхню відливки (рис. 5.3, в) та використовують її як модель в опоці верхньої напівформі 6 (рис. 5.3, 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 шпиндель з шаблоном 4, яким оформлюють нижню напівформу, стискуючи шар суміші, якій дорівнює товщині стінки відливки (рис. 5.3, д). Знімають шаблон, видаляють шпиндель, встановлюють верхню напівформу (рис. 5.3, 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 відливків) 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 відливок. Підвищується продуктивність праці, покращується якість форм та відливків, 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. 5.4, а) тиск,

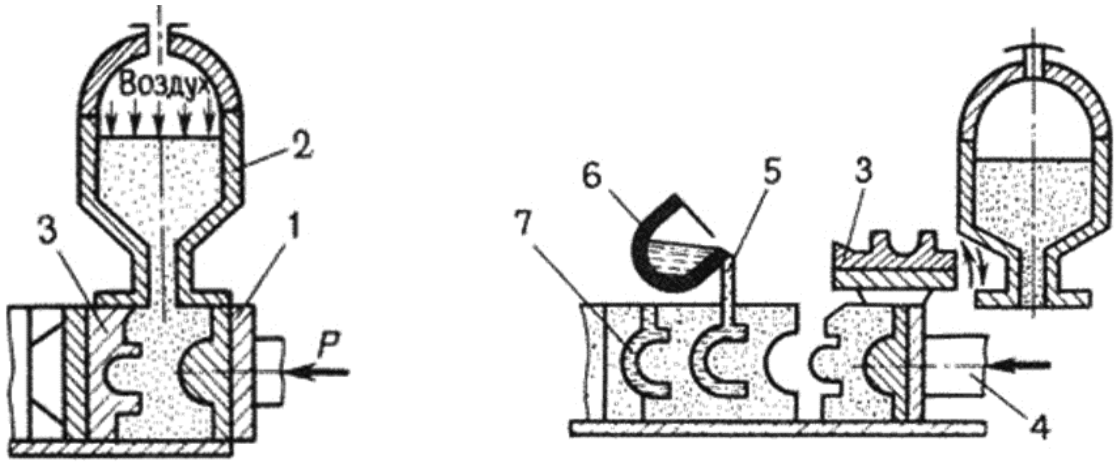


а) б)

Рис. 5.4. Схеми способів ущільнення ливарних форм при машинній формовці: а) пресуванням; б) струшуванням.

що ущільнює діє зверху. 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. 5.4, б). Під дією стислого повітря, яке подається в нижню частину циліндра 1, струшуючий 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 прилягаючу 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. 5.5).



а) б)

Рис. 5.5. 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 ковшу 6. Після затвердівання 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 стального дроту або литого чавуну. Готові стержні підвергають 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 стальних 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 самотвердіючи; рідкі холоднотвердіючи суміші на синтетичних смолах; рідкостекольні суміші, твердіючи 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-пузирі 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 суміщу 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, обрубуванні 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…600ºС, 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 підвергаються 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).

ЛЕКЦІЯ №6

2.4. 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. 6.1.

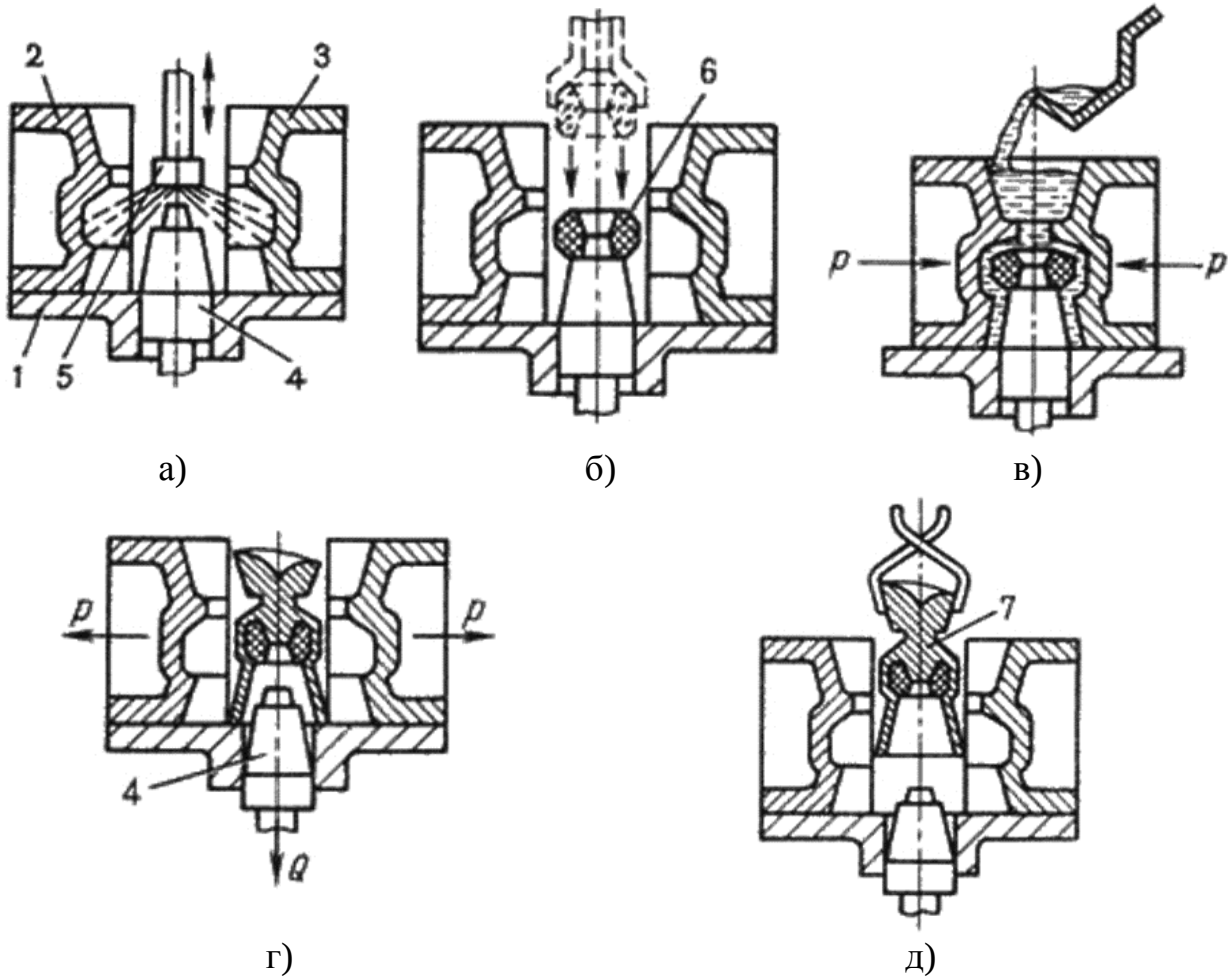


Рис. 6.1. Технологічні операції виготовлення відливки в кокіль

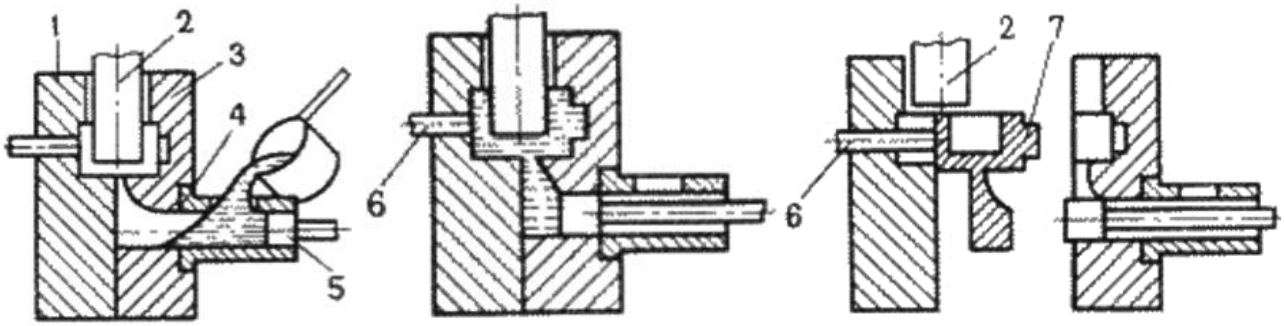
Робочу поверхню кокілю з вертикальною плоскістю роз’єму, що складається з піддону 1, двох симетричних напівформ 2 та 3 й металевого стержня 4, попередньо нагріту до температури 150…180ºС покривають з пульверизатора 5 шаром вогнетривкого покриття (рис. 6.1, а) товщиною 0,3…0,8 мм. Покриття оберігає робочу поверхню кокілю від різкого нагріву та сплавленням з відливкою. Покриття готують з вогнетривких матеріалів (тальк, крейда, графіт), єднального матеріалу (рідке скло) та води. Потім за допомогою маніпулятора встановлюють піщаний стержень 6, за допомогою якого у відливки виконується порожнина (рис. 6.1, б). Половинки кокілю з’єднують та заливають розплав. Після затвердівання відливки 7 (рис. 6.1, в) та охолоджування її до температури вибивання кокіль розкривають (рис. 6.1, г) та протягують вниз металевий стержень 4. Відливка 7 видаляється маніпулятором з кокілю (рис. 6.1, 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 відливків застосовують кокілі з комбінованим роз'ємом. Розплавлений метал у форму підводять зверху, знизу (сифоном), збоку. Для видалення повітря та газів по плоскості 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 відливків 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 відливків. *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. 6.2) розплавлений метал заливають в камеру пресування 4 (рис. 6.2, а). Потім метал плунжером 5, під тиском 40…100 мПа, подається в порожнину прес-форми (рис. 6.2, б), що складається з нерухомої 3 та рухомої 1 напівформ. Внутрішню порожнину у відливки отримують стержнем 2. Після затвердівання відливки прес-форма розкривається, стержень 2 витягується (рис. 6.2, в) та відливка 7 виштовхувачами 6 видаляється з робочої порожнини прес-форми.



а) б) в)

Рис. 6.2. Технологічні операції виготовлення відливків на машинах з горизонтальною холодною камерою пресування

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

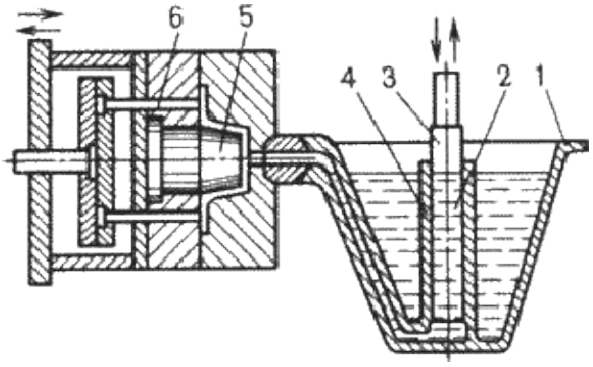


Рис. 6.3. Схема виготовлення відливки на машинах з гарячою камерою пресування

При литві під тиском температура заливки сплаву вибирається на 10…20ºС 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. 6.4.

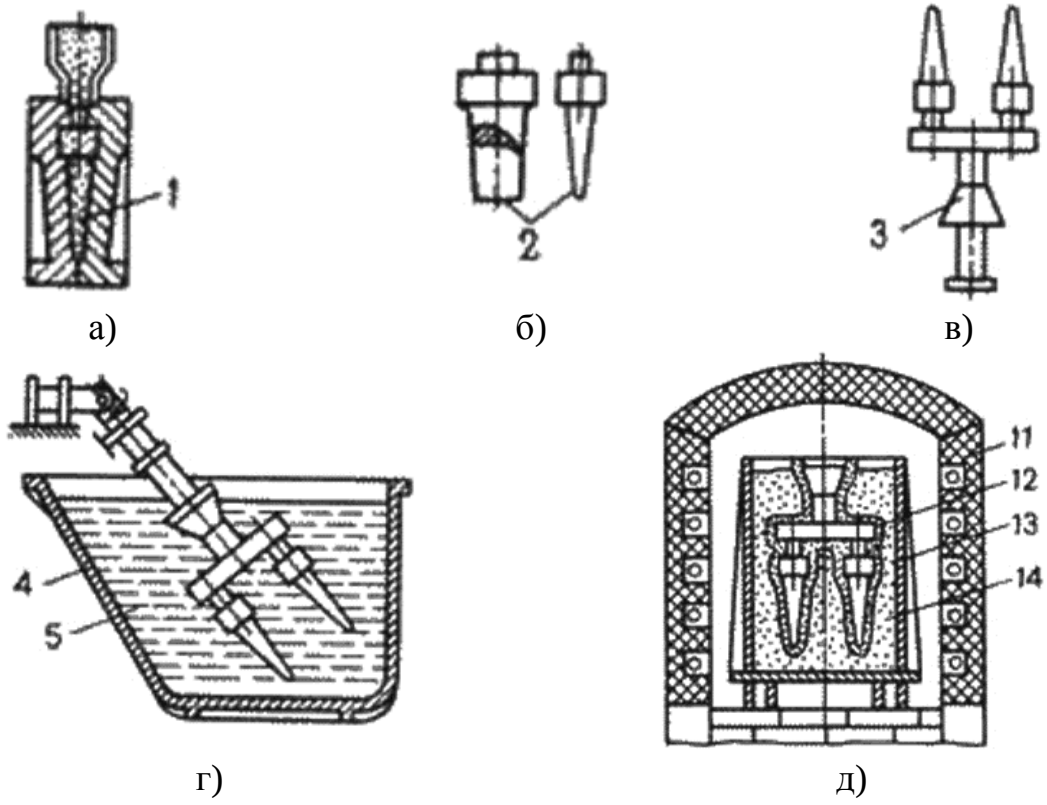


Рис. 6.4. Технологічні операції процесу литва по моделях, що виплавляються

Моделі, що виплавляються, виготовляють в прес-формах 1 (рис. 6.4, а) з модельних сумішей, що включають парафін, віск, стеарин, жирні кислоти.

Склад добре заповнює порожнину прес-форми, дає чіткий відбиток. Після затвердівання модельного складу прес-форма розкривається та модель 2 (рис. 6.4, б) виштовхується в холодну воду. Потім моделі збираються в модельні блоки 3 (рис. 6.4, 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. 6.4, 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…950ºС для видалення залишків модельного складу, випару води (рис. 6.4, д). Заливку форм по моделях, що виплавляються, проводять відразу після витримування в нагрітому стані. Заливка може бути вільною, під дією відцентрових сил, у вакуумі та ін. Після затвердівання залитого металу та охолоджування 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 єднальних матеріалів. Технологічні операції формування при литві в оболонкові форми представлені на рис. 6.5.

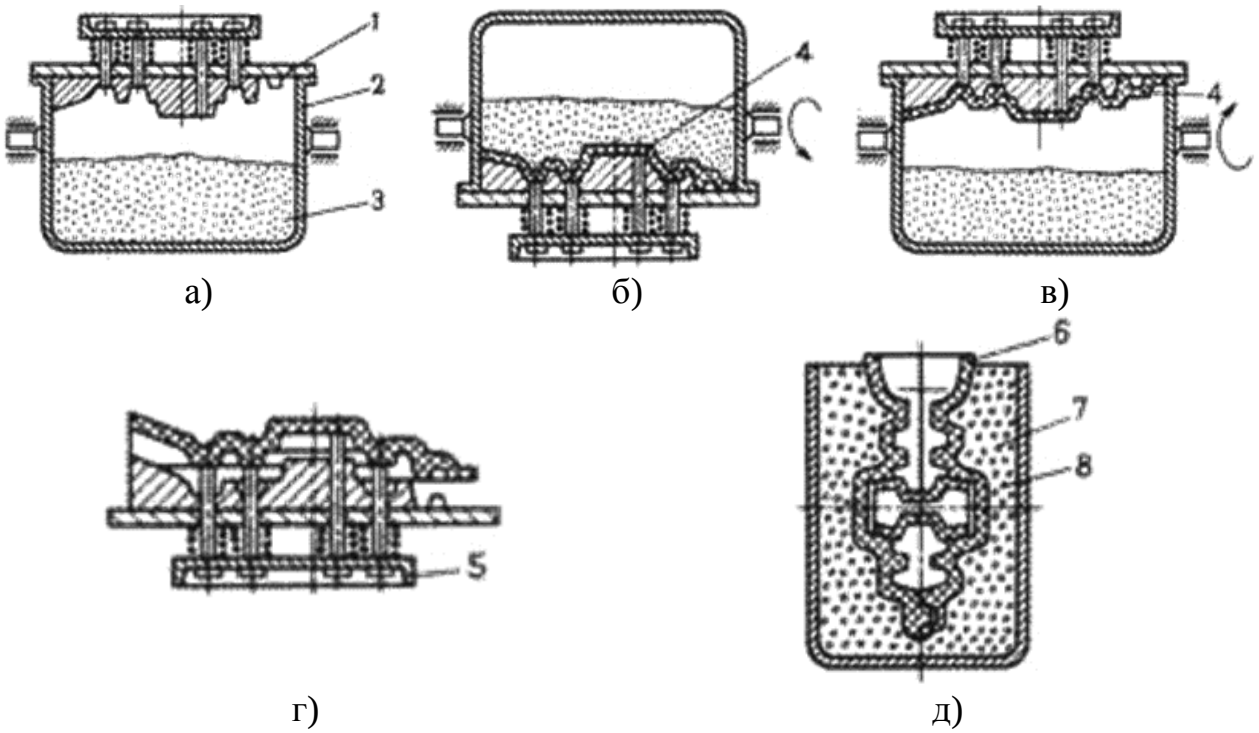


Рис. 6.5. Технологічні операції формування при литві в оболонкові форми

Металеву модельну плиту 1 з моделлю нагрівають в печі до 200…250ºС. Потім плиту 1 закріплюють на бункері 2, що перевертається з формувальною сумішшю 3 (рис. 6.5, а) та повертають на 180º (рис. 6.5, 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. 6.5, в), надлишки формувальної суміші обсипаються з оболонки. Модельна плита з напівтвердою оболонкою 4 знімається з бункера та прогрівається в печі при температурі 300…350º С, при цьому смола переходить в твердий стан. Тверда оболонка знімається з моделі за допомогою виштовхувачів 5 (рис. 6.5, 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 передвчасного руйнування встановлюють в контейнери 7 та засипають чавунним дробом 8 (рис. 6.5, 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 відливків. 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 200ºС. Схеми процесів виготовлення відливків відцентровим литвом представлені на рис. 6.6.

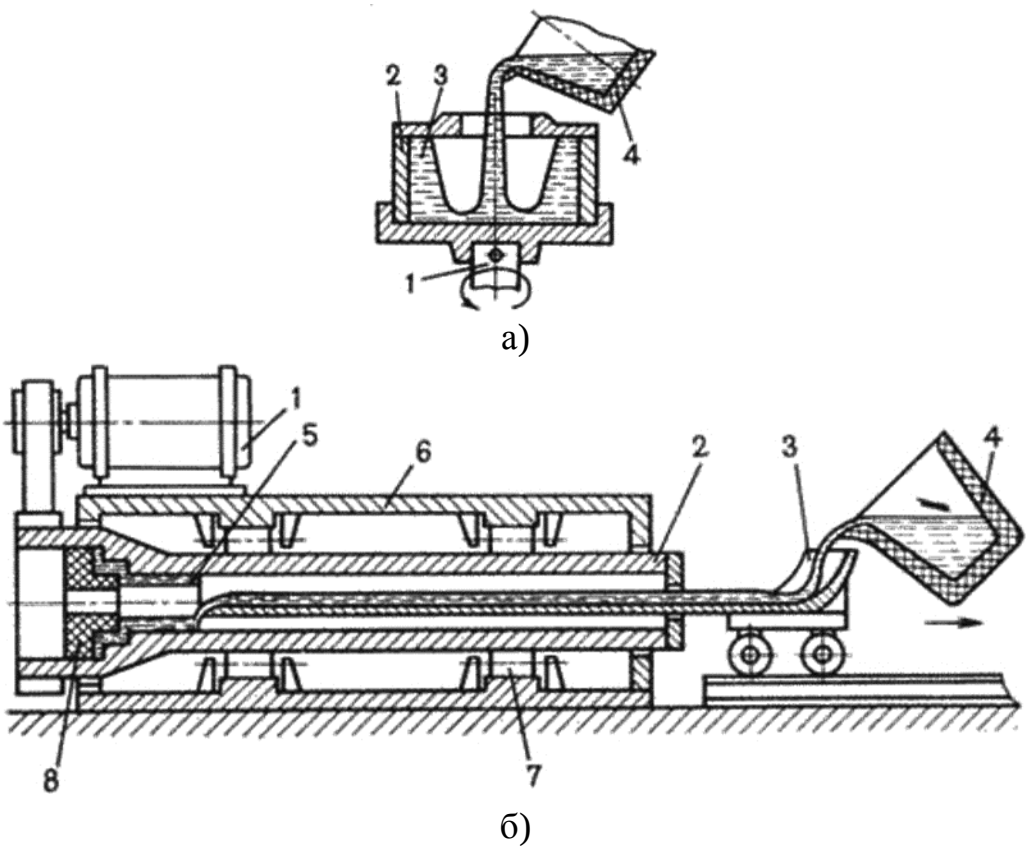


Рис. 6.6. Схеми процесів виготовлення відливків відцентровим литвом

При отриманні відливків на машинах з обертанням форми довкола вертикальної осі (рис. 6.6, 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 затвердівання відливки. Після зупинки форми відливка 3 видаляється. Відливки мають різні стінки по висоті (більш товщий переріз в нижній частині). Застосовують для отримання відливків невеликої висоти, коротких втулок, кілець, фланців. При отриманні відливків типу тіл обертання великої довжини (труби, втулки) на машинах з горизонтальною віссю обертання (рис. 6.6, 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 затвердівання металу готову відливку витягують спеціальним пристосуванням. Швидкість обертання форми залежить від діаметру відливки та щільності сплаву, визначається по формулі

$$n > \frac{5520}{\sqrt{\gamma \times r}}, \qquad (6.1)$$

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 відливків 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

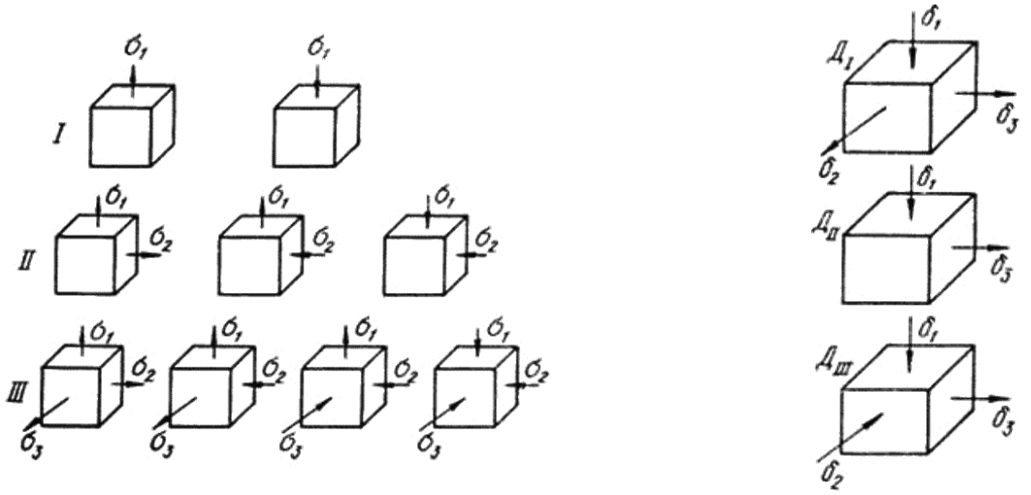
двошарових заготовок, що виходить почерговою заливкою у форму різних сплавів (сталь-чавун, чавун-бронза). Використовують автоматичні та багатопозиційні карусельні машини з управлінням від ЕОМ.

ЛЕКЦІЯ №7

РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ (ОМТ)

3.1. Загальна характеристика ОМТ 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 ОМТ 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. 7.1, а). Напружений стан в точці може бути лінійним, плоским або об'ємним.



а) б)

Рис. 7.1. Схеми напруженого (а) та деформованого (б) станів: *I*-лінійний напружений стан; *II*-плоский; *III*-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 стискуюче напруження перешкоджає порушенню міжкристалічних зв'язків, спричинює розвиток внутрішньокристалічних 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 стискуючими напруженнями. Схема деформованого стану (рис. 7.1, б) графічно відображує наявність та напрям деформації по трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Можливі три схеми деформованого стану. При схемі $Д_I$ зменшуються розміри тіла по висоті, за рахунок цього збільшуються два інших розміра (осадка, прокатка). При схемі $Д_{II}$ 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 $Д_{III}$: 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 (7.1).

$$H \times B \times L = h \times b \times l, \frac{h \times b \times l}{H \times B \times L} = 1, \qquad (7.1)$$

де: *H*-висота;

B-ширина;

L-довжина (розміри тіла до деформації);

h-висота;

в-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-h=Δh-обтискання;

B-b=Δb-розширення;

L-l=Δl-подовження.

2. Відносні деформації:

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

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

$\Delta l = \frac{\Delta l}{L} \times 100\%$ -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-змінення відносної деформації за одиницю часу

$$W = \frac{d\varepsilon}{dt}; W_{cp.} = \frac{\varepsilon}{t}\left(c^{-1}, \frac{\%}{c}\right), \qquad (7.2)$$

де: ε-ступінь деформації; t-час.

Швидкість деформації слід відрізняти від швидкості руху деформуючого інструменту та швидкості перебігу металу при деформації. Діапазон швидкостей деформації складає $10^{-1}\ldots10^{3}$, $с^{-1}$. *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 прокатаної 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. 7.2.

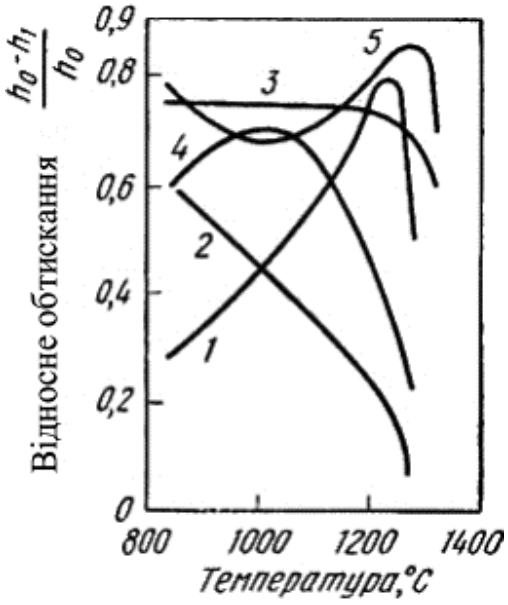


Рис. 7.2. Вплив температури на пластичність сталей

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°С 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 №8

3.2. 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).

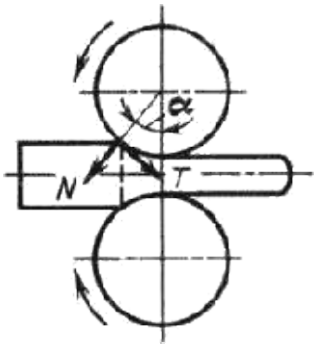


Рис. 8.1. Схема сил, які діють при процесі прокатки

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'-затягуюча 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)

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

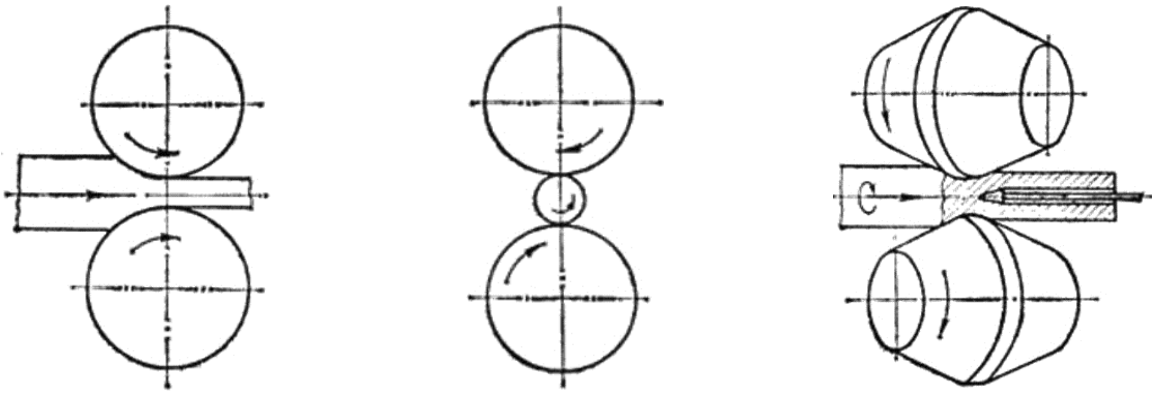
Представивши силу тертя T через нормальну силу N та коефіцієнт тертя f отримаємо вираз (8.2)

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

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

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

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 α=20...25°, при гарячій прокатці листів та смужок з кольорових металів α=12...15°, при холодній прокатці листів α=2...10°. *Способи прокатки*. Існують три основних способи прокатки, які мають певні відмінності по характеру виконання деформації: повздовжня, поперечна, поперечно-гвинтова (рис. 8.2).



а) б) в)

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). *Поперечно-гвинтова прокатка* (рис. 8.2, в). Валки, що обертаються в одну сторону, встановлені під

кутом один до одного. Метал, що прокатується отримує ще й 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.

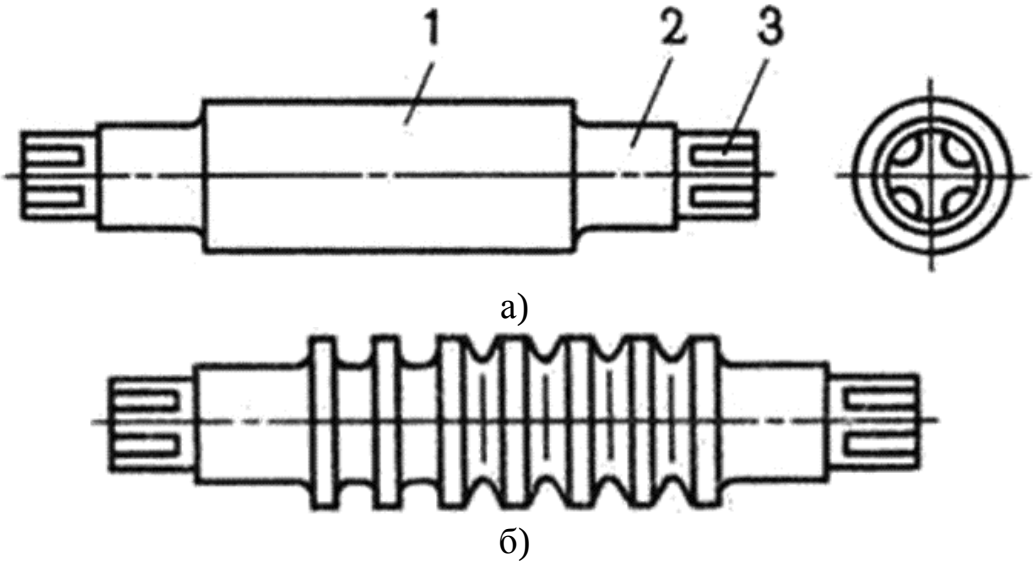


Рис. 8.3. Прокатні валки: а)-гладкий; б)-калібрований.

Струмок-профіль 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, f=0,003...0,005, 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 кліті та лінії приводу, що включає двигун, редуктор, шестеренні кліті, муфти, шпинделі. Схема головної лінії прокатного стану представлена на рис. 8.4.

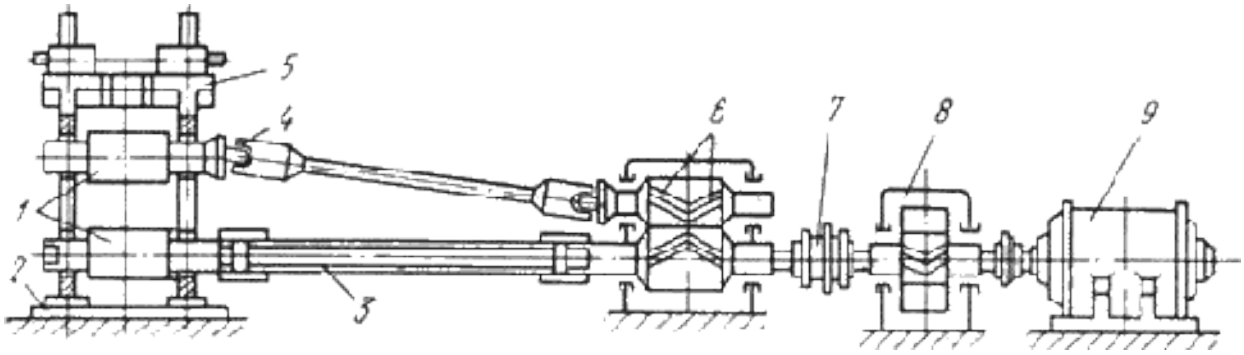


Рис. 8.4. Схема головної лінії прокатного стану: 1-прокатні валки; 2-плита; 3-трефовий шпиндель; 4-універсальний шпиндель; 5-робоча кліть; 6-шестерення кліть; 7-муфта; 8-редуктор; 9-двигун.

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

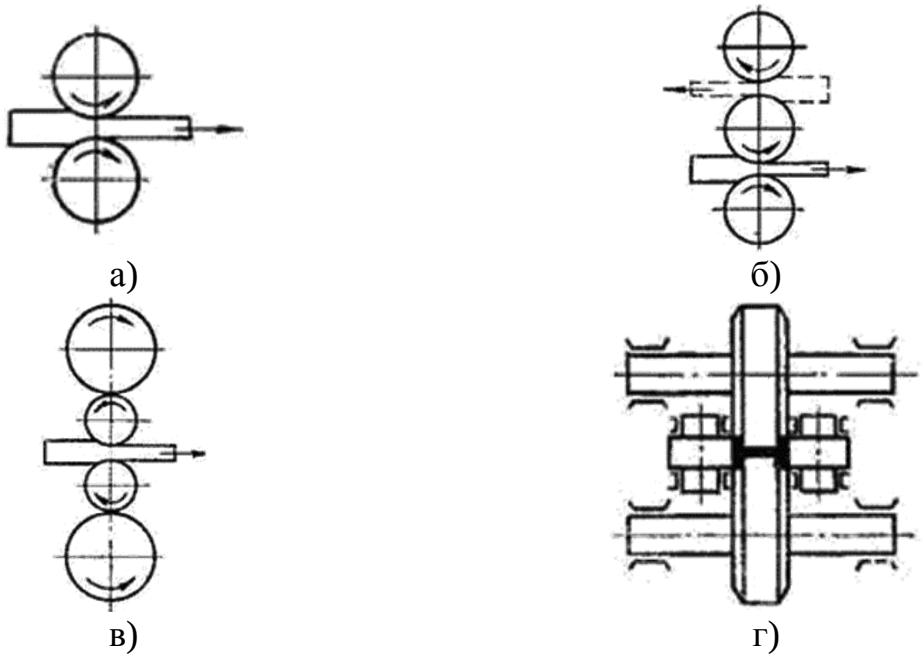


Рис. 8.5. Робочі кліті прокатних станів

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°. При незначному переміщенні у вертикальній площині застосовують шпинделі трефового типу 3 в комплекті з трефової муфтою. Внутрішні характеристики профілю трефових муфт відповідають формі перерізу хвостовика валка або шпинделя. Муфтою передбачений зазор 5...8 мм, що допускає можливість роботи з перекосом 1...2°. 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 жесть (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*-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.

3.3. Пресування. Сутність процесу пресування

Пресування-вид 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 см^2. 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);

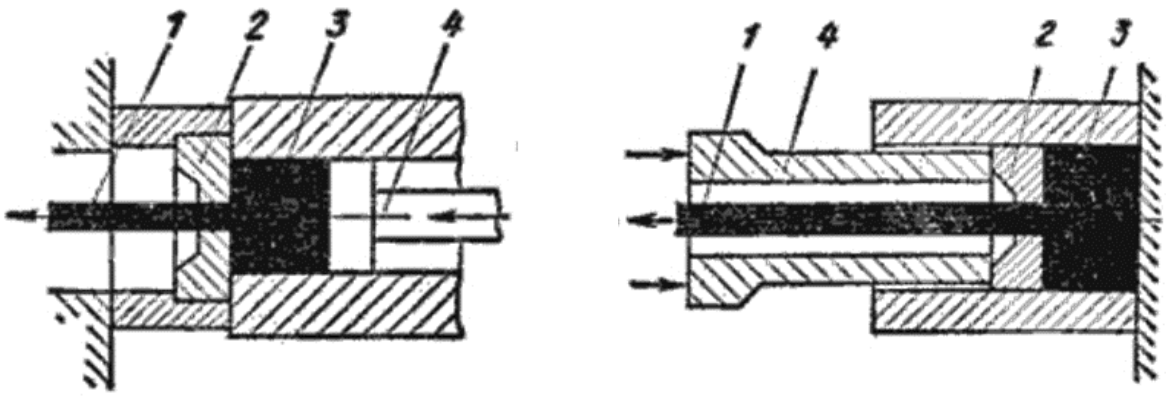
-нагрів заготовки з подальшим очищенням від окалини;

-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. 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.



а) б)

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

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 F_k до площі перерізу всіх отворів матриці F_M. Ступінь деформації залежність (8.4)

$$\varepsilon = \frac{F_K - F_M}{F_K} \times 100\% , \qquad (8.4)$$

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

$$V_M = \frac{F_K \times V_П}{F_M} = \lambda \times V_П , \qquad (8.5)$$

де: $V_П$-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 й 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.

3.4. 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.

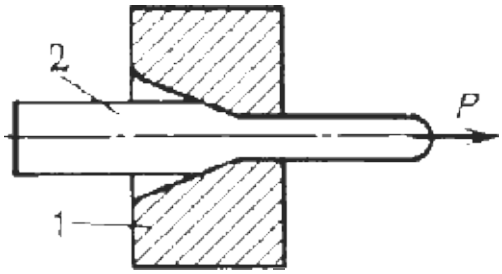


Рис. 8.7. Схема волочіння: 1-волока; 2-заготовка.

Волочінням отримують дріт діаметром 0,002...4 мм, прутки та профілі фасонного перерізу, тонкостінні труби, в тому числі й капілярні. Волочіння застосовують також для калібрування перерізу та підвищення якості поверхні оброблюваних виробів. Волочіння найчастіше виконують при кімнатній температурі, коли пластичну деформацію супроводжує наклеп, це використовують для підвищення механічних характеристик металу, наприклад, межа міцності зростає в 1,5...2 рази. Вихідним матеріалом для волочіння може бути гарячекатаний пруток, сортовий прокат, дріт, труби. Волочінням

обробляють сталі різного хімічного складу, кольорові метали та сплави, в тому числі й дорогоцінні. *Інструмент та обладнання для волочіння*. Основний інструмент для волочіння волоки різної конструкції. Волока працює в складних умовах: велике напруження поєднується зі зношуванням при протягуванні, тому їх виготовляють з твердих сплавів. Для одержання особливо точних профілів волоки виготовляють з алмазу. Конструкція інструменту представлена на рис. 8.8.

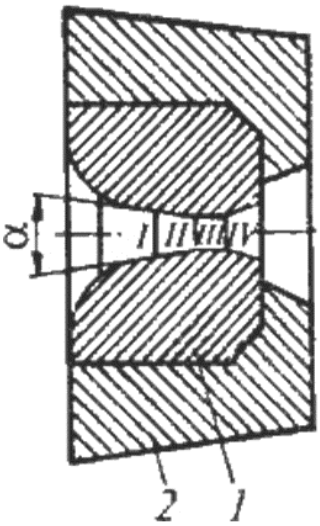


Рис. 8.8. Загальний вигляд волоки: 1-волока; 2-обойма.

Волоки мають складну конструкцію, її складовими частинами є: забірна частина *I*, яка включає вхідний конус та мастильну частину; деформуюча частина *II* з кутом при вершині (6...18° для прутків, 10...24° для труб); циліндричний калібр поясок *III* довжиною 0,4...1 мм; вихідний 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 λ не

перевищує значення 1,3, а ступінь деформації ε 30%. При необхідності отримати більшу величину деформації виготовляють багаторазове волочіння.

3.5. Вільне кування. Сутність процесу 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 парою 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*-машини 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.

ЛЕКЦІЯ №9

3.6. 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. 9.1.

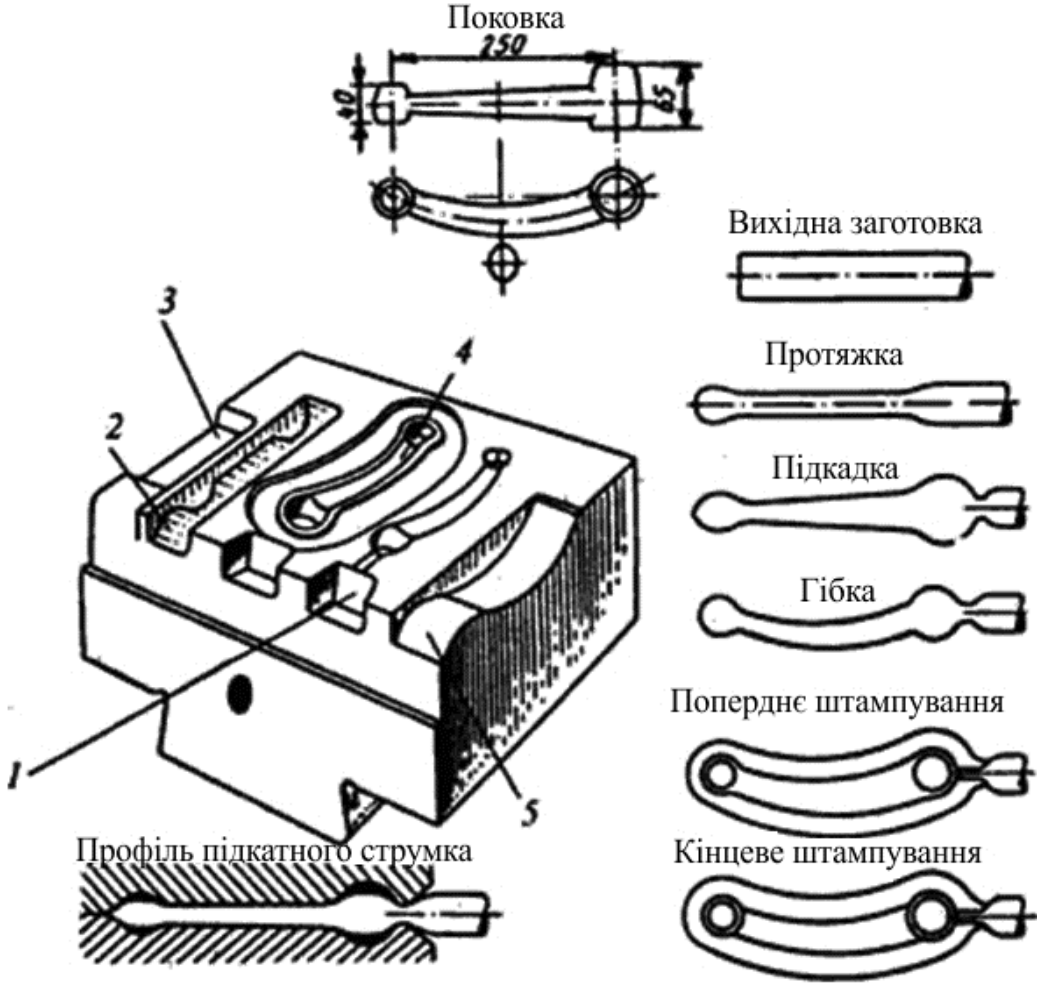
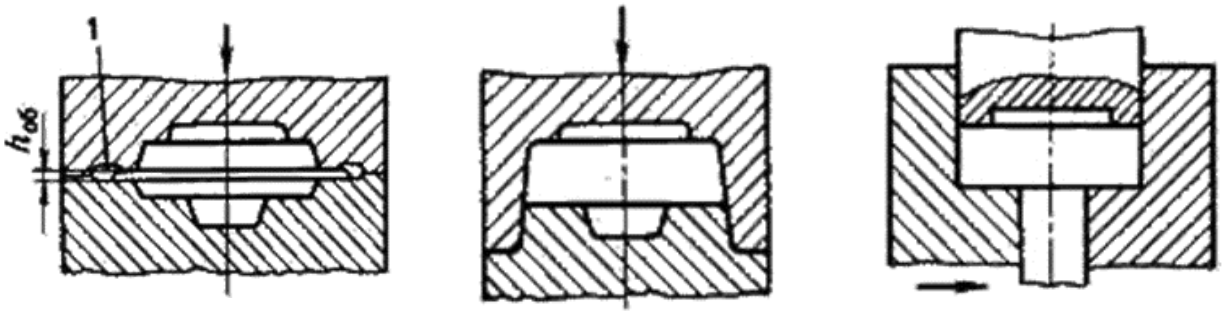


Рис. 9.1. Стадії отримання складної поковки в декількох струмках: 1-черновий струмок; 2-підкатний струмок; 3-протяжний струмок; 4-чистовий струмок; 5-гибочний струмок.

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. 9.2).



а) б) в)

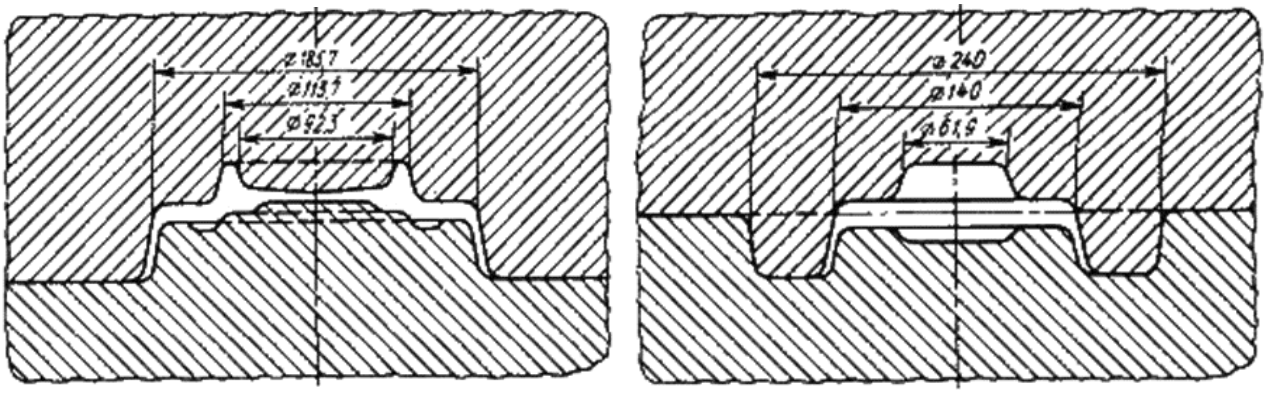
Рис. 9.2. Схеми штампування в відкритих та закритих штампах:

1-облойна канавка

Штампування у відкритих штампах (рис. 9.2, 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. 9.2, 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 штампують. 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. 9.2, 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 бесшаботной конструкції. Шабот замінений рухомою нижньою бабкою, пов'язаної з верхньої 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. 9.3.



а) б)

Рис. 9.3. Конструкції закритих молотових штампів:

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

Штампи 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: *Т4, Т5*. 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 штампу 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 течею 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 штампу. *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. 9.4.

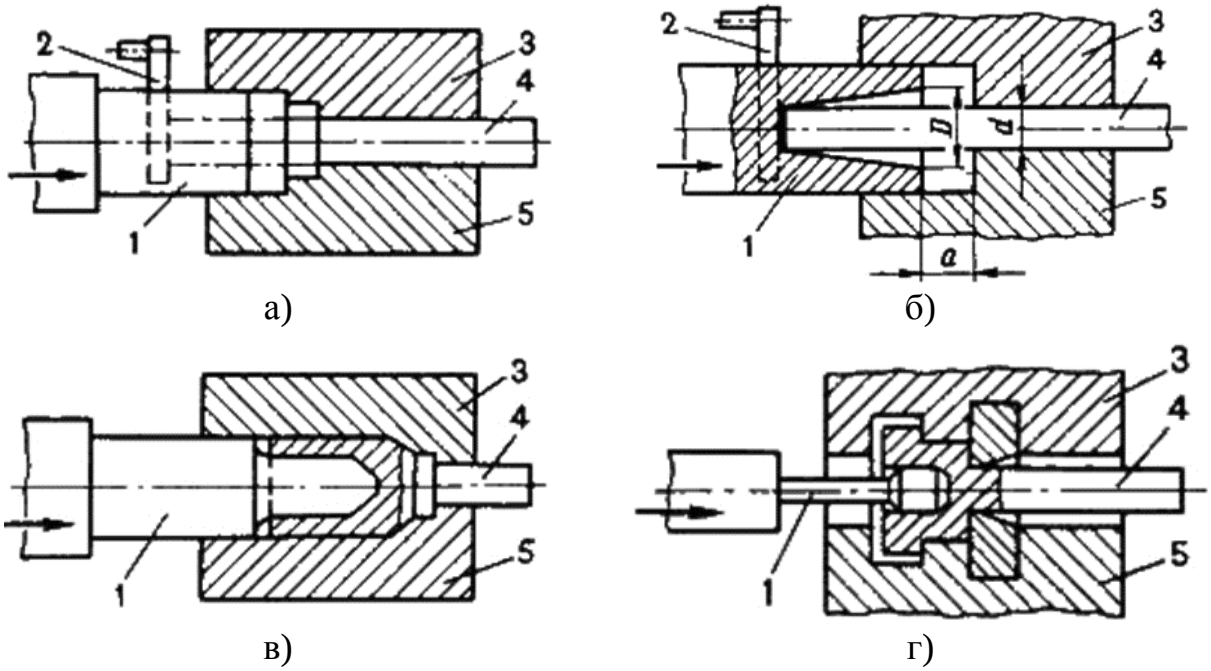
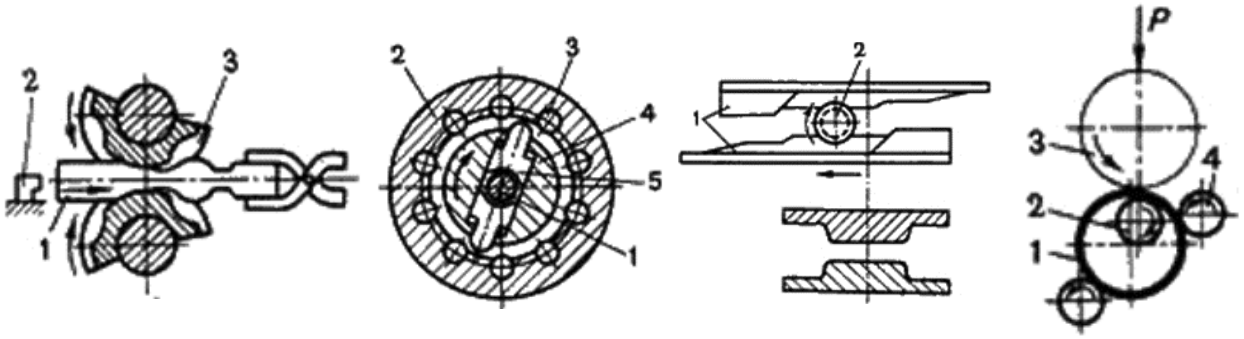


Рис. 9.4. Схема гарячого об'ємного штампування на горизонтально-кувальній машині

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 пруток 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. 9.5, а).



а) б) в) г)

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. 9.5, 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. 9.5, 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 роликом 4, що забезпечує отримання правильної кільцевої форми поковки. Після торкання поковкою контрольного ролика 5 розкатка припиняється. Розкачуванням отримують поковки кілець з поперечними перерізами різної форми зовнішнім діаметром 70...700 мм і шириною 20...180 мм.

3.7. 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. 9.6).

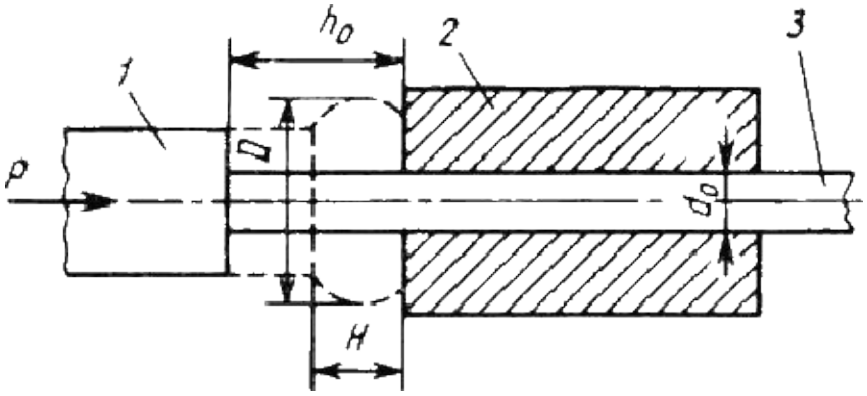


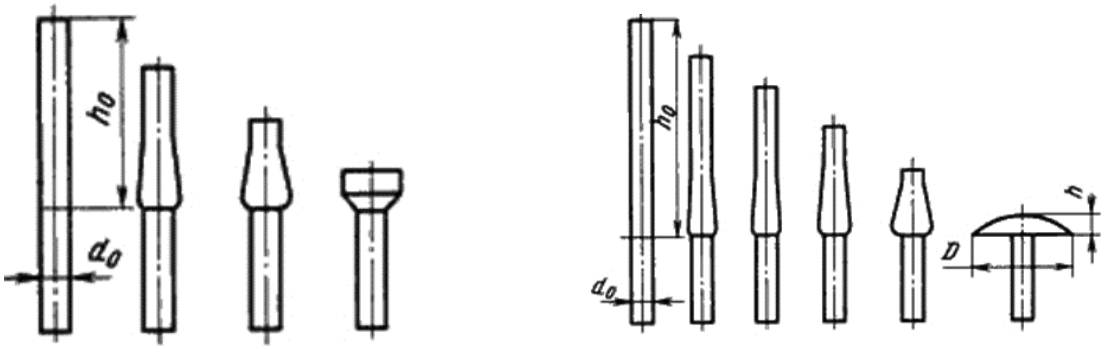
Рис. 9.6. Схема процесу висадки: 1-пуансон; 2-матриця; 3-заготовка.

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 підвергається висадці (h_0) розраховується з урахуванням необхідного об'єму стовщення (V) за формулою (9.1)

$$h_0 = \frac{4 \times V}{\pi \times d_0^{\,2}}, \qquad (9.1)$$

Розрахунок числа переходів проводиться в основному по співвідношенню довжини частини, що підвергається висадці (h_0) до діаметра заготовки (d_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.



а) б)

Рис. 9.7. 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*-формоутворення 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. 9.8). При прямому видавлюванні метал тече з матриці 2 в напрямку, що збігається з

напрямком руху пуансона 1 (рис. 9.8, а; 9.8, 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. 9.8, в) або в порожнистий пуансон для отримання деталей типу стержня із фланцем (рис. 9.8, г). При бічному видавлюванні метал тече в бічні отвори матриці під кутом до напрямку руху пуансона (рис. 9.8, 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. 9.8, д; 9.8, 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.

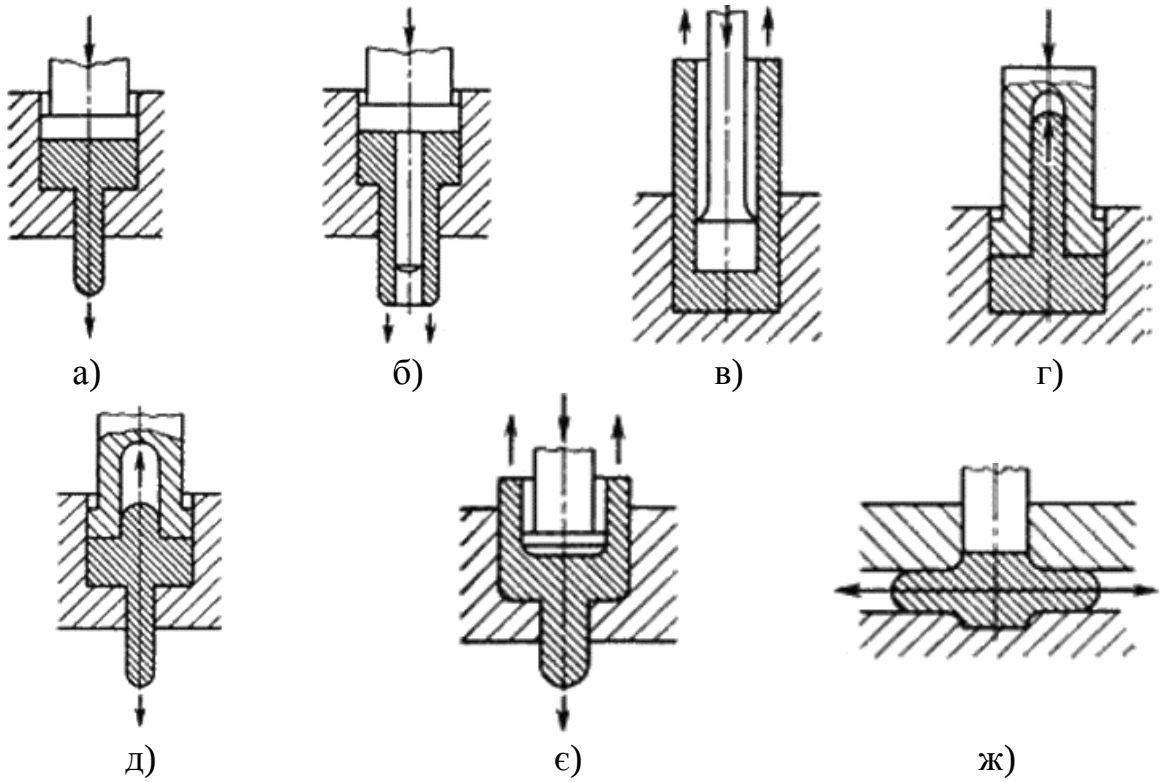
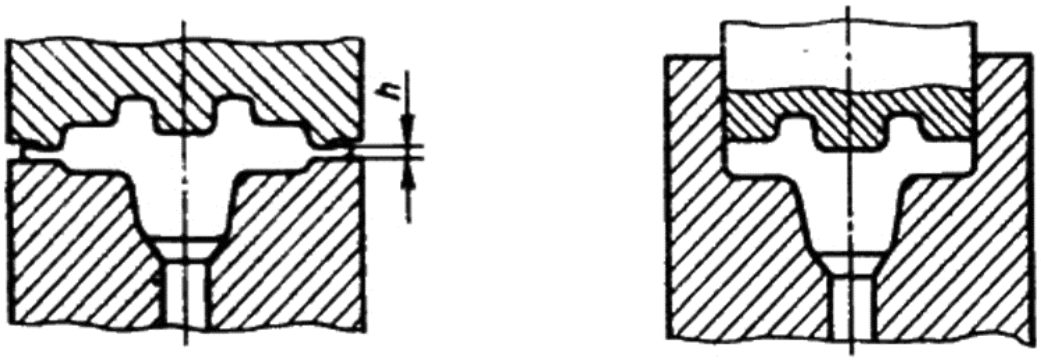


Рис. 9.8. Схеми видавлювання:

а), б)-пряме; в), г)-зворотне; д), є)-комбіноване; ж)-бічне.

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



а) б)

Рис. 9.9. Схеми об'ємної формовки:

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

Вона проводиться у відкритих штампах, де надлишки металу випливають в спеціальну порожнину для утворення облою (рис. 9.9, а), та в закритих штампах, де облой не утворюється (рис. 9.9, 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.

3.8. 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 міліметру (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 й 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. *Відрізка*-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 штампі. 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 z. Зазор z* 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 2*z* менше за них. При пробиванні розмір пуансона дорівнює розмірам отвору, а розміри матриці на більше них.

ЛЕКЦІЯ №10

РОЗДІЛ 4. ОСНОВИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

4.1. 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.

4.2. 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. 10.1).

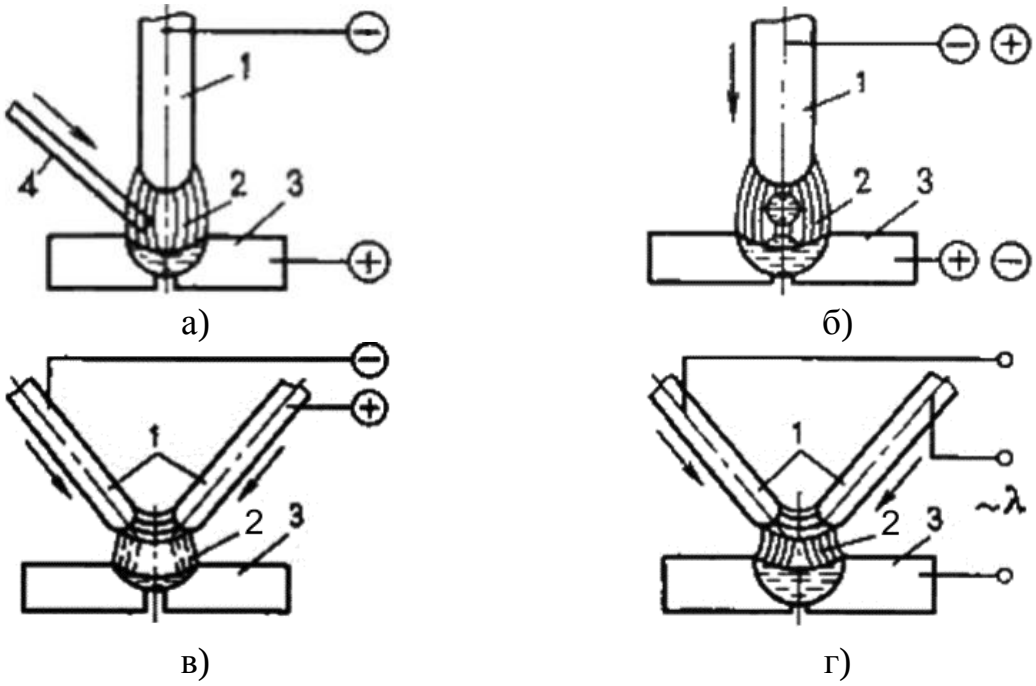


Рис. 10.1. Схеми дугового зварювання

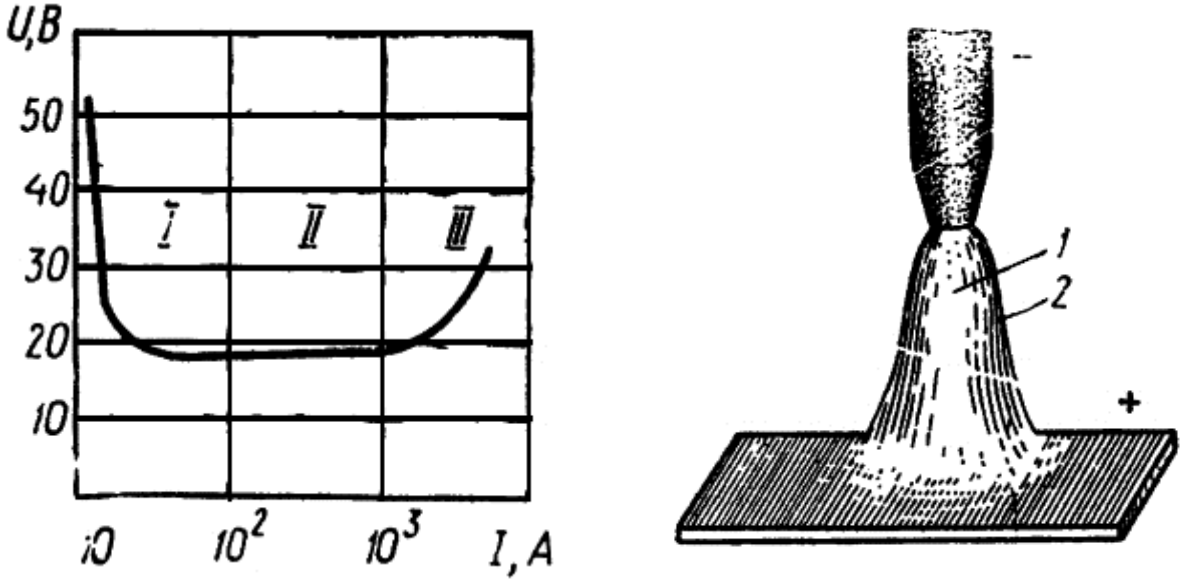
1) Зварювання неплавким (графітовим або вольфрамовим) електродом 1 дугою прямої дії 2, при якому з’єднання виконується шляхом розплавлення лише основного металу 3, або із застосуванням присадочного металу 4 (рис. 10.1, а);

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. 10.1, б);

3) Зварювання непрямою дугою 2, що горить між двома, як правило, не плавкими електродами 1, при цьому основний метал 3 нагрівається та розплавляється теплотою стовпа дуги (рис. 10.1, в);

4) Зварювання трьохфазною дугою 2, при якій дуга горить між кожним електродом 1 та основним металом 3 (рис. 10.1, 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 переміщаються до анода, а позитивні іони до катоду. На поверхні катоду та аноду 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).



а) б)

Рис. 10.2. Статична вольт-амперна характеристика (а) та будова зварювальної дуги (б)

Найбільш широке застосування має дуга з жорсткою характеристикою (рис. 10.2, а, *II*), при якій напруга на дузі не залежить від сили зварювального струму. Дугу із зростаючою характеристикою (рис. 10.2, 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. 10.2, а, *I*) нестійка та має обмежене застосування. Залежність між напругою та довжиною дуги, що має жорстку характеристику, виражається наступною емпіричною формулою (10.1).

$$U_Д = a + bl_Д, \qquad (10.1)$$

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. 10.2, 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°С, 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 (10.2).

$$q = KU_Д I_{ЗВ}(0{,}24KU_Д I_{ЗВ}), \qquad (10.2)$$

де $U_Д$-напруга на дузі, В;

$I_{ЗВ}$-зварювальний струм, А.

К-коефіцієнт несинусоїдальності напруги та струму.

Для постійного струму *К*=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 згоряння. 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 трансформатору. 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).

$$U_P = IR, \qquad (10.3)$$

де 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 вентилі 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, пологу 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.

ЛЕКЦІЯ №11

4.3. Ручне дугове зварювання

Електроди для ручного дугового зварювання. Ручне дугове зварювання виконують зварювальними електродами, які подають вручну в дугу та переміщають 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.

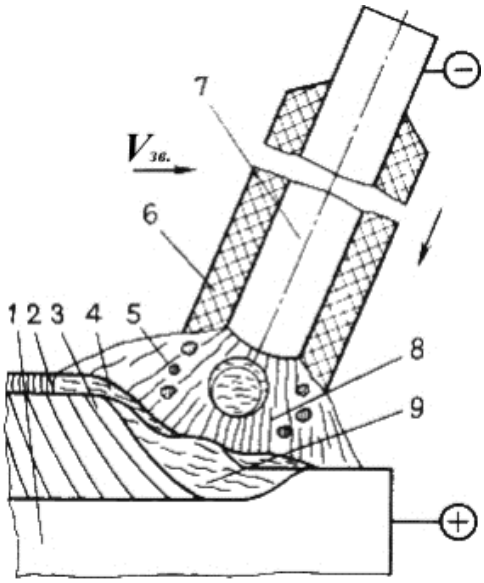


Рис. 11.1. Схема процесу зварювання металевим покритим електродом

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 кліючих (рідке скло), є шлако та газоутворюючи 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, древесну 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.

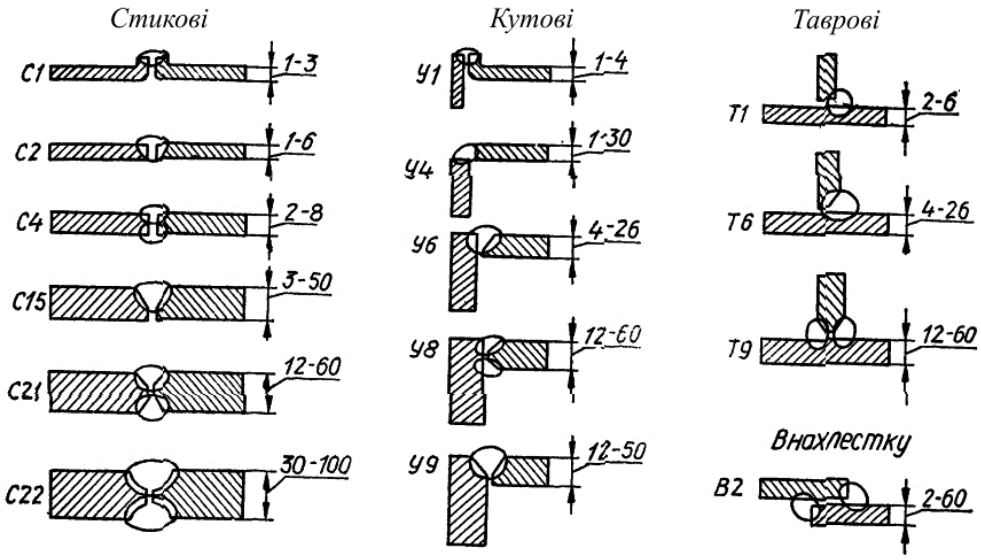


Рис. 11.2. Основні види зварних з'єднань

Стикові з'єднання в залежності від товщини зварювальних листів виконують з відбортовуванням (*С1*), без скосу кромок (*С2*, *С4*), з одностороннім (*С15*) та двостороннім (*С21*) симетричним або несиметричним скосом кромок одного або двох листів. Двосторонній симетричний скос кромок обох листів криволінійної форми (*С22*) 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 кромок 54±6°. Кутові та таврові з'єднання, так само як і стикові, в залежності від товщини листів виконують без скосу кромок (рис. 11.2, *У1*, *У4*, *Т1*), а також з одностороннім (*У6*, *Т6*) та двостороннім (*У8*, *У9*, *Т9*) скосами кромок одного або двох листів. При скосі однієї кромки кут розкриття

становить 50±5°, а при скосі двох кромок 54±6°. З'єднання внахлест (*В2*) 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).

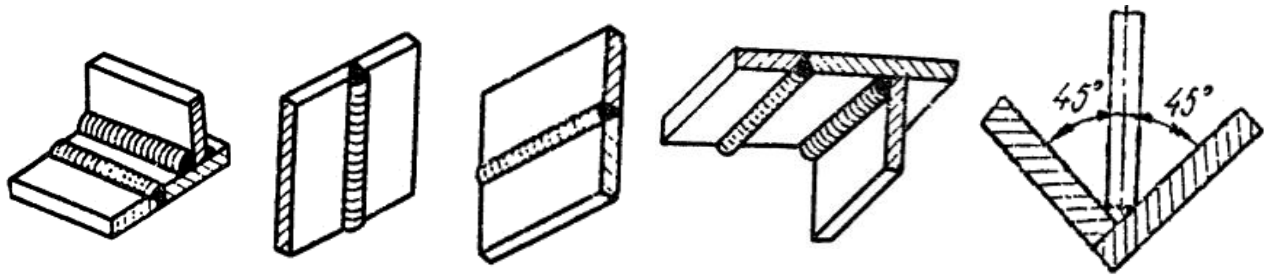
$$I_{зв.} = kd \ , \qquad (11.1)$$

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).



а) б) в) г) д)

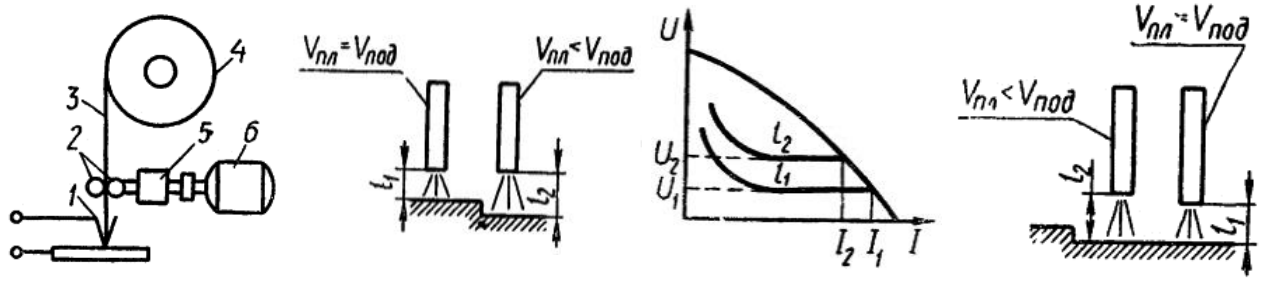
Рис. 11.3. Просторове положення швів

Найбільш зручно зварювати нижні шви, так як розплавлений метал не випливає 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).

4.4. 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.



а) б) в) г)

Рис.11.4. Схеми пристрою зварювального автомату 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 зросте 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 l_1 до l_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 l_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 зростаючої зовнішньої характеристиками та густині струму, що перевищує 50...100 А/мм^2. 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.

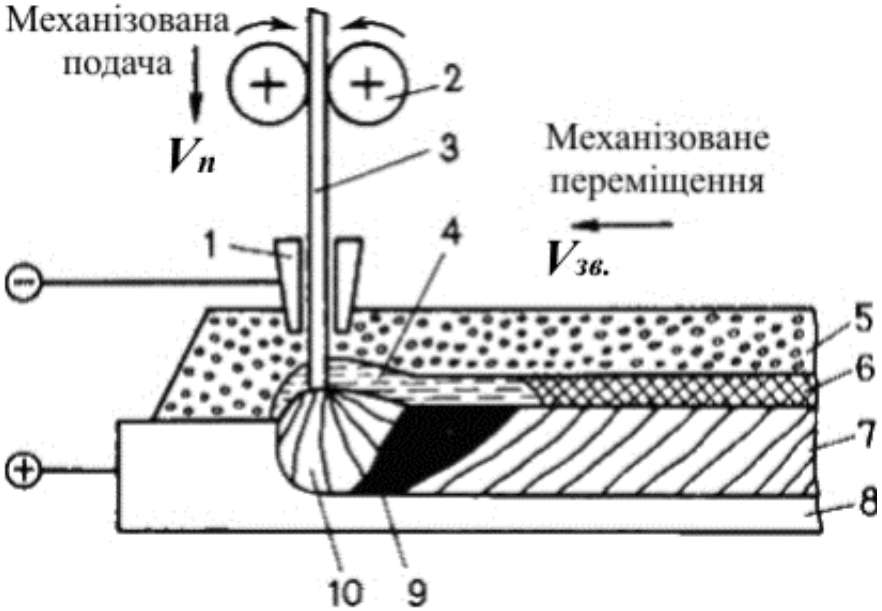


Рис. 11.5. Схема автоматичного дугового зварювання під флюсом

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 ($Si0_2$, MnO, CaF_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

4.5. Електричне контактне зварювання

Сутність процесу та основні види контактного зварювання. Контактне зварювання засноване на розігріві зварюваних виробів джоулевим теплом та механічному стискуванні розігрітих виробів. Відповідно до закону Джоуля-Ленца кількість тепла, що виділяється при проходженні електричного струму в зварюваних деталях та перехідних контактах виражається залежністю (12.1).

$$Q = I_{зв.}^{2} Rt, \qquad (12.1)$$

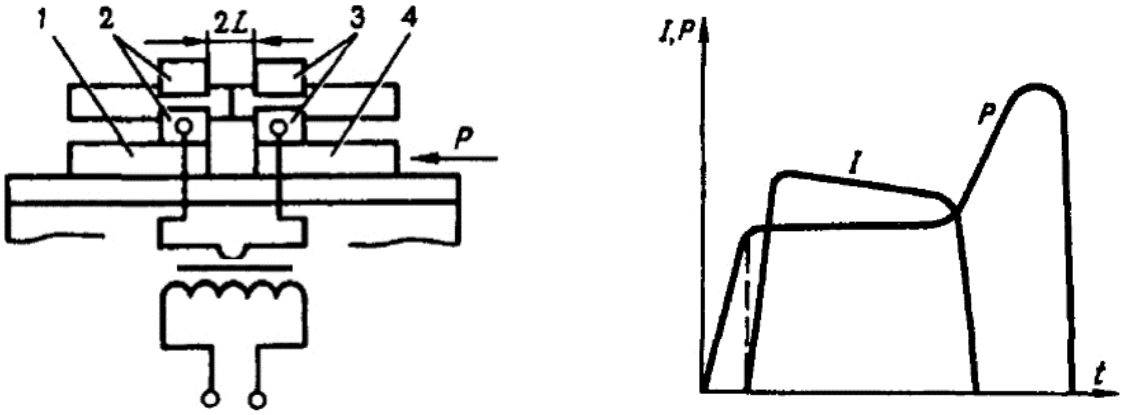
де $I_{зв.}$-сила зварювального струму, А;

R-опір, Ом;

t-час зварювання, с.

Сила зварювального струму при контактному зварюванні досягає десятків та навіть сотень тисяч ампер. Такі струми отримують в понижуючих однофазних зварювальних трансформаторах, що мають у вторинній обмотці найчастіше один виток. Для регулювання зварювального струму первинну обмотку трансформатора ділять на кілька секцій, від яких до перемикача ступенів регулювання зроблено від 4 до 16 відводів. Величина вторинної напруги становить 1...12 В. Збільшуючи або зменшуючи кількість витків первинної обмотки, включених в мережу, змінюють вторинну напругу, а разом з ним і зварювальний струм. Чим менше включено в мережу витків первинної обмотки, тим більші вторинна напруга, первинний та вторинний (зварювальний) струми. Опір місця зварювання залежить від чистоти та стану поверхні зварюваного металу, опору самого металу, величини тиску, що прикладається до зварюваних виробів та від інших факторів. Найбільший опір має місце контакту зварюваних виробів, де і виділяється найбільша кількість тепла. Час зварювання в залежності від товщини та роду зварюваного металу

змінюється від сотих та навіть тисячних часток секунди до декількох хвилин. Коли деталі нагріваються до пластичного стану або до оплавлення, до них прикладається зусилля осадки та деталі зварюються. Основні види контактного зварювання. Існує багато видів та різновидів електричного контактного зварювання. Однак основних способів три: стикове, точкове та шовне. Окрему групу становить зварювання акумульованою енергією. З цієї групи найбільше застосування має конденсаторне зварювання. *Стикове зварювання*. Один з видів контактного зварювання, при якому заготовки зварюються по всій поверхні контакту. Зварювані заготовки закріплюють у затискачах стикової машини (рис. 12.1, а). Затискач 3 встановлено на рухомий плиті 4, яка, переміщається в направляючих, затискач 2 закріплений на нерухомій плиті 1. Зварювальний трансформатор з'єднаний з плитами гнучкими шинами та живиться від мережі через керуючий пристрій. Плити переміщуються і заготовки стискаються під дією сили *P*, яку забезпечує механізм осадки.



а) б)

Рис. 12.1. Схема контактного стикового зварювання (а) та циклограма контактного зварювання опором (б)

Стикове зварювання з розігрівом стику до пластичного стану та подальшою осадкою називають зварюванням *опором*, а при розігріві торців заготовок до оплавлення та подальшою осадкою зварюванням *оплавленням*. Для правильного формування зварного з'єднання необхідно, щоб процес протікав у певній послідовності. Спільне графічне зображення струму та тиску, що змінюються в процесі зварювання в часі, називають *циклограмою зварювання*. Циклограма контактного зварювання опором представлена на рис. 12.1, б. Заготовки здавлюються силою *P*, включається струм, метал

розігрівається до пластичного стану, потім заготовки знову здавлюють виробляють осадку, одночасно відключаючи струм. Перед стиковим зварюванням опором заготовки повинні бути очищені від оксидних плівок та торці їх щільно підігнані один до одного попередньою механічною обробкою. Параметрами режиму контактного стикового зварювання опором є густина струму j (А/мм^2), сила стиснення торців заготовки P (Н) та час протікання струму t (с), який визначають побічно через величину осадки, яка залежить від установочної довжини L. Установочну довжину L називають відстань від торця заготовки до внутрішнього краю електроду стикової машини, виміряну до початку зварювання. Вона залежить від теплофізичних властивостей металу, конфігурації стику та розмірів заготовки. Типи зварних з'єднань, виконаних стиковим зварюванням опором, представлені на рис. 12.2.

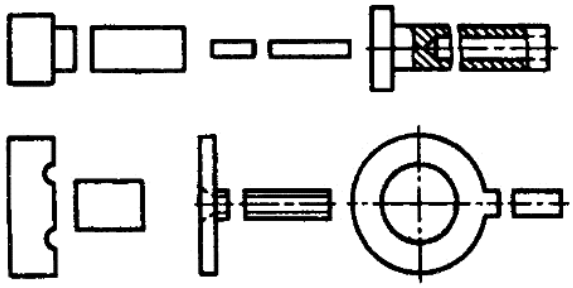


Рис. 12.2. Типи зварних з'єднань, виконаних стиковим зварюванням опором

Цим способом з'єднують заготовки малого перерізу (до 100 мм^2), так як при більших перерізах нагрів буде нерівномірним. Перерізи з'єднувальних заготовок повинні бути однаковими за формою та з простою геометричною конфігурацією (коло, квадрат, прямокутник з невеликим відношенням сторін). Зварюванням опором можна зварювати низьковуглецеві, низьколеговані конструкційні сталі, алюмінієві сплави. Стикове зварювання оплавленням має два різновиди: безперервним та переривчастим оплавленням. При безперервному оплавленні між заготовками, встановленими в електродах машини, залишають зазор, підключають джерело струму та рівномірно зближують заготовки. Доторкання відбувається на початку по окремих невеликих майданчиках, через які протікає струм високої густини. При цьому під дією магнітного поля розплавлений та киплячий метал викидається назовні. Після досягнення рівномірного оплавлення всій поверхні стику заготовки

осаджують. Циклограма зварювання безперервним оплавленням показана на рис. 12.3. При переривчастому оплавленні затиснуті заготовки зближують, приводять їх у короткочасне доторкання та знову відводять на невелику відстань. Швидко повторюючи одне за іншим доторкання та роз'єднання, виконують оплавлення всього перерізу.

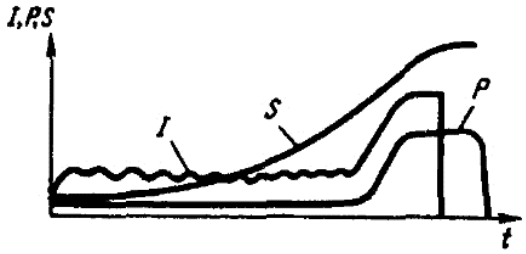


Рис. 12.3. Циклограма контактного стикового зварювання оплавленням: *S*-переміщення плити, мм; *P*-сила стискання заготовок; *I*-зварювальний струм.

Потім вимикають струм та здавлюють заготовку. Під тиском частина розплавленого металу разом з оксидами видавлюється із зони зварювання. Зварювання оплавленням має переваги перед зварюванням опором. У процесі оплавлення вирівнюються всі нерівності стику, а оксиди та забруднення видаляються, тому не потрібно особливої підготовки місця з'єднання. Можна зварювати заготовки з перерізом складної форми, а також заготовки з різними перерізами, різнорідні метали (швидкорізальної та вуглецевої сталі, мідь та алюміній та ін.). Типи зварних з'єднань, виконуваних стиковим зварюванням оплавленням, представлені на рис. 12.4.

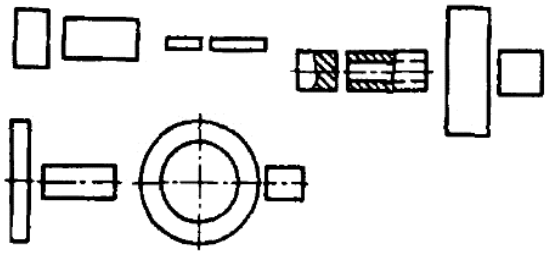


Рис. 12.4. Типи зварних з'єднань, виконаних стиковим зварюванням оплавленням

Найбільш розповсюдженими виробами, виготовленими стиковим зварюванням, служать елементи трубчастих конструкцій, колеса та кільця, інструмент, рейки та ін. *Точкове зварювання*. Різновидність контактного зварювання, при якому заготовки з'єднуються в окремих точках. При точковому зварюванні заготовки збирають внахлест та стискають силою *P* між

двома електродами, що підводять струм до місця зварювання (рис. 12.5). Стикаючись з мідними електродами зовнішні поверхні зварювальних заготовок нагріваються повільніше ніж їхні внутрішні шари. Нагрівання продовжують до пластичного стану зовнішніх та до розплавлення внутрішніх шарів. Після цього вимикають струм та трохи збільшують, а потім знімають тиск. В результаті утворюється лита зварна точка.

а) б)

Рис. 12.5. Схеми контактного точкового зварювання

Точкове зварювання в залежності від розташування електродів по відношенню до зварюваних заготовок може бути двостороннім та одностороннім. При двосторонньому зварюванні (рис. 12.5, а) дві (або більше) заготовки 1 стискають між електродами 2 точкової машини. При односторонньому зварюванні (рис. 12.5, б) струм розподіляється між верхнім та нижнім листами 3 та 4, причому нагрів здійснюється частиною струму, що протікає через нижній лист. Для збільшення струму, що проходить через нижній лист, передбачена мідна підкладка 5. Одностороннім зварюванням можна з'єднувати заготовки одночасно двома точками. Параметри режиму точкового зварювання: сила стискання P (Н), густина струму j (А/мм^2), час протікання струму t (с). На рис. 12.6 показана одна із застосовуваних циклограм точкового зварювання.

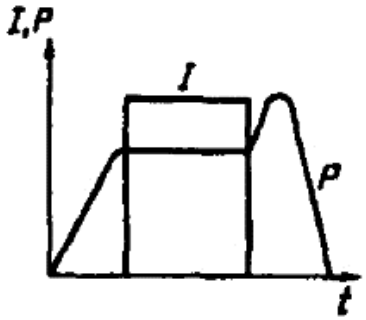


Рис. 12.6. Циклограма контактного точкового зварювання

Весь цикл зварювання складається з чотирьох стадій: стиснення зварюваних заготовок між електродами; включення струму та розігріву місця контакту до температури плавлення, що супроводжується утворенням литого ядра точки; вимикання струму та збільшення стиснення (проковка) для поліпшення структури зварної точки; зняття стиснення. Перед зварюванням місце з'єднання очищають від оксидних плівок (наждачним кругом або травленням). Типи зварних з'єднань, виконуваних точковим зварюванням, показані на рис. 12.7.

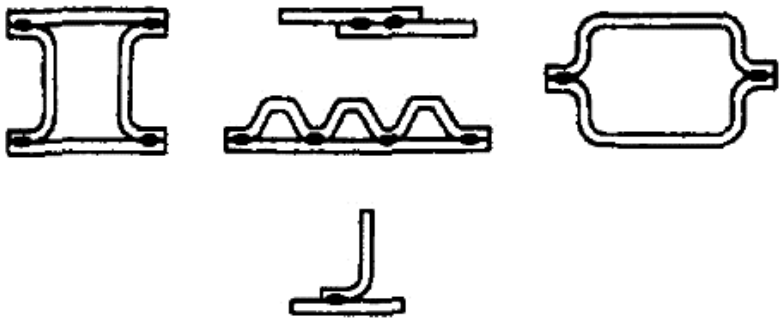
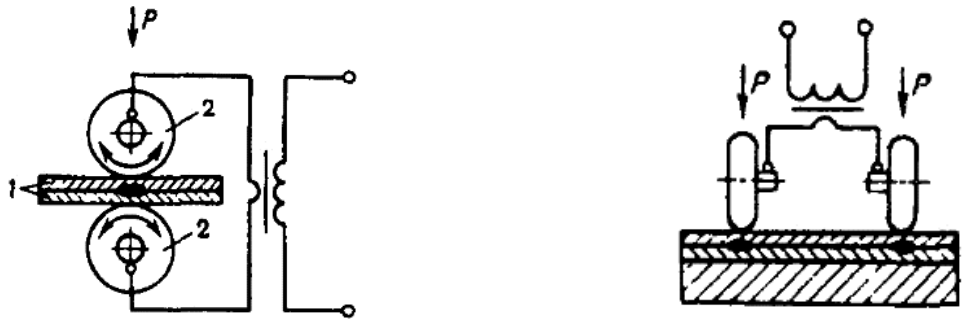


Рис. 12.7. Типи зварних з'єднань, які виконують точковим зварюванням

Точковим зварюванням виготовляють штампо-зварні конструкції при з'єднанні окремих штампованих елементів зварними точками. У цьому випадку спрощується технологія виготовлення зварних вузлів та підвищується продуктивність. Точкове зварювання застосовують для виготовлення виробів з низьковуглецевих, вуглецевих, низьколегованих та високолегованих сталей, алюмінієвих сплавів. Товщина зварюваних металів становить 0,5...5 мм. *Багатоточкове контактне зварювання*-різновидність контактного зварювання, коли за один цикл зварюється кілька точок. Багатоточкове зварювання виконують за принципом однобічного точкового зварювання. Машини для багатоточкового зварювання можуть мати від однієї пари до 100 пар електродів; відповідно, можна зварювати 2...200 точок за одну установку виробу. Багатоточковим зварюванням зварюють одночасно та послідовно. У першому випадку всі електроди відразу притискають до виробу, що забезпечує менше викривлення та велику точність збирання. Струм розподіляється між притиснутими електродами спеціальним струморозподілювачем, що включає електроди попарно. У другому випадку пари електродів опускають по черзі або одночасно, а струм підключають по черзі до кожної пари електродів від зварювального трансформатора. У масовому виробництві, наприклад в

автомобільній промисловості, застосовують, як правило, машини, що працюють за заданою програмою. Продуктивність їх дуже висока до 1000 та більше точок у хвилину. *Шовне зварювання*. Різновидність контактного зварювання, при якому між зварюваними заготовками утворюється міцне та щільне з'єднання. Електроди виконують у вигляді плоских роликів, між якими пропускають зварювані заготовки. У процесі шовного зварювання листові заготовки 1 збирають внахлест, затискають між електродами 2 (рис. 12.8) та пропускають струм.



а) б)

Рис. 12.8. Схеми шовного зварювання

При русі роликів із заготовок утворюються перекриваючи один одне зварні точки, в результаті чого виходить суцільний герметичний шов. Шовне зварювання, як і точкове, можна виконати при двосторонньому (рис. 12.8, а) та односторонньому (рис. 12.8, б) розташуваннях електродів. Послідовність етапів технологічних операцій спочатку та по завершенні процесу зварювання така ж, як і при точковому. Зварювання по циклограмі з безперервним включенням струму (рис. 12.9, а) застосовують для коротких швів і зварювання металів і сплавів, не схильних до зростання зерна і не зазнає помітних структурних перетворень при перегріві околошовної зони (низьковуглецевих і низьколегованих сталей).

а) б)

Рис. 12.9. Циклограми шовного зварювання: *P*-зусилля стискання; *S*-переміщення роликів; *I*-зварювальний струм; *t*-час.

Циклограма з переривчастим включенням струму (рис. 12.9, б) забезпечує стабільність процесу та високу якість зварного з'єднання при невеликій зоні термічного впливу. Даний метод зварювання використовують при зварюванні довгих швів на заготовках з високолегованих сталей та алюмінієвих сплавів. Шовне контактне зварювання дуже високопродуктивний процес, швидкість його може досягати 10 м/хв. Особливо ефективне його застосування в масовому виробництві листових конструкцій для отримання міцних та герметичних швів, наприклад при виготовленні ємностей. Допустима товщина зварюваних заготовок 0,3...3 мм. *Обладнання для контактного зварювання*. Контактне зварювання виконують за допомогою спеціальних контактних машин. Контактні машини в залежності від типу виконуваного на них з'єднання підрозділяють на стикові, точкові і шовні. Контактна машина складається з трьох основних частин: джерела струму, переривника струму та механізму стискання. Електрична схема контактних машин включає трансформатор, переривник струму та перемикач ступенів потужності (рис. 12.10).

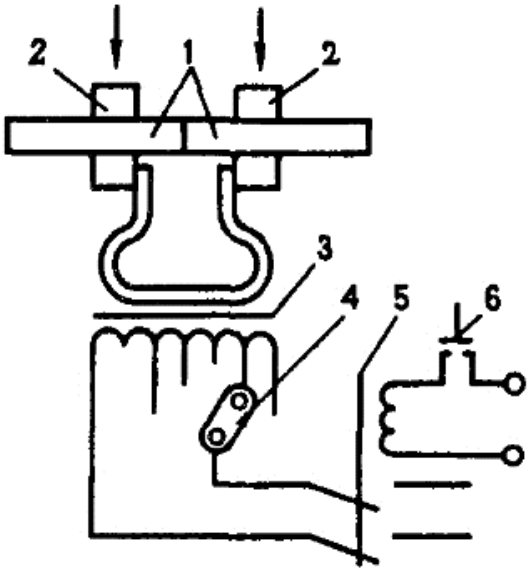


Рис. 12.10. Електричка схема контактної машини

Первинну обмотку трансформатору підключають до мережі з напругою 220...380 В; її виготовляють секційною для зміни числа робочих витків при перемиканні ступені потужності. Вторинна обмотка трансформатору складається з одного або двох витків (вторинна напруга 1…12 В). Сила вторинного струму складає 1000…100000 А.

ЛЕКЦІЯ №13

4.6. Газове зварювання

При газовому зварюванні заготовку 1 та присадочний матеріал 2 у вигляді прутка або дроту розплавляють високотемпературним полум'ям 4 газового пальника 3 (рис. 13.1). Газове полум'я одержують при згорянні пального газу в атмосфері технічно чистого кисню. Кисень, який використовується для зварювальних робіт, поставляють до місця використання в сталевих балонах під тиском 15 мПа.

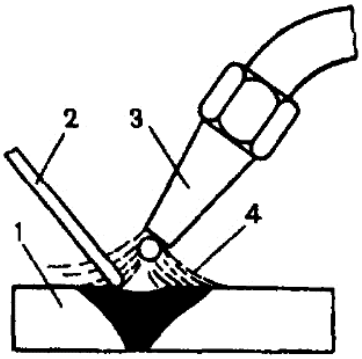


Рис. 13.1. Схема газового зварювання

Кисневий балон (рис. 13.2) являє собою сталевий циліндр з сферичним днищем 6 та горловиною 4 для кріплення запорного вентилю 2. На нижню частину балона насаджують башмак 5, що дозволяє ставити балон вертикально. На горловині є кільце 3 з різьбою для накручення захисного ковпака 1.

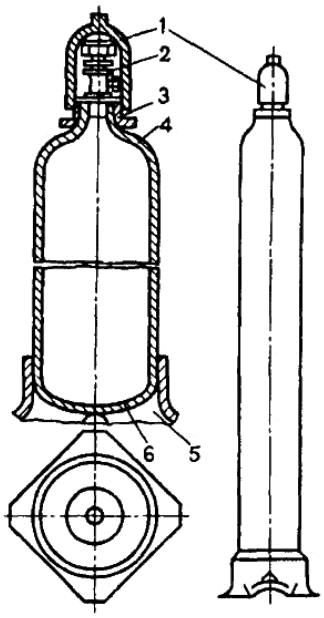


Рис. 13.2. Конструкція кисневого балону: 1-захисний ковпак; 2-запорний вентиль; 3-кільце; 4-горловина; 5-башмак; 6-днище балону.

Середня рідинна місткість балону до 40 дм^3. При тиску 15 мПа він вміщує 6000 дм^3 кисню. Кисневі балони фарбують у блакитний колір з чорним написом «Кисень». Для зниження та підтримки постійного робочого тиску газу на виході з балона застосовують газові редуктори. Кисневі редуктори знижують тиск від 15 до 0,1 мПа, а ацетиленові від 1,6 до 0,02 мПа. Редуктори, які застосовуються в зварювальній техніці, зазвичай мають два манометри, один з яких вимірює тиск газу до входу в редуктор, інший на виході з нього. Корпус редуктора фарбують в певний колір, наприклад блакитний для кисню, білий для ацетилену та ін. До зварювального пальника кисень від редуктора подають через спеціальні гумові шланги. В якості горючих газів окрім ацетилену можна також застосовувати природні гази, водень, пари бензину та гасу, нафтові гази та ін. Перераховані горючі гази можуть бути використані головним чином для кисневого різання, що не вимагає високої температури полум'я. Ацетилен має велику теплоту згорання в порівнянні з іншими горючими газами та високу температуру полум'я (3200°С), тому він більш кращий для газового зварювання. Ацетилен (C_2H_2) горючий газ з теплотою згорання 54 кДж/м^3. Його отримують в спеціальних апаратах *газогенераторах*-при взаємодії води з карбідом кальцію:

$$CaC_2+2H_2O \rightleftarrows Ca\,(OH)_2+C_2H_2+Q$$

При розкладанні 1 кг карбіду кальцію утворюється 250...300 дм^3 ацетилену. Ацетилен вибухонебезпечний при надлишковому тиску понад 0,175 мПа, добре розчиняється в ацетоні (в одному об'ємі ацетону при тиску 0,15 мПа розчиняється 23 об'єму ацетилену). Останню властивість використовують для його безпечного зберігання в балонах. Ацетиленові балони фарбують у білий колір та роблять на них червоною фарбою напис «Ацетилен». Їх конструкція аналогічна конструкції кисневих балонів. Тиск ацетилену в балоні 1,5 мПа. В балоні знаходяться пориста маса (активоване вугілля) та ацетон. Розчинення ацетилену в ацетоні дозволяє помістити в невеликому об'ємі велику кількість ацетилену. Розчинений в ацетоні ацетилен пропитує пористу масу та стає безпечним. Зварювальні пальники використовують для утворення зварювального полум'я. У промисловості найбільш поширений інжекторний пальник, так як він найбільш безпечний та працює на низькому та середньому тисках (рис. 13.3).

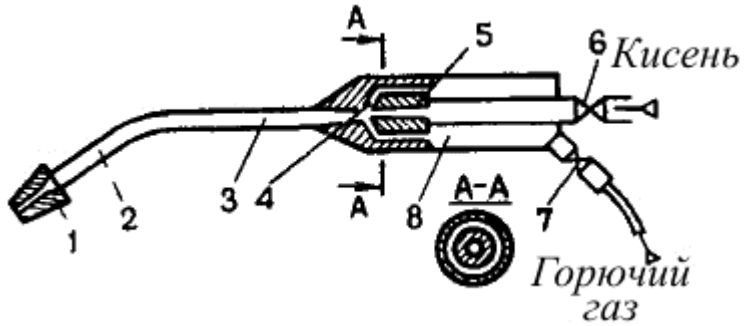


Рис. 13.3. Схема газового пальника: 1-мундштук; 2-наконечник; 3-камера змішування; 4-інжекторна камера; 5-інжектор; 6-кисневий вентиль;7-ацителеновий вентиль; 8-ацителеновий канал.

У інжекторного пальника кисень під тиском 0,1...0,4 мПа через регулювальний вентиль 6 подається до інжектору 5. Виходячи з великою швидкістю з вузького каналу інжекторного конуса, кисень створює значне розрідження в камері 4 та втягує горючий газ, що надходить через вентиль 7 в ацетиленові канали пальника 8 та камеру змішування 3, де утворюється горюча суміш. Потім горюча суміш поступає по наконечнику 2 до мундштука 1, на виході з якого при згоранні утворюється зварювальне полум'я. Пальники цього типу мають змінні наконечники з різними діаметрами вихідних отворів інжектора та мундштука, що дозволяє регулювати потужність ацетиленокисневого полум'я. Зазвичай пальники мають сім номерів змінних наконечників. Зварювальне полум'я утворюється в результаті згорання ацетилену, що змішується в певних пропорціях з киснем в зварювальних пальниках. Ацетиленокисневе полум'я складається з трьох зон (рис. 13.4): ядра полум'я 1, середньої зони 2 та факелу полум'я 3. У зоні 1 відбувається поступовий нагрів до температури загорання газової суміші, що надходить з мундштука, в зоні 2 відбувається перша стадія горіння ацетилену за рахунок кисню, який надходить з балону:

$$C_2H_2+O_2 \rightleftarrows 2CO+H_2$$

Зона 2, яка має найвищу температуру та має відновлювальні властивості, називається зварювальною, або робочою зоною. У зоні 3 (факелі) протікає друга стадія горіння ацетилену за рахунок атмосферного кисню:

$$2CO+H_2+3/2O_2=2CO_2+H_2O$$

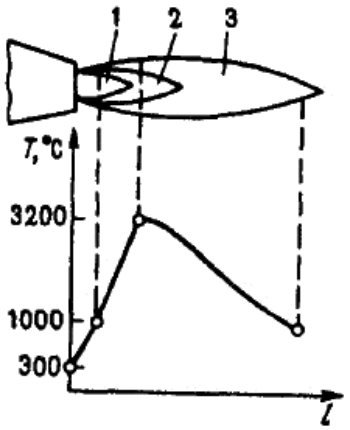


Рис. 13.4. Газозварювальне полум’я

Пари води та CO_2 при високих температурах окислюють метал, тому цю зону називають окислювальною. Зварювальне полум’я називається нормальним, коли співвідношення $O_2/C_2H_2 \approx 1{,}1$. Нормальним полум’ям зварюють більшість сталей. При збільшенні вмісту кисню ($O_2/C_2H_2 > 1{,}1$) полум’я набуває блакитного відтінку та має загострену форму ядра. Таке полум’я має окислювальні властивості та може бути використане тільки при зварюванні латуні. У цьому випадку надлишковий кисень утворює з цинком, що міститься в латуні, тугоплавкі оксиди, плівка яких перешкоджає подальшому випаровуванню цинку. При збільшенні вмісту ацетилену ($O_2/C_2H_2 < 1{,}1$) полум’я насичується вуглецем та застосовується для зварювання чавуну та кольорових металів, так як в цьому випадку компенсується вигорання вуглецю та відновлюються оксиди кольорових металів. Для газового зварювання сталей присадочний дріт вибирають залежно від складу сплаву зварюваного виробу. Для зварювання чавуну застосовують спеціальні литі чавунні стержні; для наплавлення зносостійких покриттів литі стержні з твердих сплавів. Для зварювання кольорових металів та деяких спеціальних сплавів використовують флюси, які можуть бути у вигляді порошків та паст; для зварювання міді та її сплавів кислі флюси (буру та буру з борною кислотою); для зварювання алюмінієвих сплавів безкисневі флюси на основі фтористих, хлористих солей літію, калію, натрію та кальцію. Роль флюсу розчинення оксидів та утворення шлаків, легко спливаючих на поверхню зварювальної ванни. Під флюси можна вводити елементи, розкисляючи та легуючі наплавлений метал. При газовому зварюванні заготовки нагріваються

більш плавно, ніж при дуговому; це і визначає основні області його застосування: для зварювання металів малої товщини (0,2...3 мм); легкоплавких кольорових металів та сплавів; для металів та сплавів, що вимагають поступового нагрівання та охолодження, наприклад інструментальних сталей, чавуну, латуней; для пайки та робіт по наплавленню; для підварки дефектів у чавунних та бронзових відливків. При збільшенні товщини металу продуктивність газового зварювання різко знижується, зварювані вироби значно деформуються. Це обмежує застосування газового зварювання.

4.7. Термічне різання металів

Газокисневе різання. При кисневому різанні відбувається локальне спалювання металу в струмені кисню та видалення цим струменем оксидів, які утворилися. При горінні заліза в кисні виділяється значна кількість теплоти:

$$3Fe+2O_2=Fe_3O_4+Q$$

Для початку горіння метал підігрівають до температури його запалення в кисні (наприклад, сталь до 1000...1200°С). На рис. 13.5 показаний процес кисневого різання.

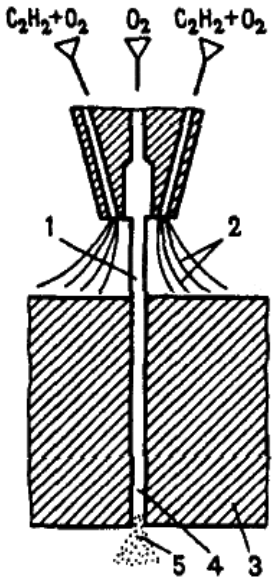


Рис. 13.5. Схема кисневого різання:

1-ріжучий кисень; 2-підігріваюче полум’я; 3-заготовка; 4-різ; 5-оксиди.

Метал 3 нагрівається в початковій точці різу підігріваючим полум’ям 2, потім направляється струмінь ріжучого кисню 1, та нагрітий метал починає горіти. Горіння металу супроводжується виділенням теплоти, яка разом з

підігріваючим полум'ям розігріває нижче розташовані шари на всю товщину металу. Утворені оксиди 5 розплавляються та видуваються струменем ріжучого кисню із зони різу 4. Конфігурація переміщення струменя відповідає заданій формі вирізаного виробу. Для забезпечення нормального процесу різання метал повинен мати наступні властивості: температура його плавлення повинна бути вище температури горіння в кисні, а температура плавлення оксидів металу нижче температури його плавлення; кількість теплоти, що виділяється при згоранні металу в кисневому струмені, повинна бути достатньою для підтримки безперервного процесу різання; мати відносно низьку теплопровідність, в іншому випадку теплота інтенсивно відводиться і процес різання переривається; утворюються оксиди повинні бути достатньо рідкотекучими та легко видуватися струменем ріжучого кисню. Зазначеним вимогам відповідають залізо, низьковуглецеві та низьколеговані сталі. За характером та напрямком кисневого струменя розрізняють наступні способи різання. *Розділювальне різання*-ріжучий струмінь спрямований нормально до поверхні металу та прорізає його на всю товщину. Розділювальною різкою розкроюють листову сталь, розрізають профільний матеріал, вирізають косинки, круги, фланці та ін. *Поверхневе різання*-ріжучий струмінь спрямований під дуже малим кутом до поверхні металу (майже паралельно їй) та забезпечує грубе його строжіння або обдирання. Цим способом видаляють поверхневі дефекти відливків. Різка може бути ручною та механізованою. Ручне різання внаслідок нерівномірності переміщення різака та вібрації ріжучого струменя не забезпечує високої якості різу, тому поверхню різу зазвичай механічно обробляють. Для отримання різу високої якості застосовують машинну різку, яка забезпечує рівномірне переміщення різака по довжині різу, строгу перпендикулярність ріжучого струменя до розрізаючої поверхні та постійну відстань мундштука від поверхні металу. Машинну різку виконують спеціальними автоматами та напівавтоматами з одним або декількома різаками, а при вирізці прямолінійних та криволінійних фасонних заготовок застосовують металеві копіри. Звичайною кисневою різкою розрізають метали товщиною 5...300 мм. При різанні металу товщиною більше 300 мм

застосовують спеціальні різаки. *Дугове різання*. Різку плазмовим струменем, плазмовою дугою та лазерну різку можна застосовувати практично для всіх матеріалів. При розділювальному різанні плазмовим струменем сопло плазмотрона розташовують у безпосередній близькості (1,5...2 мм) від поверхні заготовки та виробляють локальне виплавляння або спалювання матеріалу. Ширина різу при цьому досить незначна 1...2 мм, шорсткість може становити R_Z 30...40. Плазмовим струменем, отриманим в стовпі дугового розряду незалежної дуги, розрізають діелектричні матеріали (наприклад, кераміку), тонкі сталеві листи, алюмінієві та мідні сплави, жароміцні сплави та ін. При плазмовому різанні використовують аргон, його суміш з воднем, повітря та інші гази. Для різання струмопровідних матеріалів великої товщини з метою збільшення ефективної теплової потужності використовують плазмову дугу, поєднану з плазмовим струменем. Цим способом розрізають товсті листи алюмінію та його сплави (до 80...120 мм), високолеговану сталь та мідні сплави. Швидкість різання плазмовою дугою при інших рівних умовах вище швидкості різання плазмовим струменем. Плазмове різання можна проводити вручну; однак найчастіше застосовують автоматизовані пристрої, а для різання по складному контуру системи з ЧПК. Велике поширення набуває лазерна різка, яка забезпечує невелику зону нагріву (0,1...0,2 мм), незначні ширину різу (0,2...0,8 мм), шорсткість (R_Z 20...35 мкм) та практично неокислені кромки. У порівнянні з механічними методами лазерна різка забезпечує високу продуктивність при розкрої матеріалу як для простих, так й для складних контурів, причому при цьому не відбувається зношування інструменту, в порівнянні з механічними методами різання. У порівнянні з фізикохімичними методами розділення (ацетиленокисневе, плазмове різання) застосування лазерного випромінювання забезпечує більш високі точність та чистоту різу, тобто виключає необхідність додаткової механічної обробки. Електроерозійне розділення матеріалів забезпечує аналогічні якість та точність, але в порівнянні з лазерним воно малопродуктивне. Застосування лазерного випромінювання вперше створило реальні умови для забезпечення процесу термічного розділення будь-яких матеріалів як металів, так і неметалів.

ЛЕКЦІЯ №14

РОЗДІЛ 5. ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ (ОМР)

5.1. Теоретичні основи ОМР

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 ($D_Г$) приймають рух, який визначає швидкість деформування матеріалу та відділення стружки, рух *подачі* (D_S) 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 (V_S). 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. 14.1).

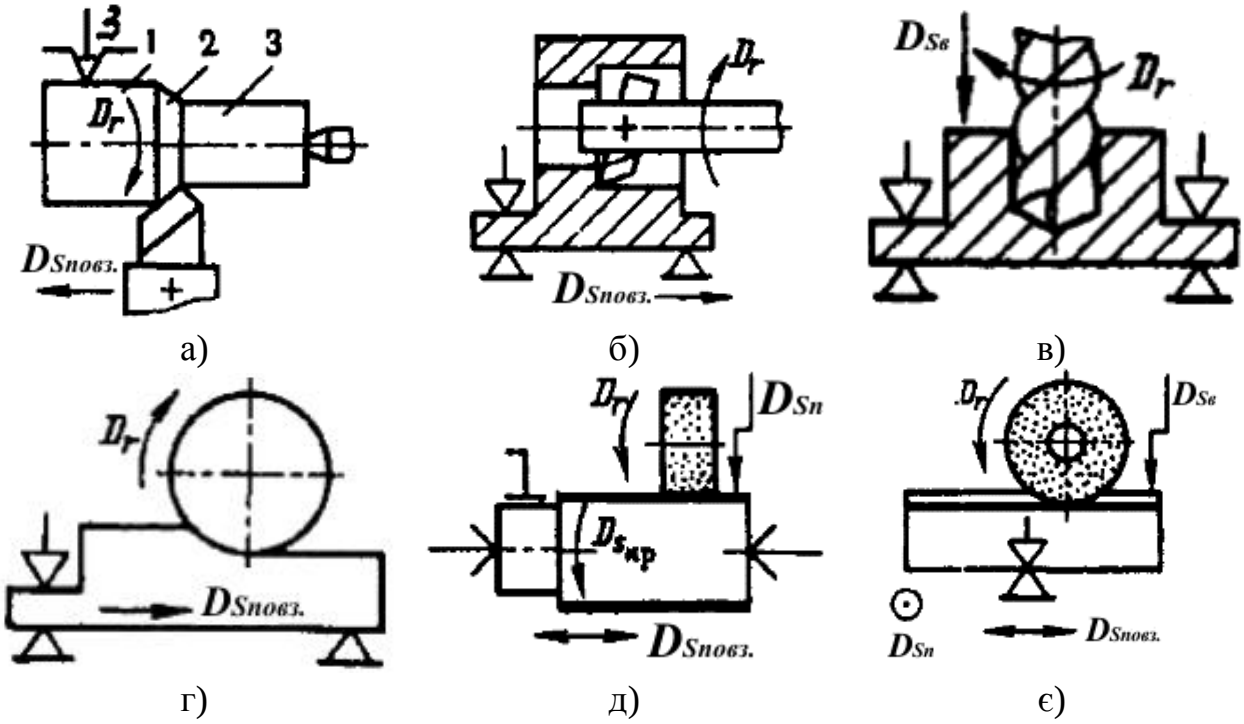


Рис. 14.1. Схеми обробки заготовок: а)-точіння; б)-розточування; в)-свердління; г)-фрезерування; д)-шліфування на круглошліфувальному верстаті; є)-шліфування на плоскошліфувальному верстаті.

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. 14.1, 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 (14.1).

$$V = \frac{\pi D_{заг.} n}{1000 \times 60}, \qquad (14.1)$$

де $D_{заг.}$-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).

$$V = \frac{L * m(k+1)}{1000 \times 60}, \qquad (14.2)$$

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 (*S*) 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 t 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).

$$t = \frac{D_{заг.} - d}{2}, \qquad (14.3)$$

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. 14.2 показані два послідовних положення різця відносно заготовки за час одного повного її обороту. Різець зрізає з заготовки матеріал площею поперечного перерізу f_{ABCD}, яка називається номінальною площею зрізу f_H, мм^2. Для різців з прямолінійною ріжучою кромкою залежність (14.4).

$$f_H = f_{ABCD} = tS_{повз.}, \qquad (14.4)$$

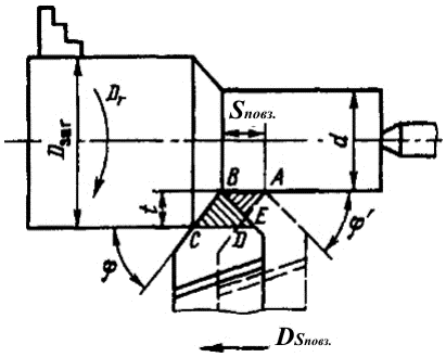


Рис. 14.2. Елементи різання та геометрія шару, що зрізується

Форма та розміри номінального перерізу зрізаного шару матеріалу залежать від $S_{пр.}$ та t, кутів φ та φ' 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 f_{ABCD} буде зрізана з заготовки, а тільки частина її, та на обробленій поверхні залишаться мікронерівності (залишковий переріз площі

зрізаного шару $f_0=f_{ABE}$). Дійсний переріз площі зрізаного шару матеріалу $f_Д=f_{BCDE}$ буде менше номінального f_H на величину площі осьового перерізу мікронерівностей. Залишковий переріз площі зрізаного шару матеріалу утворює на обробленій поверхні мікровиступи та мікрозападини, що створюють шорсткість поверхні. Цим і відрізняється реальна оброблена поверхня від ідеальної геометричної. *Шорсткість поверхні*-це сукупність нерівностей обробленої поверхні з відносно невеликими кроками. Шорсткість одна з характеристик якості поверхневого шару заготовки. Вона оцінюється декількома параметрами, зокрема критерієм R_a-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 R_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).

$$T_O = \frac{Li}{\left(nS_{повз.}\right)}, \qquad (14.5)$$

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;

$S_{повз.}$-повздовжня подача мм/об.

5.2. Геометрія різального інструменту

Геометричні параметри різального інструменту доцільно розглядати на прикладі токарного прямого прохідного різця як типового зразка ріжучого клину. Геометричні параметри інших лезвійних 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. 14.3) 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.

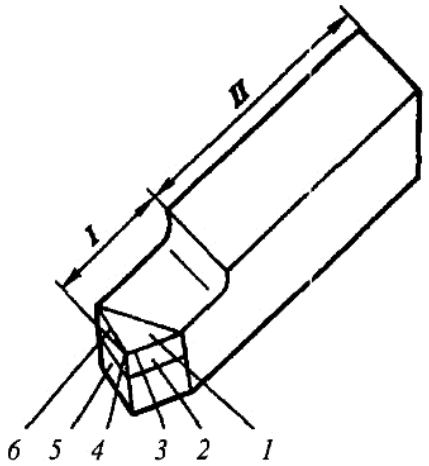


Рис. 14.3. Елементи токарного прямого прохідного різця

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_{VC} проходить через точку різальної кромки перпендикулярно до напрямку швидкості головного руху різання. Плоскість різання $P_{ПС}$ проходить дотично до ріжучої кромки леза перпендикулярно до основної площини. Головна січна плоскість $P\tau c$ проходить перпендикулярно до лінії перетину основної площини та плоскості різання. Допоміжна січна плоскість $P\tau c_1$ плоскість, перпендикулярна до проекції допоміжної різальної кромки на основну плоскість.

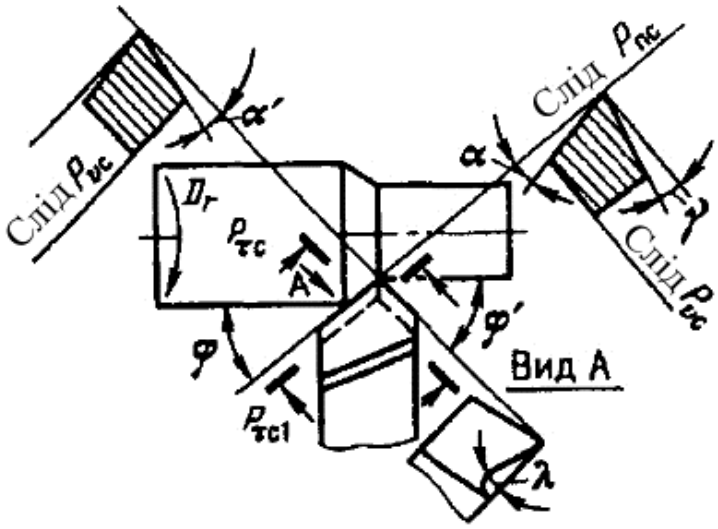


Рис. 14.4. Кути різця в статиці

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 оброблюваних 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

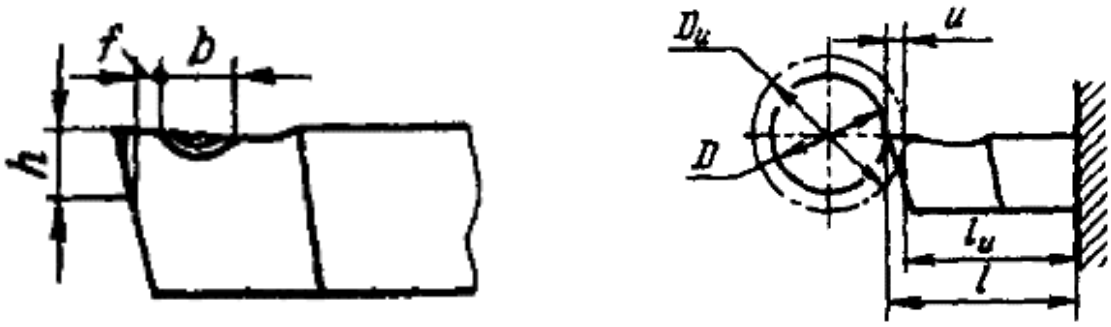
задньою поверхнею інструменту та поверхнею різання заготовки, що зменшує знос інструменту по головній задній поверхні. Надмірне збільшення кута α призводить до зниження міцності ріжучої кромки. Кут α призначають виходячи з величини пружного деформування матеріалу оброблюваної заготовки. *Допоміжний задній 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 α' зменшує тертя між допоміжною задньою поверхнею інструмента та обробленої поверхні заготовки. *Кут в плані* φ кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину та напрямком руху подачі робить значний вплив на шорсткість обробленої поверхні. Зі зменшенням кута φ 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 φ зростає сила різання, спрямована перпендикулярно до осі заготовки та спричинює її підвищену деформацію. Зі зменшенням кута φ можливе виникнення вібрацій в процесі різання, що знижує якість обробленої поверхні. *Допоміжний кут в плані* φ' кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину та напрямком, зворотним руху подачі. Зі зменшенням кута φ' шорсткість обробленої поверхні знижується, збільшується міцність вершини різця, знижується його знос. *Кут нахилу ріжучої кромки* λ кут у площині різання між різальною кромкою та основною плоскістю. Зі збільшенням кута λ якість обробленої поверхні погіршується. Кути γ, α, φ та φ' 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 φ та φ'. У процесі різання кути γ та α різця змінюються. Це можна пояснити тим, що міняється положення плоскості різання в просторі внаслідок обертання заготовки та поступального руху різця. У цьому випадку реальною поверхнею

різання, до якої дотична плоскість 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.

5.3. 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 *h*. У інструментів з різних матеріалів та при різних режимах різання переважає знос по передній або головної задній поверхні. При одночасному зносі по цих поверхнях утворюється перемичка *f*.



а) б)

Рис. 14.5. 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 $u=l-l_H$ (рис. 14.5, б). Значення зносу різця пропорційно часу обробки, тому по мірі зростання значення *u*, глибина різання *t* зменшується. Оброблена поверхня виходить конусоподібною з найбільшим діаметром D_u та найменшим *D*. Кількісний вираз допустимого значення зносу називають критерієм зносу. За критерій зносу приймають в більшості випадків знос інструменту по головній задній поверхні *h*. Для токарних різців з швидкорізальної сталі допустимий знос *h*=1,5...2 мм, для різців з пластинками твердого сплаву *h*=0,8...1 мм, з мінералокерамічними пластинками *h*=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 фізикомеханічних 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 (14.6).

$$V_1T_1^m = V_2T_2^m = V_nT_n^n = const \quad або \quad V = \frac{C}{T^m}, \qquad (14.6)$$

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 неперетачювані пластини з надтвердих та керамічних матеріалів.

ЛЕКЦІЯ №15

5.4. Обробка заготовок на токарних верстатах

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; *різка*-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 багатошпиндельні 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.

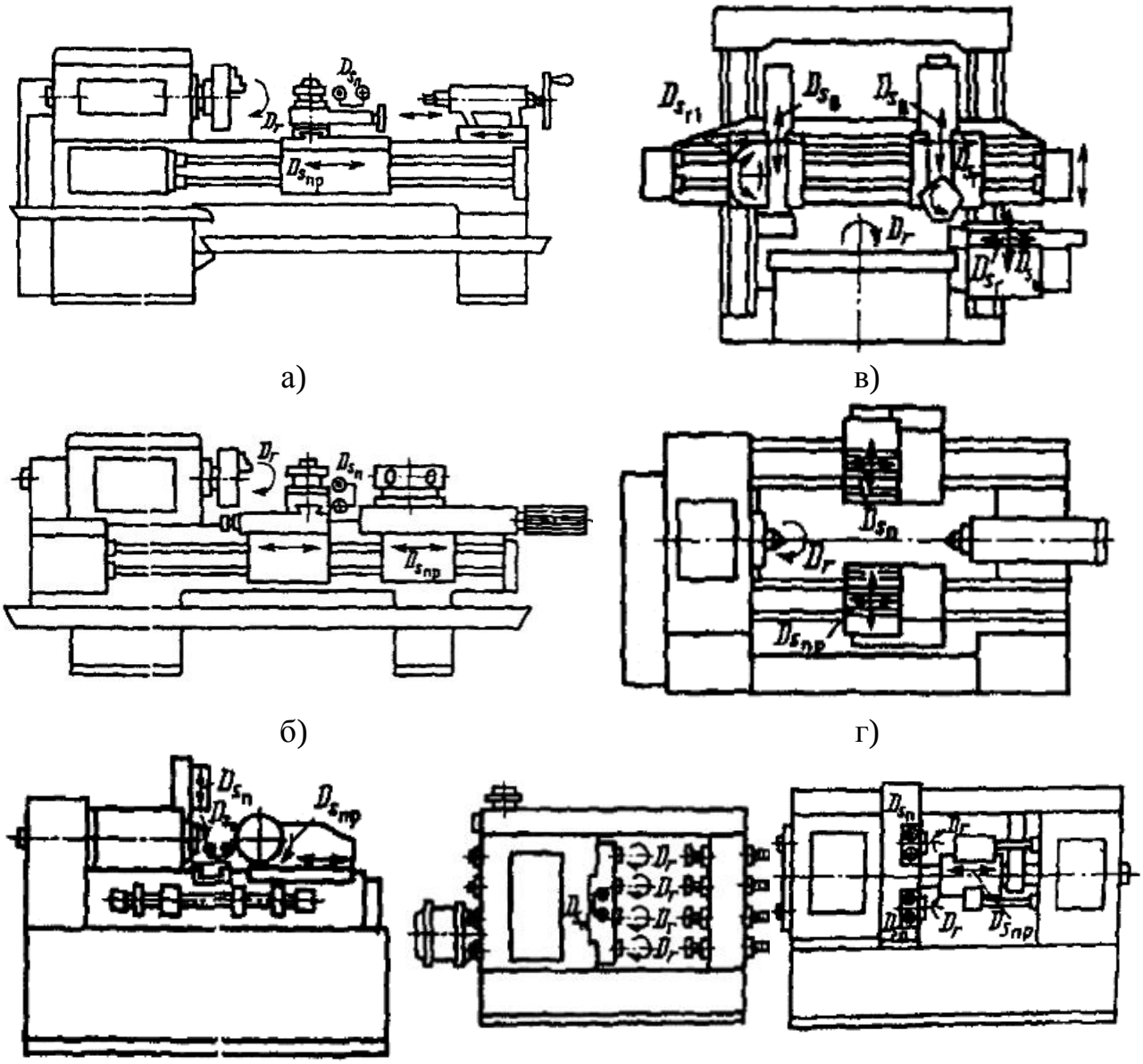
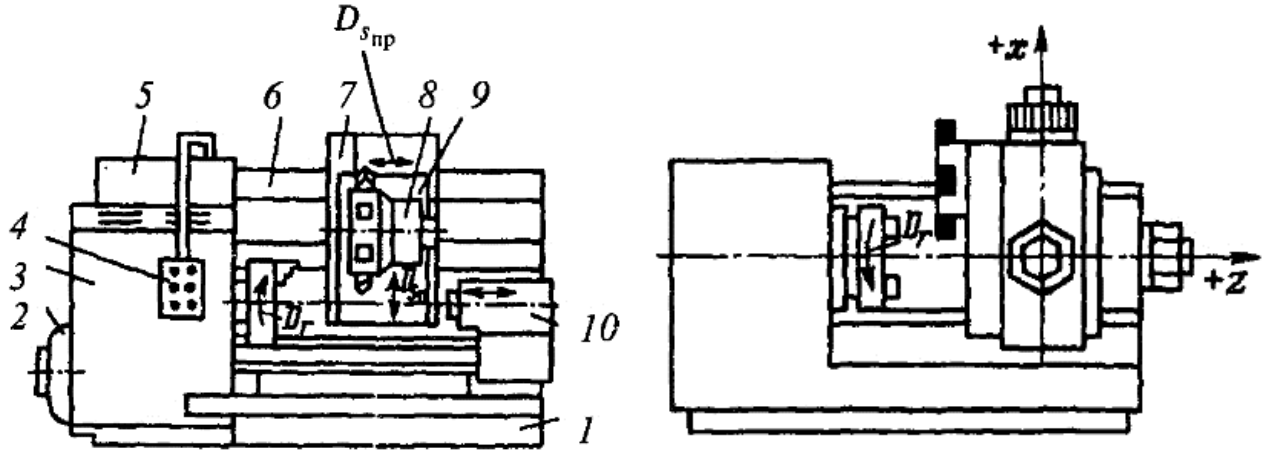


Рис. 15.1. Загальні види верстатів токарної групи (стрілками без позначення вказані установочні рухи вузлів верстатів)

Токарно-карусельні верстати (рис. 15.1, 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. Багаторізцеві токарні напівавтомати (рис. 15.1, г) призначені для обробки зовнішніх поверхонь заготовок типу ступінчастих валів, блоків зубчастих коліс, шпинделів. На багаторізцевих напівавтоматах одночасно обробляються кілька поверхонь заготовки. На одношпиндельних токарно-револьверних автоматах (рис. 15.1, 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. Багатошпиндельні автомати паралельної обробки заготовок (рис. 15.1, є) використовують у масовому виробництві. На автоматах одночасно обробляються стільки заготовок, скільки шпинделів має автомат. Виготовляються деталі одного типорозміру: форма деталей середньої складності. На багатошпиндельних автоматах послідовної обробки (рис. 15.1, 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 вантажопідйомних 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 переміщаються 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.



а) б)

Рис. 15.2. 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 який 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. 15.2, б) в одній з них закріплюють інструменти для оброблення зовнішніх поверхонь, в інший 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 дванадцятипозиційних. 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: SNC, мають пам’ять для зберігання всієї керуючої програми; CNC-автономне керування верстатом з ЧПК, що мають міні-ЕОМ або мікропроцесор; DNC-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. 15.3). Головним принципом класифікації різців є їх технологічне призначення. Розрізняють різці: прохідні прямі (рис. 15.3, а), відігнуті (рис. 15.3, б), упорні (рис. 15.3, в) та широкі (рис. 15.3, г) для обточування зовнішніх циліндричних та конічних поверхонь; підрізні (рис. 15.3, д) для підрізання торців заготовки; відрізні (рис. 15.3, є) для відрізання обробленої заготовки та для проточування кільцевих канавок; розточувальні прохідні (рис.

15.3, ж) та упорні (рис. 15.3, з) для розточування наскрізних та глухих отворів; фасонні стержневі (рис. 15.3, і), круглі (рис. 15.3, к) та призматичні (рис. 15.3, л) для обробки фасонних коротких поверхонь з довжиною утворюючої лінії до 30...40 мм; різьбові для нарізання зовнішніх (рис. 15.3, м) та внутрішніх (рис. 15.3, н) метричних різьб.

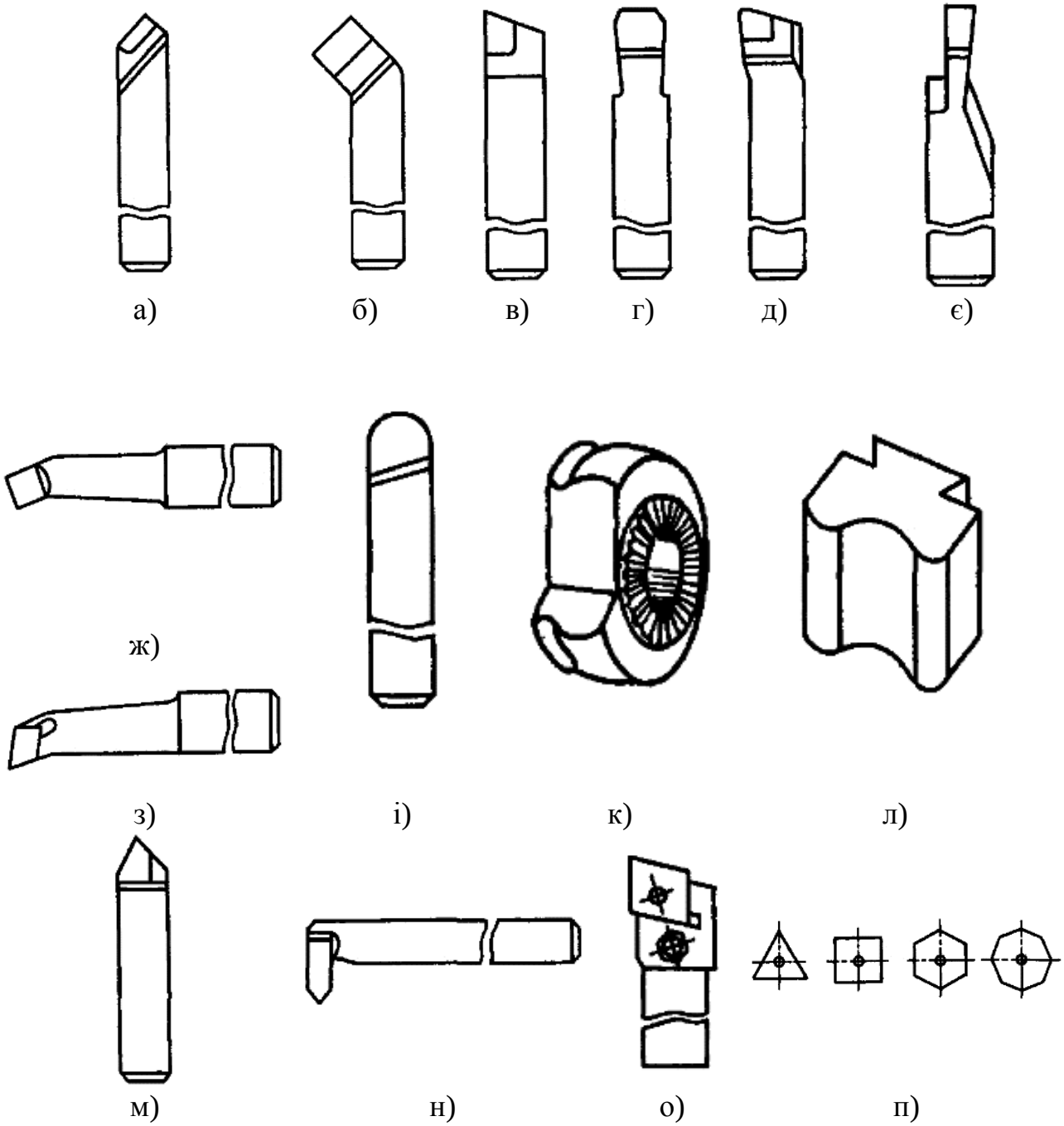


Рис. 15.3. Види токарних різців

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 багатогранними непереточуваними пластинами (рис. 15.3, о). Коли одна з ріжучих кромок пластини виходить з ладу внаслідок затуплення, відпускають механічний притискач та встановлюють в робоче положення наступну ріжучу кромку. На рис. 15.3, п показані типи змінних багатогранних 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 токарногвинторізних верстатах для закріплення заготовок широко використовують трьохкулачкові самоцентруючи патрони (рис. 15.4, 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 $l/d<4$. В автоматизованих верстатах та верстатах з ЧПК використовують патрони з механічним, пневматичним, гідравлічним та електричним приводами кулачків. У центрових верстатах із ЧПК при відношенні $l/d=4...10$ 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. 15.4, б), зрізані (рис. 15.4, в), кулькові (рис. 15.4, г). *Упорні центри* роблять з твердосплавними 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. 15.4, д) при обробці заготовок невеликих діаметрів. *Обертові центри* (рис. 15.4, 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. 15.4, ж) та хомутик (рис. 15.4, 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 *l/d*>10 для зменшення деформації заготовки від сил різання застосовують люнети. Рухомий відкритий люнет (рис. 15.4, і) встановлюють на поздовжньому супорті верстату, нерухомий закритий люнет (рис. 15.4, к) закріплюють на станині. Сили різання сприймають опори люнетів, що підвищує точність обробки.

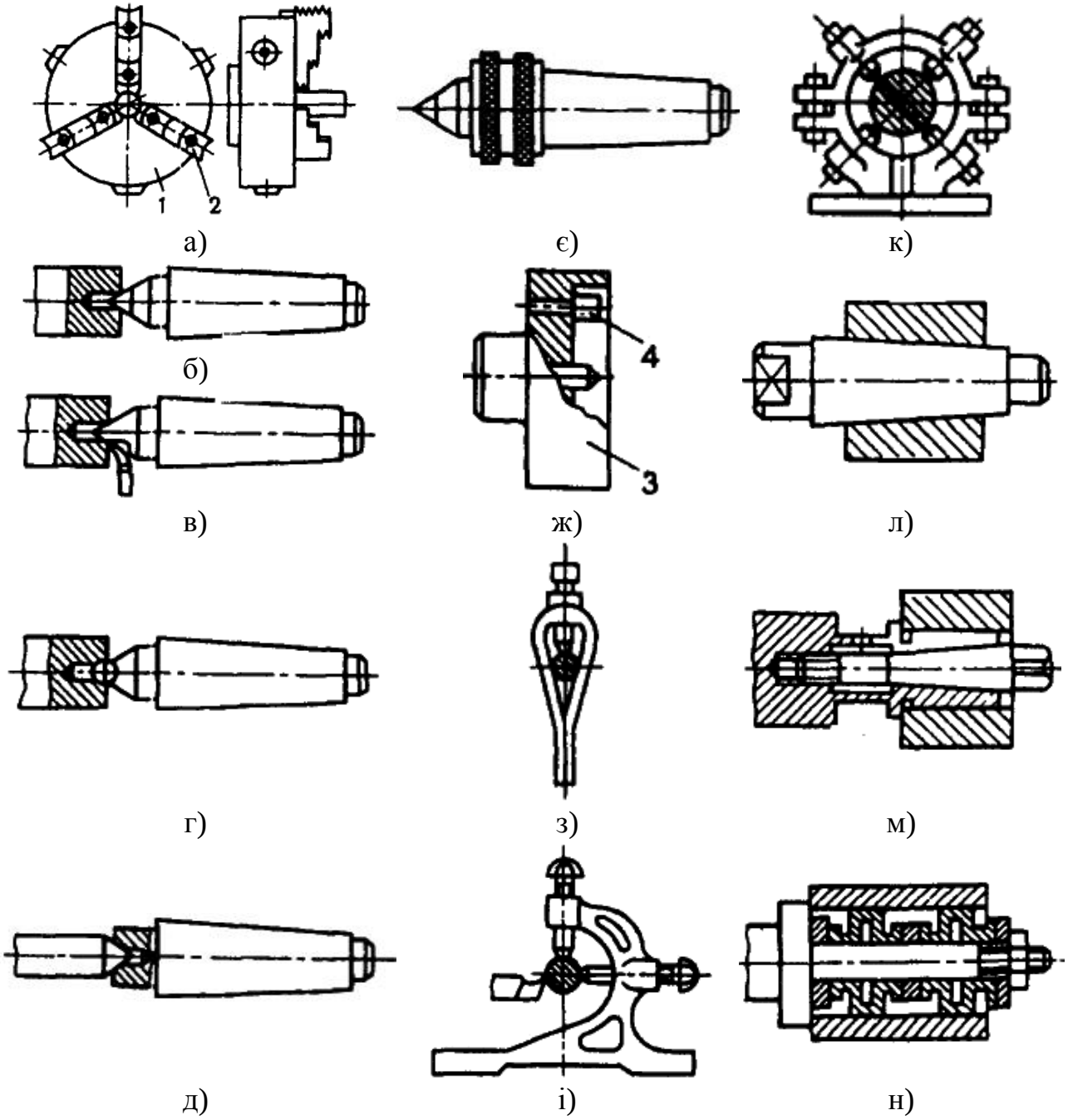
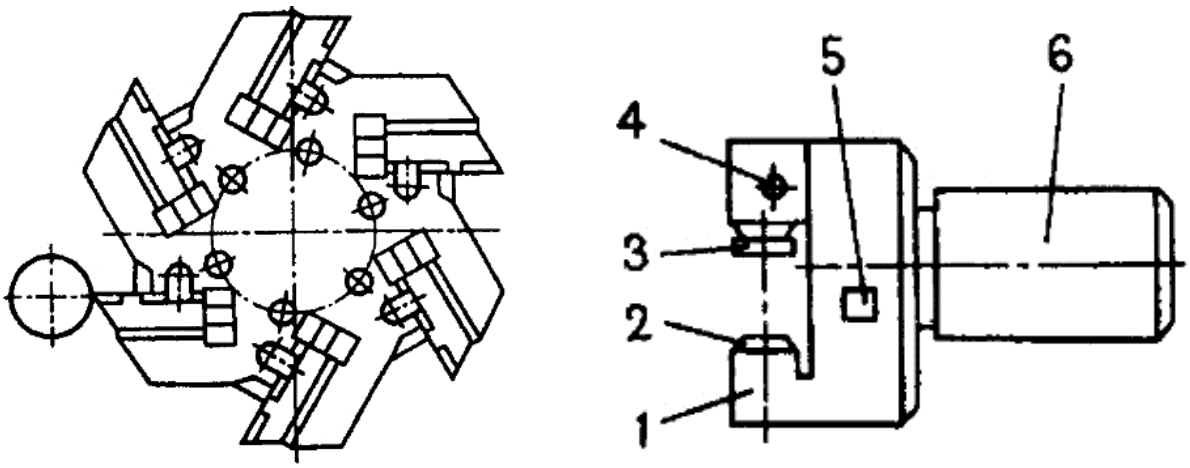


Рис. 15.4. Технологічне оснащення для закріплення заготовок в токарних верстатах

Для установки заготовок типу втулок, кілець та стаканів застосовують

конічні оправки (рис. 15.4, л), коли заготовка утримується на оправці силою тертя на спряжених поверхнях; цангові оправки (рис. 15.4, м) з розтискними пружними елементами цангами; пружні оправки з гідропластмасою, гофрованими втулками (рис. 15.4, 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. 15.5, а) або револьверними головками використовують спеціальні змінні взаємозамінні інструментальні блоки (рис. 15.5, б).



а) 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. 15.5, б). Різець кріплять в пазу корпуса 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 смазувальноохолоджувальної рідини здійснюється через канал у корпусі 1 блоку. В кінці каналу встановлено сопло 4, що дозволяє регулювати напрямок подачі СОР 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 замкнутий 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 переміщається на один крок. *Основні види робіт виконуваних на токарних верстатах*. Схеми основних видів обробки поверхонь, показаних на рис. 15.6, 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. 15.6, 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 копірів на напівавтоматах та автоматах або по керуючим командам програми системи ЧПК верстату. Зовнішні циліндричні поверхні обточують прямими (рис. 15.6, 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 φ=90°. 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. 15.6, в) та внутрішні різьби нарізають різьбовими різцями, форма ріжучих кромок 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.

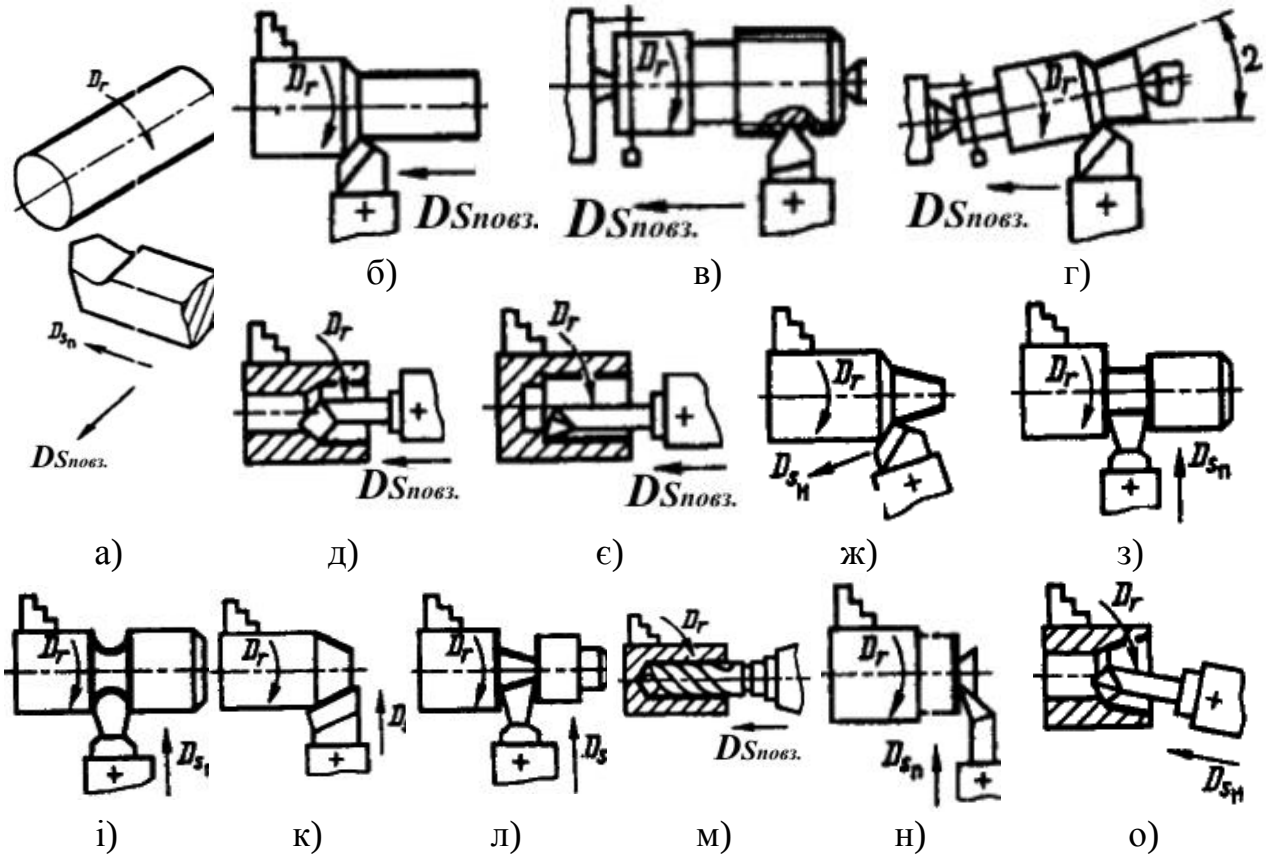


Рис. 15.6. Типові схеми обробки поверхонь заготовок на верстатах токарної групи

Точіння довгих пологих конусів (2α=8...10°) роблять при зсуві в поперечному напрямку корпусу задньої бабки відносно її основи (рис. 15.6, 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. 15.6, д), глухі упорними (рис. 15.6, є). З поперечним рухом подачі на токарно-гвинторізних верстатах обточують кільцеві канавки (рис. 15.6, з) прорізними різцями, фасонні поверхні (рис. 15.6, і) фасонними стержневими різцями, короткі конічні поверхні фаски (рис. 15.6, к) широкими різцями, у яких головний кут в плані дорівнює половині кута при

вершині конічної поверхні. Для відрізки деталей від заготовки (рис. 15.6, л) використовують відрізні 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 V_{Snp}., та V_{Sn}. 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.

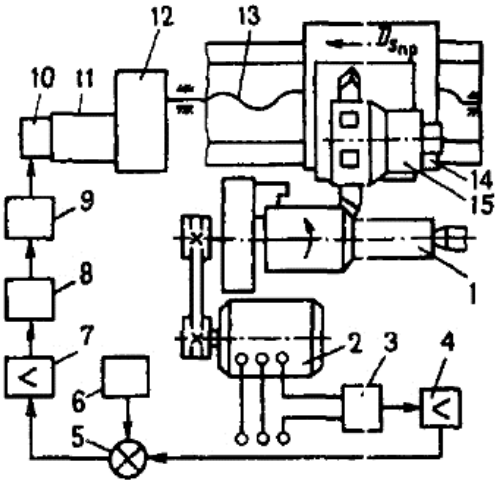


Рис. 15.7. Схема обробки заготовки на токарному верстаті з адаптивною системою ЧПК

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 поздовжньої 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.

ЛЕКЦІЯ №16

5.5. Обробка заготовок на верстатах свердлильної групи

Свердління-найпоширеніший метод отримання отворів в суцільному матеріалі. Свердлінням отримують наскрізні та некрізні (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 кромок 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 (16.1).

$$V = \frac{\pi D n}{1000 \times 60}, \qquad (16.1)$$

де D-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).

$$t = \frac{D}{2}, \qquad (16.2)$$

а при розсвердлюванні за формулою (16.3)

$$t = \frac{(D - d)}{2}, \qquad (16.3)$$

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. 16.1). 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 $M_к$ (Нм) використовують емпіричні формули (16.4).

$$\begin{aligned} P_0 &= C_P D^{x_P} S^{y_P} k_P; \\ M_K &= C_M D^{x_M} S^{y_M} k_M \end{aligned}, \qquad (16.4)$$

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

x_p, y_p, $x_м$, $y_м$-показники ступенів;

k_p, $k_м$-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 (16.5).

$$M_e = \frac{M_K n}{1000 \times 60}, \qquad (16.5)$$

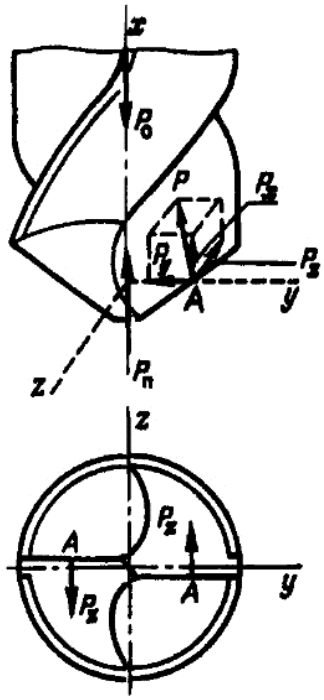
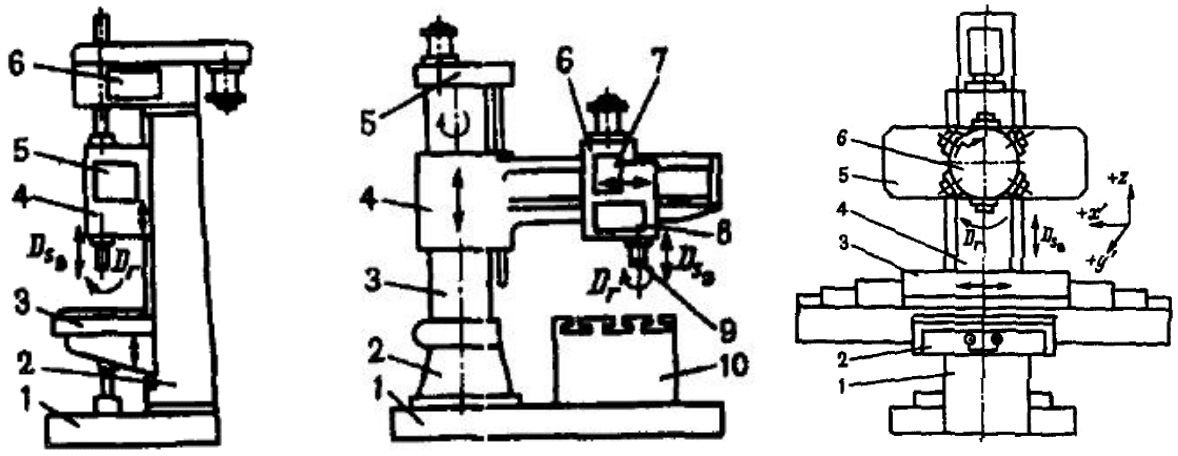


Рис. 16.1. Сили різання, які діють на свердло

Типи свердлильних верстатів. Свердлильні верстати ділять на кілька типів. Настільно-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. 16.2, 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.



а) б) в)

Рис. 16.2. Основні типи свердлильних верстатів

На фундаментній плиті I радіально-свердлильного верстату (рис. 16.2, 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 напрямних траверси переміщається шпиндельна головка 6, в якій розташовані коробка швидкостей 7 та коробка подач 8. Шпиндель 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 шпиндельної головки по напрямних траверси. На радіально-свердлильних верстатах обробляють отвори, розташовані на значній відстані один від одного, в великогабаритних та великої маси заготовках. Ці верстати на відміну від вертикально-свердлильних забезпечують (без зміни положення заготовки) суміщення осей різального інструменту та оброблюваних отворів переміщенням шпиндельної головки. Для обробки заготовок з великим числом отворів доцільно використовувати свердлильні верстати з ЧПК. У вертикально-свердлильного верстата з ЧПК (рис. 16.2, в) на станині 1 встановлена колона 4, по вертикальних напрямних якої переміщується супорт 5 (рух подачі по осі Z) 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. 16.3, 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.

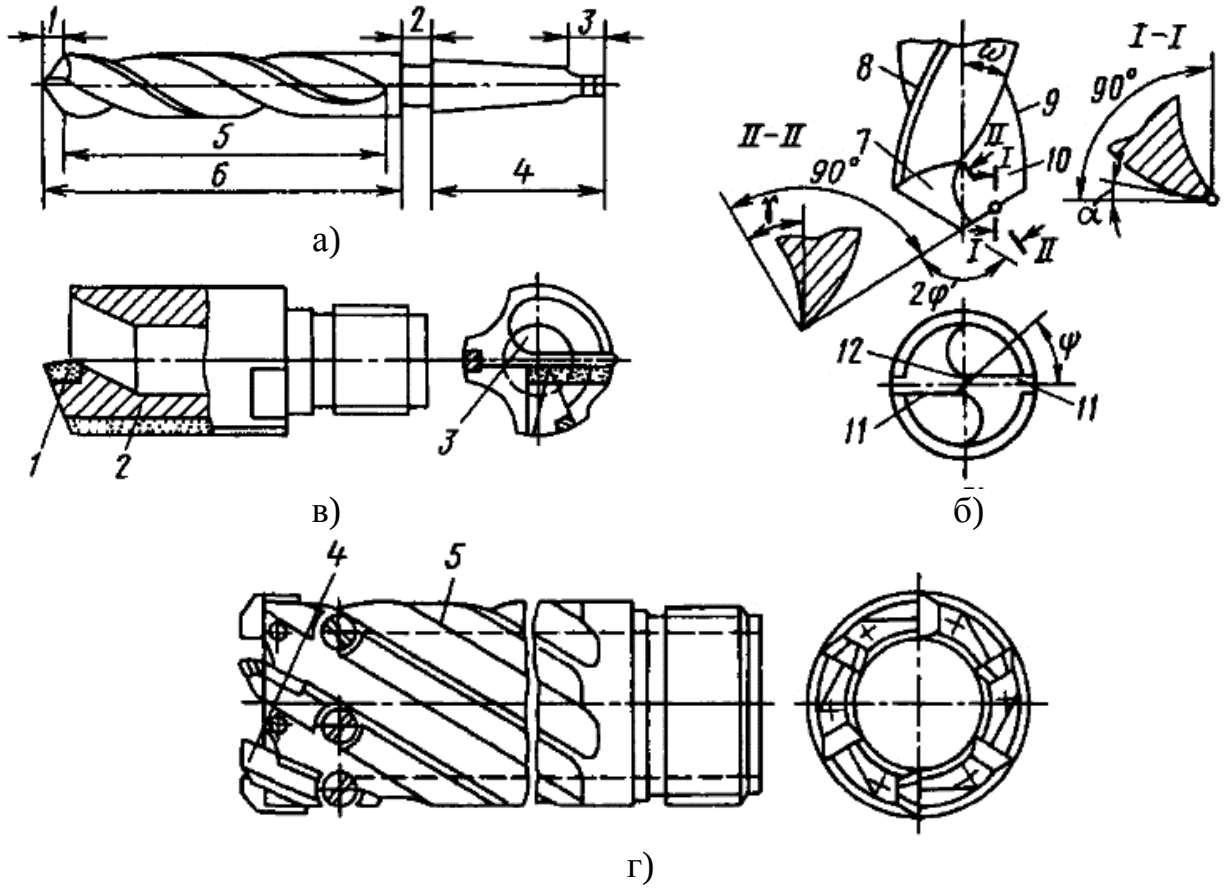


Рис. 16.3. Конструкції свердел: а), б)-частини, елементи та кути спірального свердла; в), г)-спеціальні свердла для глибокого свердлення.

Елементи робочої частини та геометричні параметри спірального свердла показані на рис. 16.3, 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 γ вимірюють у головній січній площині *II-II*, перпендикулярної до головної ріжучої кромки. Задній кут α 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 ψ вимірюють між проекціями головної та поперечної ріжучих кромок на площину, перпендикулярну до осі свердла. Кут нахилу гвинтової канавки ω вимірюють по зовнішньому діаметру. Зі збільшенням кута ω 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. 16.3, 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. 16.3, г). Свердло складається з порожнистого корпусу 5 з гвинтовими канавками. На його торцевій частини 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. Мастильну охолоджувальну рідину

подають через внутрішню порожнину свердла, а стружка відводиться по гвинтовим канавкам. *Зенкерами* (рис. 16.4) обробляють отвори в литих або штампованих заготовках, а також попередньо просвердлені отвори.

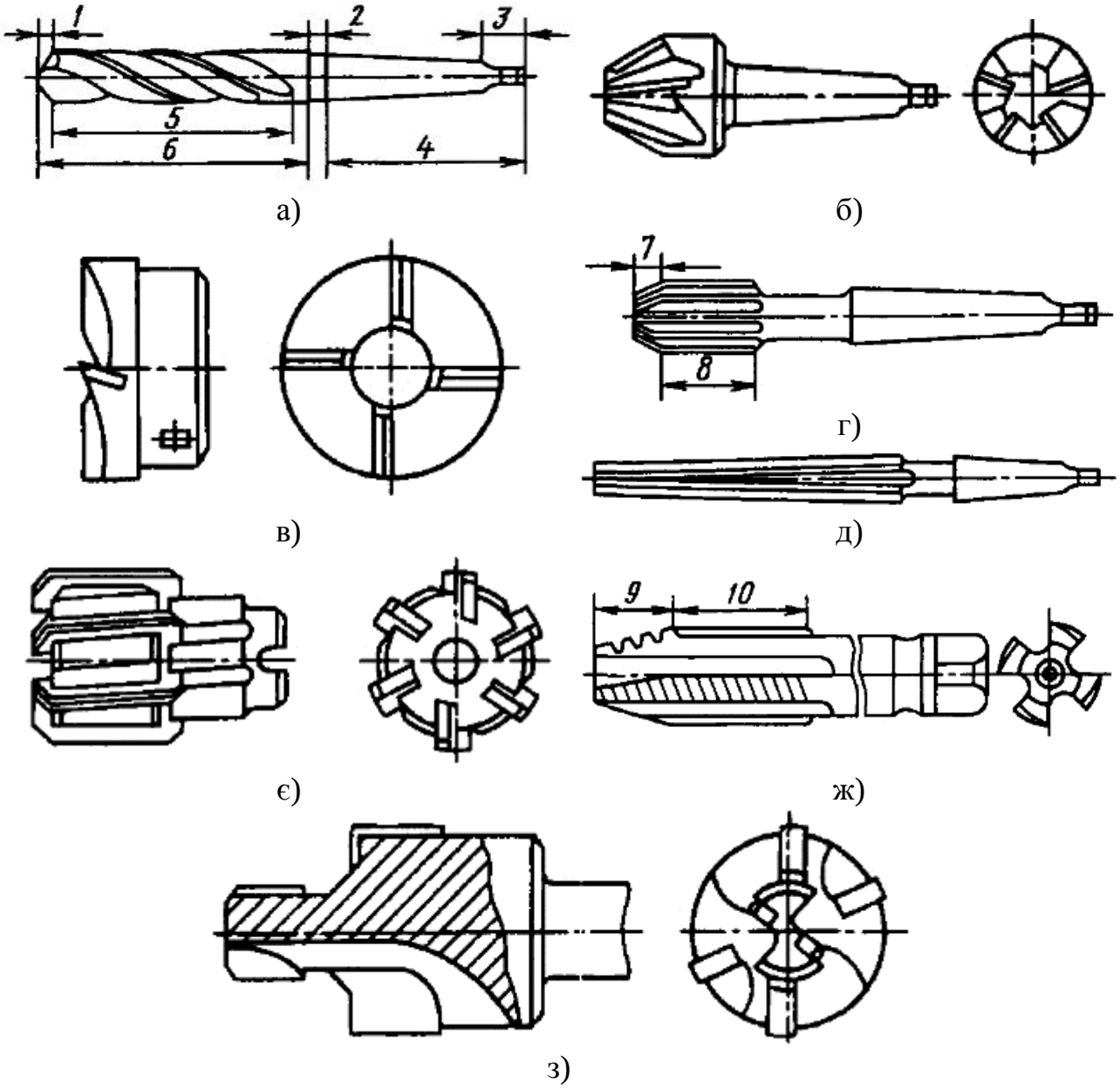


Рис. 16.4. Інструменти для обробки на свердлильних верстатах:

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

На відміну від свердел 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. 16.4, а), конічні

(рис. 16.4, б) та торцеві (рис. 16.4, в). Зенкери бувають цільні з конічним хвостовиком (рис. 16.4, а, б) та насадні (рис. 16.4, в). *Розгортками* остаточно обробляють отвори. За формою оброблюваного отвору розрізняють циліндричні (рис. 16.4, г) та конічні (рис. 16.4, д) розгорнення. Розгортки мають 6...12 головних різальних кромок, 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. 16.4, є показана машинна насадна розгортка з механічним кріпленням ріжучих пластинок в її корпусі. *Мітчики* застосовують для нарізування внутрішніх різьб. Мітчик (рис. 16.4, ж) являє собою гвинт з прорізаними 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. 16.5).

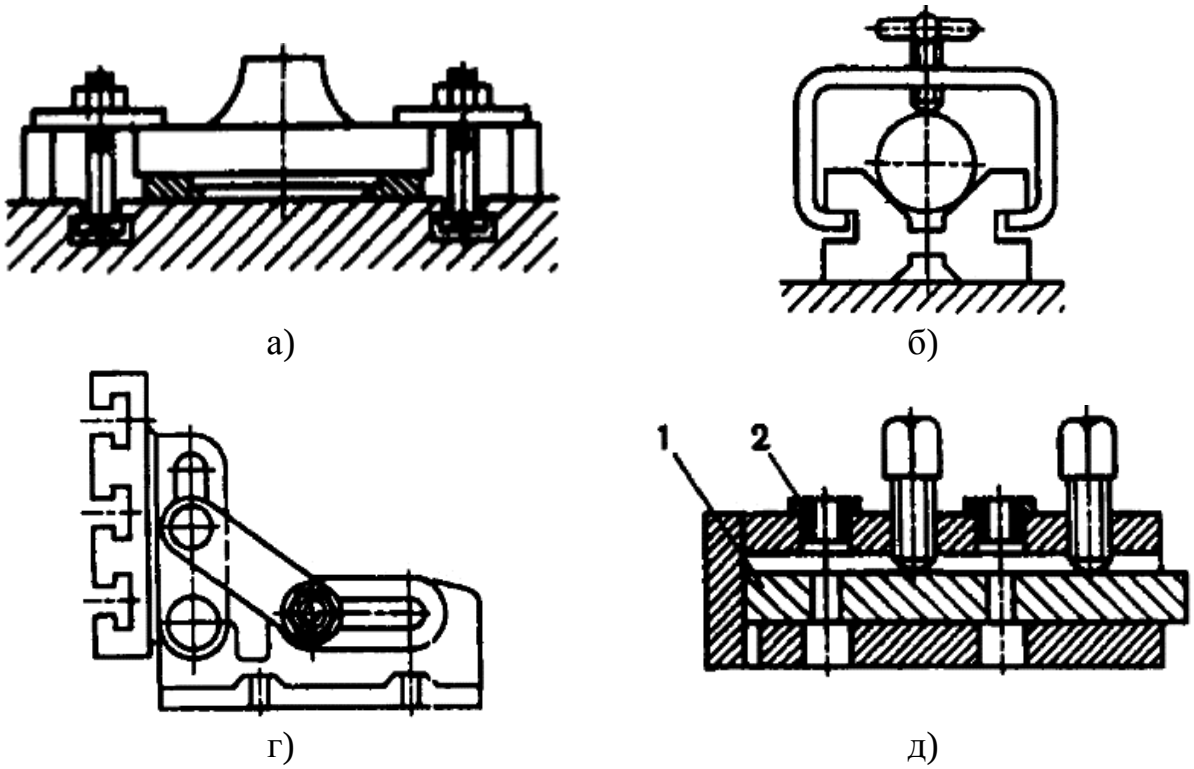
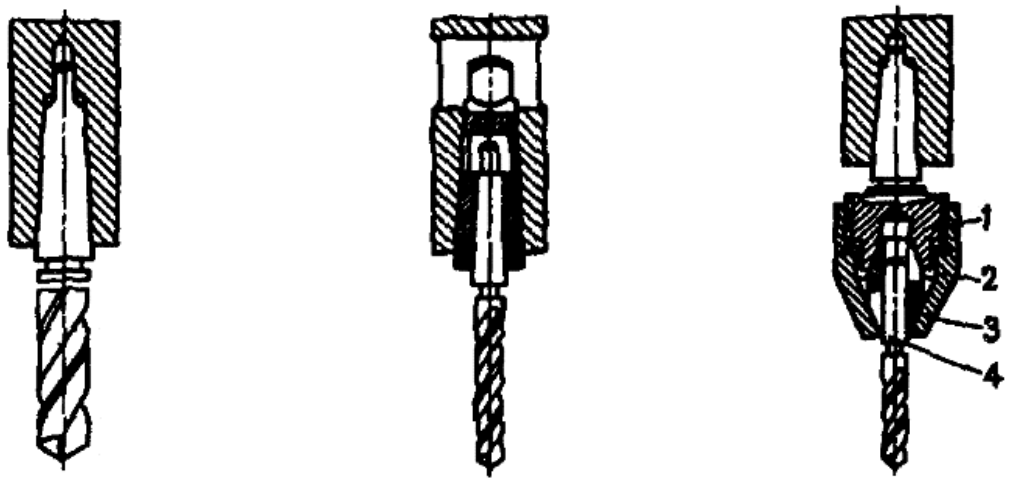


Рис. 16.5. Пристосування для закріплення заготовок на свердлильних верстатах

Заготовки закріплюють притискними планками (рис. 16.5, а) або в машинних тисках. При обробці отворів, осі яких паралельні або розташовані

під кутом до установочної площині, використовують кути (рис. 16.5, 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. 16.5, в). Для свердління декількох точно розташованих отворів в заготовках, оброблюваних великими партіями, широко використовують спеціальні пристосування *кондуктори* (рис. 16.5, 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. Ріжучий інструмент в шпинделі свердлильного верстату закріплюють за допомогою допоміжного інструменту: перехідних втулок, свердлильних патронів та оправок. Ріжучі інструменти з конічним хвостовиком закріплюють безпосередньо в шпинделі свердлильного верстату (ріс. 16.6, а).



а) б) в)

Рис. 16.6. Схеми закріплення інструменту на свердлильних верстатах

Якщо розмір конуса хвостовика інструменту менше розміру конічного отвору шпинделя, то застосовують перехідні конічні втулки (рис. 16.6, б). Інструменти з циліндричним хвостовиком закріплюють у двох, трьохкулачкових або цангових патронах. Закріплення різального інструменту в цангові патрони показано на рис. 16.6, 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, цековання, зенкування, нарізання різьби та обробку складних отворів (рис. 16.7). *Свердління* наскрізного отвору показано на рис. 16.7, 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. 16.7, 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. 16.7, в). *Розгортання*-остаточна обробка циліндричного або конічного отвору розгорткою (зазвичай після зенкерування) з метою отримання високої точності та невеликої шорсткості обробленої поверхні (рис. 16.7, г, д). *Цековання*-обробка торцевої поверхні отвору торцевим зенкером для досягнення перпендикулярності плоскої торцевої поверхні до його осі (рис. 16.7, є). Зенкування отримують в наявних отворах циліндричні або конічні поглиблення під головки гвинтів, болтів, заклепок і інших деталей. На рис. 16.7, 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. 16.7, і). *Отвори складного профілю* обробляють за допомогою комбінованого різального інструменту. На рис. 16.7, 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. 16.3, в, г). На рис. 16.7, л показана схема

свердління глибокого отвору спеціальним свердлом з однією кромкою на горизонтально-свердлильному верстаті. Заготовка 1, закріплена в трьохкулачковому патроні та люнеті, передають головний обертальний рух різання ($D_Г$.).

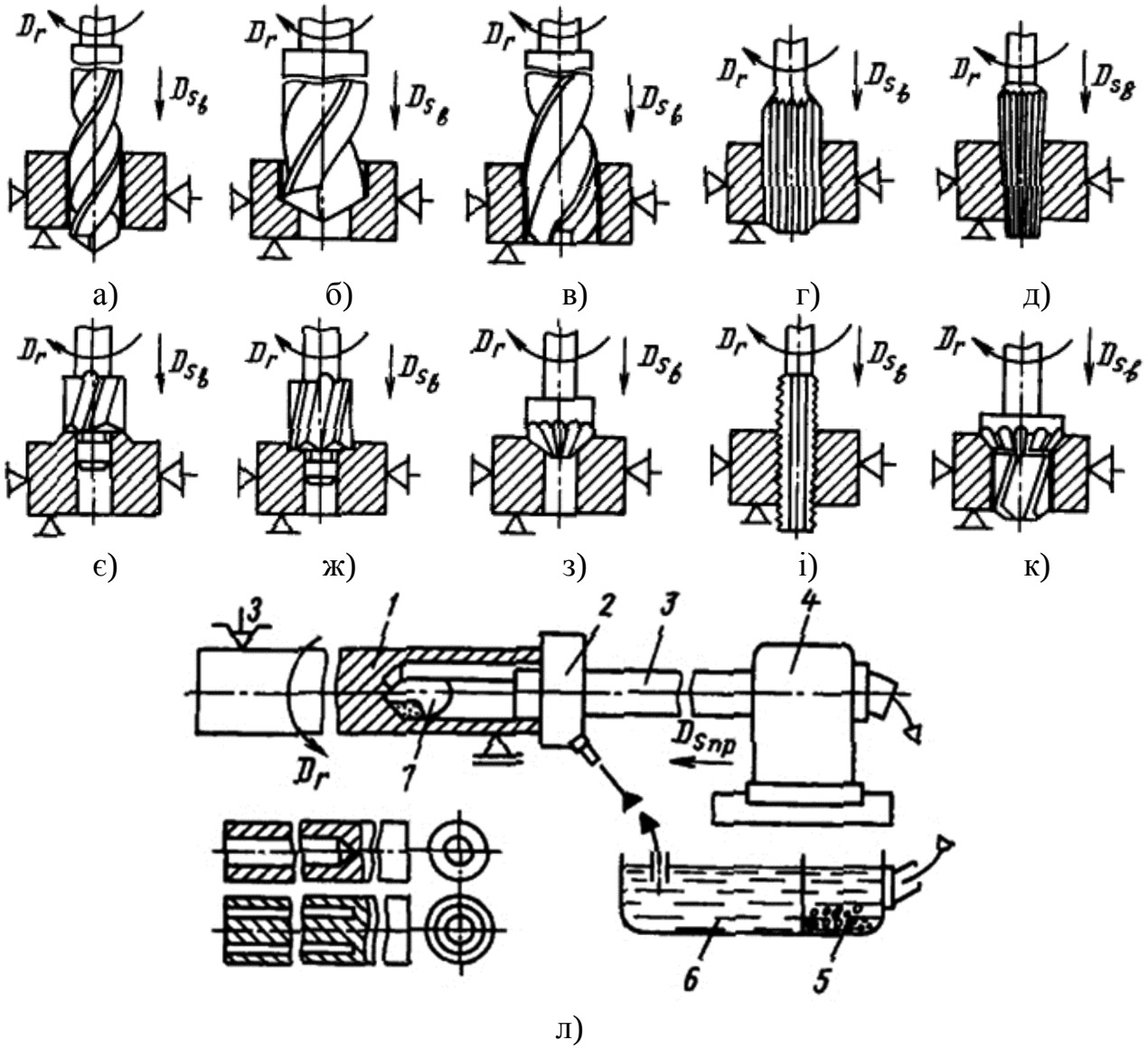


Рис. 16.7. Схеми обробки заготовок на свердлильних верстатах

Свердло 7 закріплюють на різьбі в стеблі 3 (труби), а другий кінець останнього в супорті 4 та передають свердлу повздовжню подачу ($S_{пр.}$). 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. 16.7, б). Глибокі отвори великого діаметру (D>100 мм) свердлять

свердлами кільцевого типу (рис. 16.3, г). У процесі свердління в стружку перетворюється тільки метал кільцевої порожнини (рис. 16.7, в). Залишений після свердління центральний стержень використовують як заготовку для виготовлення різних деталей.

ЛЕКЦІЯ №17

5.6. Обробка заготовок на строгальних та довбальних верстатах

Технологічний метод формоутворення поверхні заготовок строганням характеризується наявністю двох рухів: зворотно-поступального різця або заготовки (головний рух різання) та переривчастого прямолінійного руху подачі, спрямованого перпендикулярно до вектору головного руху різання. Різновидом строгання є довбання, де головний рух різання зворотно-поступальний здійснює різець у вертикальній площині. Процес різання при строганні переривчастий, та видалення матеріалу відбувається тільки при робочому ході. Під час зворотного (допоміжного) ходу різець роботу не проводить. Переривчастий процес різання сприяє охолодженню інструменту під час обробки заготовок, що виключає в більшості випадків застосування мастильно-охолоджуючих рідин. Переривчастий процес різання призводить до значних динамічних навантажень різального інструменту, тому строгання здійснюють на невеликих швидкостях різання. При строганні режими різання складаються з сукупності величин: швидкості головного руху різання V, подачі S та глибини різання t. Глибина різання t (мм)-найбільша відстань, на яку проникає ріжуча кромка в заготовку; її вимірюють у площині, перпендикулярній до напрямку руху подачі. При строганні та довбанні рух подачі є переривчастим та здійснюється в кінці допоміжного ходу заготовки або різця. Величини t та S вибирають з довідників. Задавшись глибиною різання та подачею, за емпіричною формулою визначають швидкість головного руху різання (м/с). *Типи строгальних верстатів*. Строгальні верстати призначені для обробки різцями плоских поверхонь, канавок, фасонних лінійчатих поверхонь в умовах одиничного та дрібносерійного виробництв. Широке застосування строгальні верстати знаходять у верстатобудуванні та важкому машинобудуванні, коли необхідно обробляти великі, важки заготовки станин,

корпусів, рам, колон та інших деталей. В залежності від конструктивних та технологічних ознак строгальні верстати підрозділяють на ряд типів: поперечно-строгальні, поздовжньо-строгальні, довбальні та спеціальні. Найбільше використання знаходять поздовжньо-строгальні верстати, призначені для обробки порівняно великих заготовок. Ці верстати характеризуються найбільшою довжиною строгання (ходом столу), яка становить 1,5...12,5 м, та шириною строгання 0,6...5 м. Повздовжньо-строгальні верстати підрозділяють на одностійкові та двостійкові. Повздовжньо-строгальний двостійковий верстат (рис. 17.1) має станину 1, з якою жорстко пов'язані дві вертикальні стійки 3 та 8, з'єднані поперечиною 7. Стіл 2 із закріпленою на ньому заготовкою має зворотно-поступальне переміщення по горизонтальним напрямним станини (головний рух різання). По вертикальним напрямним стійок переміщається траверса 5, яку в залежності від розміру заготовки встановлюють на певному рівні від площини столу.

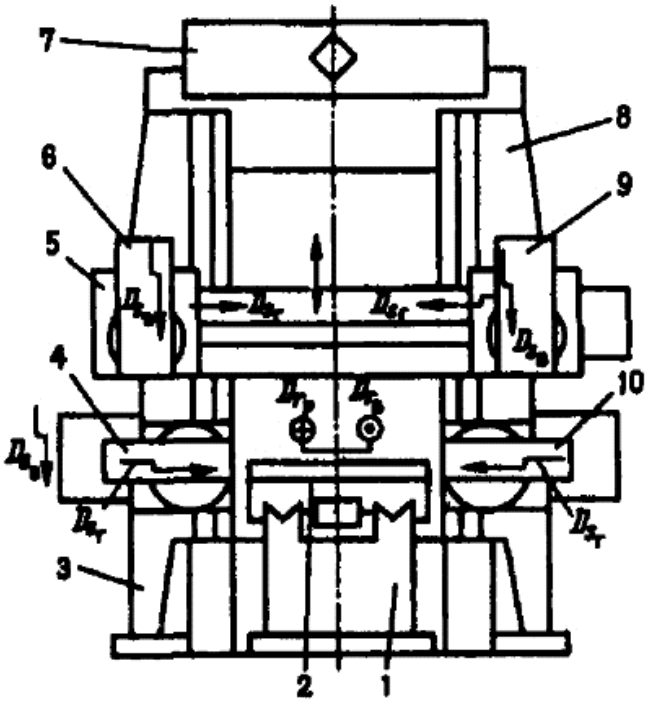
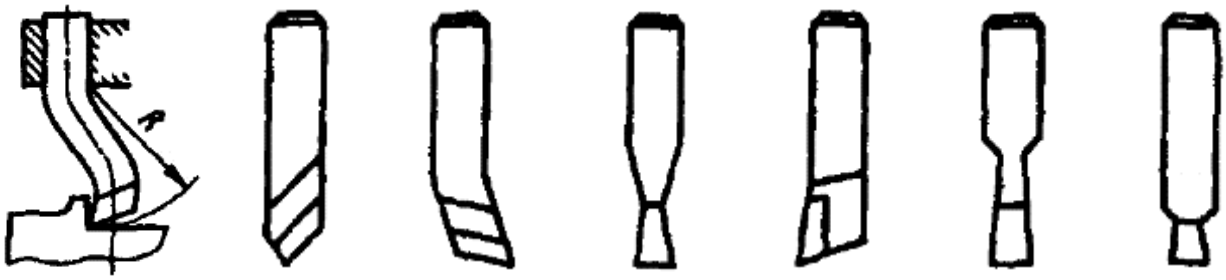


Рис. 17.1. Загальний вигляд двохстійкового повздовжньо-строгального верстату

На траверсі змонтовані два верхніх супорта 6 та 9, отримуючи рух поперечної подачі. Супорти можна повертати у вертикальній площині. По вертикальним напрямним стійок переміщаються бічні супорти 4 та 10. На всіх супортах встановлені відкидні різцетримачі для закріплення різців. Поперечно-

строгальні верстати призначені для обробки заготовок дрібних та середніх розмірів. Найбільша довжина строгання не перевищує 200...2400 мм. Головний рух різання-зворотно-поступальний в горизонтальній площині передає повзуну з супортом, в якому у відкидному різцетримачі встановлений різець. Супорт з різцем має рух вертикальної та кутової подач. Заготовці, встановленої на столі, передають рух поперечної подачі. На довбальних верстатах головний рух різання-зворотно-поступальний у вертикальній площині передає повзуну, на якому встановлений різцетримач з різцем. Довжина ходу повзуна зазвичай не перевищує 200 мм. Заготовку закріплюють на столі верстату, який має переривчастий рух поздовжньої та поперечної подач. Крім того, стіл має рух кругової подачі щодо своєї вертикальної осі. *Ріжучий інструмент та схеми обробки заготовок на строгальних та довбальних верстатах*. Строгальні різці в порівнянні з токарними працюють в більш важких умовах, так як різець, врізаючись в матеріал заготовки, при кожному робочому ході відчуває ударне (динамічне) навантаження. Під дією цього навантаження різець згинається у бік опорної поверхні стержня. Якщо вершина різця розташована ліворуч від осі стержня, то вона внаслідок деформування опише дугу, та глибина різання зміниться. Щоб уникнути цього необхідно, щоб при деформуванні вершина різця описувала дугу радіусом *R*, дотичну до обробленої поверхні (рис. 17.2, а). Для цього вершина різця повинна бути розташована між опорною поверхнею стержня і площиною, що проходить через вісь стержня різця. Щоб витримати цю умову, строгальні різці виконують вигнутими.



а) б) в) г) д) є) ж)

Рис. 17.2. Строгальні та довбальні різці

Залежно від призначення розрізняють такі типи строгальних різців (рис. 17.2): прохідні (рис. 17.2, б), підрізні (рис. 17.2, в), відрізні (рис. 17.2, г). Зазначені різці виконують правими та лівими, чорновими та чистовими; їх

конструкції аналогічні конструкціям різців для токарної обробки. *Довбальні різці* виготовляють трьох основних типів: прохідні (рис. 17.3, д), прорізні (рис. 17.3, є) та для шпоночних пазів (рис. 17.3, ж). На строгальних верстатах обробляють плоскі поверхні, уступи, пази кутові, *Т*-подібні та *У*-подібні, призматичні, фасонні поверхні. На довбальних верстатах обробляють плоскі вертикальні поверхні, многогранники, багатогранні отвори, зовнішні пази, фасонні поверхні. Горизонтальні (рис. 17.3, а), вертикальні (рис. 17.3, б) та нахилені (рис. 17.3, в) плоскості обробляють на поперечно-строгальних верстатах відповідно руху поперечної, вертикальної та нахиленої подач. При строганні нахиленої площини вертикальний супорт повертають на кут, рівний куту нахилу оброблюваної площини.

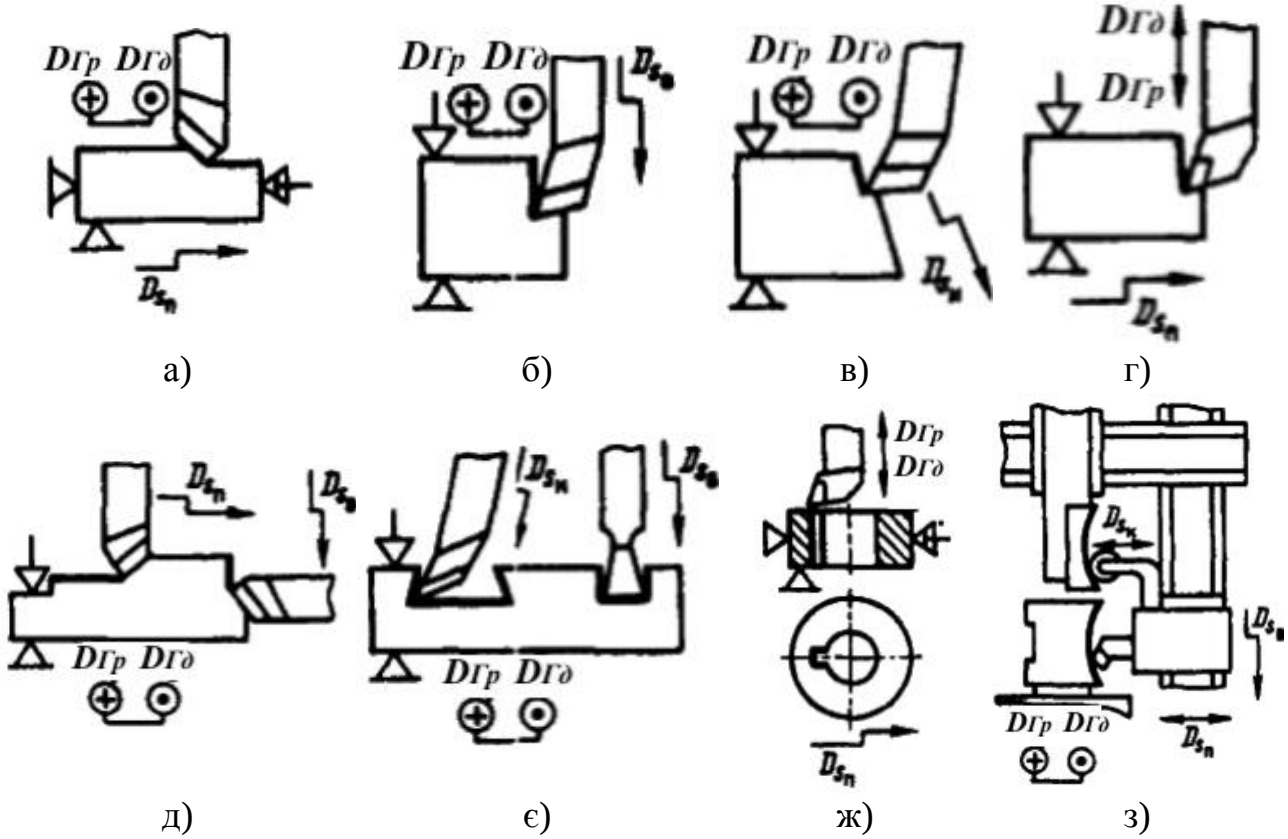


Рис. 17.3. Схеми обробки заготовок на строгальних та довбальних верстатах

На рис. 17.3, г показано строгання вертикальної площини на довбальних верстатах. На поздовжньо-строгальних верстатах можна одночасно проводити обробку горизонтальної та вертикальної площини (рис. 17.3, д). Пази кутові та прямокутні одночасно можна обробляти на поздовжньо-строгальних верстатах (рис. 17.3, є). Строгання шпоночного пазу (рис. 17.3, ж) проводять на

довбальних верстатах. Фасонні поверхні за копіром обробляють на поздовжньо-строгальних верстатах (рис. 17.3, з). Строгання горизонтальних площин виконують прохідними різцями, вертикальних та нахилених площин підрізними різцями, пазів прорізними різцями та ін.

5.7. Обробка заготовок на фрезерних верстатах

Фрезерування-один з високопродуктивних та поширених методів обробки поверхонь заготовок багатолезовим ріжучим інструментом *фрезою*. Технологічний метод формоутворення поверхонь фрезеруванням характеризується головним обертальним рухом інструменту та зазвичай поступальним рухом подачі. Рухом подачі може бути і обертальний рух заготовки навколо осі обертового столу чи барабана (карусельно-фрезерні та барабанно-фрезерні верстати). На фрезерних верстатах обробляють горизонтальні, вертикальні та нахилені плоскості, фасонні поверхні, уступи та пази різних профілів. Особливість процесу фрезерування є переривчастість різання кожним зубом фрези. Зуб фрези перебуває в контакті із заготовкою та виконує роботу різання тільки на деякій частині обороту, а потім продовжує рух, не торкаючись заготовки до наступного врізання. *Типи фрезерних верстатів*. Фрезерні верстати призначені для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь різного профілю. Конструкції фрезерних верстатів різноманітні. Випускають верстати універсальні, спеціалізовані та спеціальні. До універсального виду обладнання відносять консольні горизонтально та вертикально-фрезерні верстати (рис. 17.4, а, б); вони мають багато загальних вузлів. В станині 1 цих верстатів розміщена коробка швидкостей 2. По вертикальним напрямним станини переміщається консоль 7. Заготовка, встановлюється на столі 4 в тисках або пристосуванні, отримує рух подачі в трьох напрямках: поздовжньому (переміщення столу по напрямним салакам 6), поперечному (переміщення салазок по напрямним консолі) та вертикальному (переміщення консолі по напрямним станини). Головним рухом різання є обертання шпинделю. Коробка подач 8 розміщена в консолі. На горизонтально-фрезерному верстаті хобот 3 служить для закріплення підвіски 5, підтримуючої кінець фрезерної оправки.

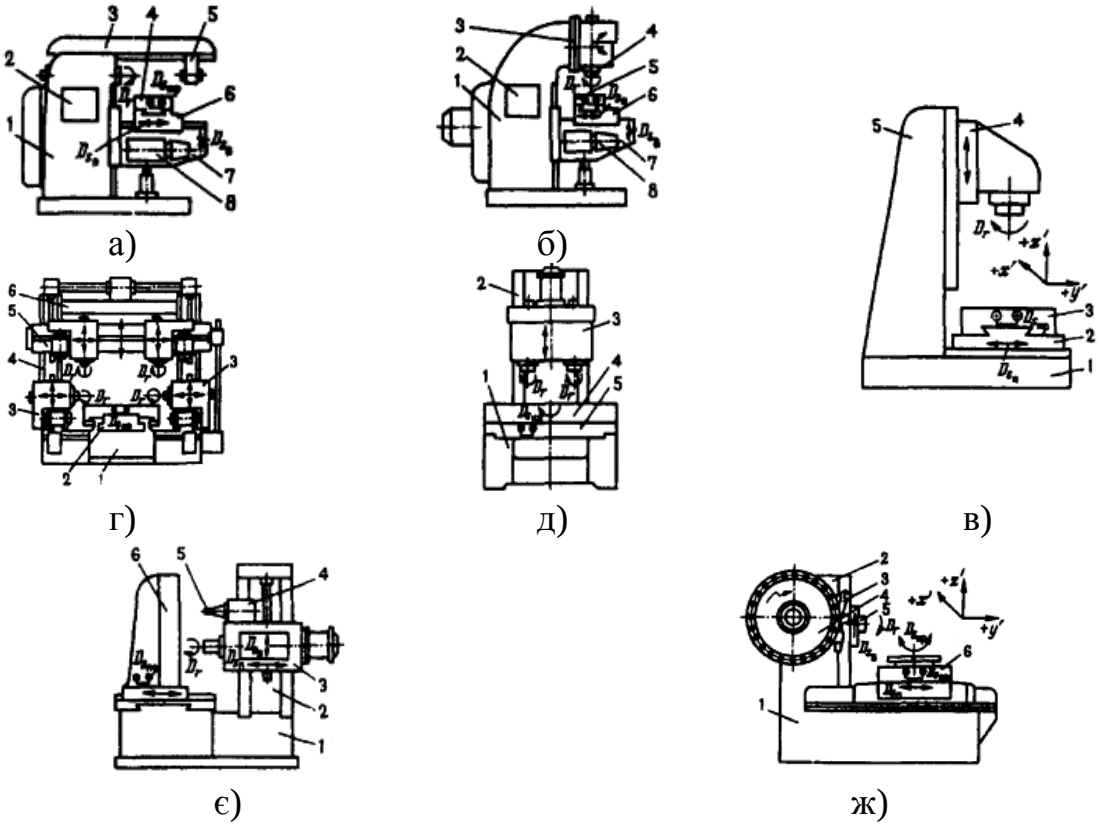


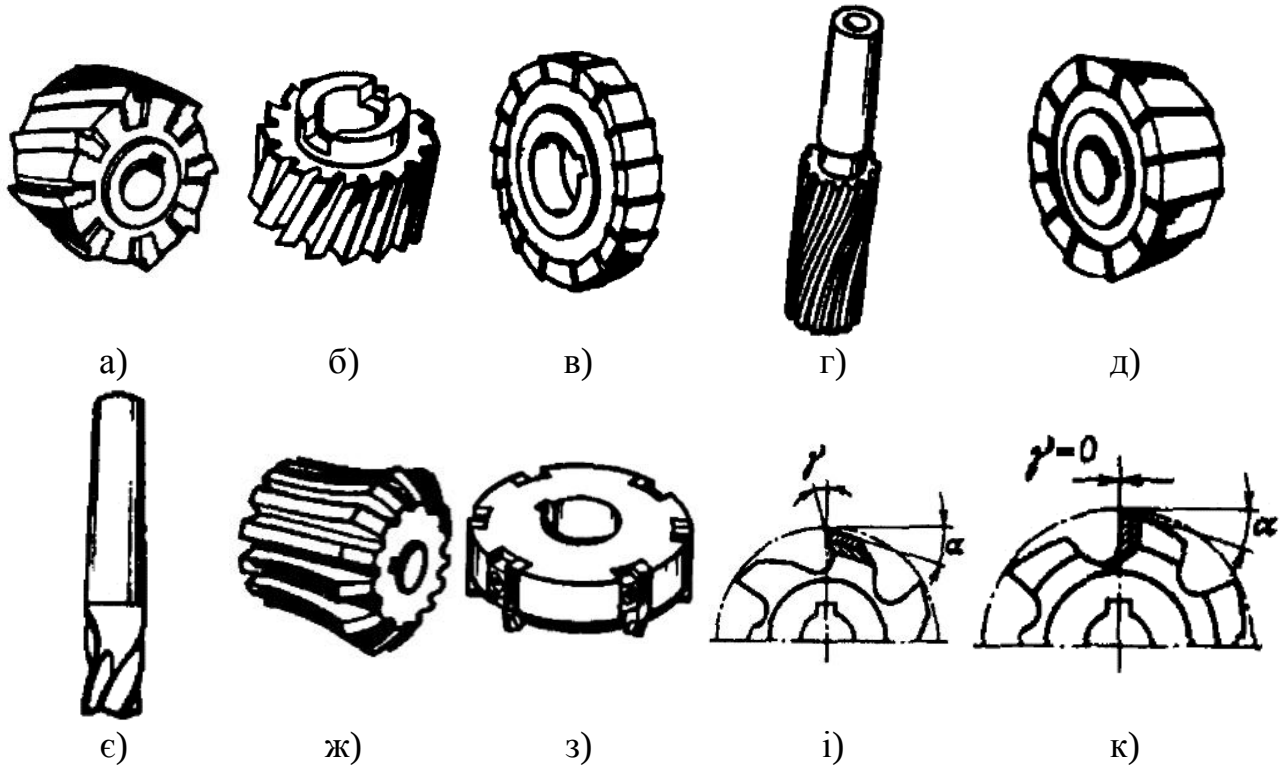
Рис. 17.4. Основні типи фрезерних верстатів

Горизонтально-фрезерні верстати, що мають поворотну плиту, яка дозволяє повертати робочий стіл в горизонтальній площині та встановлювати його на необхідний кут, називають універсальними. На вертикально-фрезерному верстаті шпиндельна головка 3 може повертатися у вертикальній площині. На вертикально-фрезерному безконсольному верстаті з ЧПК (рис. 17.4, в) хрестовий стіл має переміщення по двом взаємно перпендикулярним координатам x' (переміщення столу 3 по салазкам 2) та y' (переміщення салазок 2 по напрямним станини 1). По напрямним стійкам 5 переміщається шпиндельна головка 4 (координата Z). Обробку заготовок на фрезерних верстатах з ЧПК виконують попутним та зустрічним фрезеруванням з однаковою точністю, так як в коробках подач передбачено пристрій для вибору зазорів. Програмовані переміщення заготовки щодо інструмента одночасно по декількох координатах дозволяють отримувати складну фасонну поверхню. Поздовжньо-фрезерні верстати призначені для обробки заготовок великих маси та розмірів (типу станин, корпусів, коробок передач, рамних конструкцій та ін.). Поздовжньо-фрезерні верстати бувають одне та двухстійкові з довжиною столу 1250...12000 мм та шириною 400 ... 5000 мм. На

рис. 17.4, г показаний поздовжньо-фрезерний двостійковий верстат. Стіл 2 верстату, на якому встановлюють заготовку, має тільки одне повздовжнє переміщення по напрямних станини 1. На кожній стійці 4 розташовані фрезерні головки 3, які можуть переміщатися по їх напрямних вгору та вниз. У верхній частині стійки з'єднані поперечиною б, що підвищує загальну жорсткість верстата. По вертикальних напрямних стійок переміщається траверса 5. Дві верхні фрезерні головки 3 для їх установки переміщаються по напрямним траверси та можуть повертатися на кут до±30°. Шпиндель кожної фрезерної головки при наладці верстату може висуватися в осьовому напрямку на 100...200 мм. Внаслідок відсутності консолі верстати цього типу мають велику жорсткість, що дозволяє працювати на підвищених режимах різання. Поздовжньо-фрезерні верстати з ЧПК оснащені повзунковими бабками, розташованими на стійках та траверсі, і мають переміщення по двом взаємно перпендикулярним координатам. Бабки оснащені комплектом швидкозмінних або автоматично змінюваних навісних головок, що дозволяє без перезакріплення проводити комплексну фрезерно-свердлильно-розточувальну обробки. На фрезерних верстатах безперервної дії фрезерують плоскі поверхні при обробці великих партій заготовок за методом безперервного торцевого фрезерування. Їх підрозділяють на карусельно-фрезерні та барабанно-фрезерні. Карусельно-фрезерний верстат показаний на рис. 17.4, д. На станині 1 змонтована стійка 2, по вертикальним напрямним якої переміщується фрезерна головка 3 з двома шпинделями, один з яких призначений для чистової обробки. На круглому столі 4 (каруселі) з вертикальною віссю обертання в пристосуваннях встановлюють заготовки. Круглий стіл має салазки 5 для установки його на направляючих станини. Заготовки встановлюють та знімають зі столу без зупинки верстату; фрезерування ведеться безперервно при повільному обертанні столу (рух кругової подачі). Особливістю барабанно-фрезерних верстатів є наявність барабану з горизонтальною віссю обертання. На гранях барабана в пристосуваннях встановлюють заготовки, яким повільним обертанням барабана передають рух кругової подачі. Верстати мають одну або кілька головок. Копіювально-фрезерні верстати призначені для обробки

фасонних поверхонь складного профілю. Розрізняють контурне та об'ємне фрезерування. Контурне фрезерування застосовують для одержання плоских фасонних поверхонь замкнутого криволінійного контуру з прямолінійною утворюючою (наприклад, плоских кулачків, шаблонів та ін.). Об'ємне фрезерування застосовують для одержання об'ємних фасонних поверхонь (наприклад, лопаток турбін, прес-форм та ін.). На рис. 17.4, є показаний копіювально-фрезерний напівавтомат для об'ємного фрезерування. По напрямним станини 1 в поздовжньому напрямку переміщається вертикальний стіл 6. На столі встановлюють пристосування для закріплення заготовки і копіра. На стійці 2 змонтована фрезерна головка 3, що переміщається по вертикальним направляючим стійки. Фрезерна головка та жорстко скріплений з нею слідкуючий пристрій 4 з щупом 5 можуть переміщатися повздовж осі шпинделя. Під час роботи верстату щуп 5 з силою 1,5...2 Н притискається до копіру. При зміні сили в слідкуючому пристрої 4 виникають електричні сигнали, які управляють рухом фрезерної головки та забезпечують рух поперечної подачі фрези відповідно до профілю копіру. Рух вертикальної подачі фрезерної головки залишається постійним по величині й напрямку в межах заданого контуру. Профіль оброблюваної поверхні залежить від співвідношення рухів заданої та слідкуючої подач (переміщень по двом координатним напрямкам x і y), результуюча яких визначає заданий контур поверхні (контурне фрезерування). Обробку просторово-складних поверхонь (об'ємне фрезерування) виконують паралельними робочими ходами-рядками. Кожна строчка-це контурне фрезерування. В кінці робочого ходу стіл із заготовкою переміщається щодо фрези в повздовжньому напрямку на ширину строчки, та виконується наступний робочий хід обробка по третій координаті Z. Об'ємне фрезерування найбільш успішно здійснюється на фрезерних верстатах з ЧПК. На відміну від копіювально-фрезерних напівавтоматів, де необхідні відносні переміщення фрези та заготовки задаються в параметричному вигляді шляхом установки на верстат копіру відповідного профілю, на верстатах з ЧПК інформація про необхідної траєкторії інструменту записана на програмному носії. У деяких випадках, наприклад при обробці фасонних поверхонь з

великими габаритними розмірами, верстати з ЧПК є незамінними. На базі фрезерних верстатів з ЧПК випускають багатоцільові верстати, призначені для комплексної обробки корпусних деталей з чотирьох сторін без переустановлення. На рис. 17.4, ж представлений багатоцільовий фрезерно-свердлильно-розточувальний верстат. По горизонтальним напрямним станини 1 переміщається поворотний стіл 6, здійснює повздовжнє та поперечне переміщення по координатам x' та y'. По вертикальним напрямним стійки 2 переміщається шпиндельної бабки 5 (рух подачі по координаті Z). В інструментальному магазині 4 знаходяться різнотипні інструменти, необхідні для обробки даної заготовки. За програмою вони подаються автоматичної рукою 3 в шпиндель і в ньому закріплюються. *Типи фрез та технологічне оснащення фрезерних верстатів.* В залежності від призначення та виду оброблюваних поверхонь розрізняють такі типи фрез: циліндричні (рис. 17.5, а), торцеві (рис. 17.5, б, з), дискові (рис. 17.5, в), кінцеві (рис. 17.5, г), кутові (рис. 17.5, д), шпоночні (рис. 17.5, є), фасонні (рис. 17.5, ж). У циліндричних та дискових односторонніх фрез ріжучі зуб’я розташовані на зовнішній поверхні циліндру. В дискових двосторонніх, торцевих насадних, кінцевих та шпоночних фрезах ріжучі зуб’я розташовані на зовнішній циліндричній поверхні та на одному з торців. В дискових трьохсторонніх фрезах ріжучі зуб’я розташовані на двох торцях та на зовнішній циліндричній поверхні. Фрези виготовляють цільні (рис. 17.5, б-ж) або збірні (рис. 17.5, а, з). Ріжучі кромки можуть бути прямі (рис. 17.5, д) або гвинтові (рис. 17.5, а). Фрези мають загострену (рис. 17.5, і) або затиловану (рис. 17.5, к) форму зуба. У фрез з гострими зуб’ями передня та задня поверхні леза плоскі. У фрез з затилованими зуб’ями передня поверхня плоска, а задня виконана по спіралі Архімеда; при переточуванні по передній поверхні профіль зуба фрези зберігається. Цільні фрези виготовляють з інструментальних сталей. У збірних фрез зуб’я (ножі) виконують з швидкорізальних сталей або оснащують пластинами з твердих сплавів та закріплюють у корпусі фрези пайкою або механічно. Виготовляють торцеві фрези з механічним кріпленням ножів з композитів.

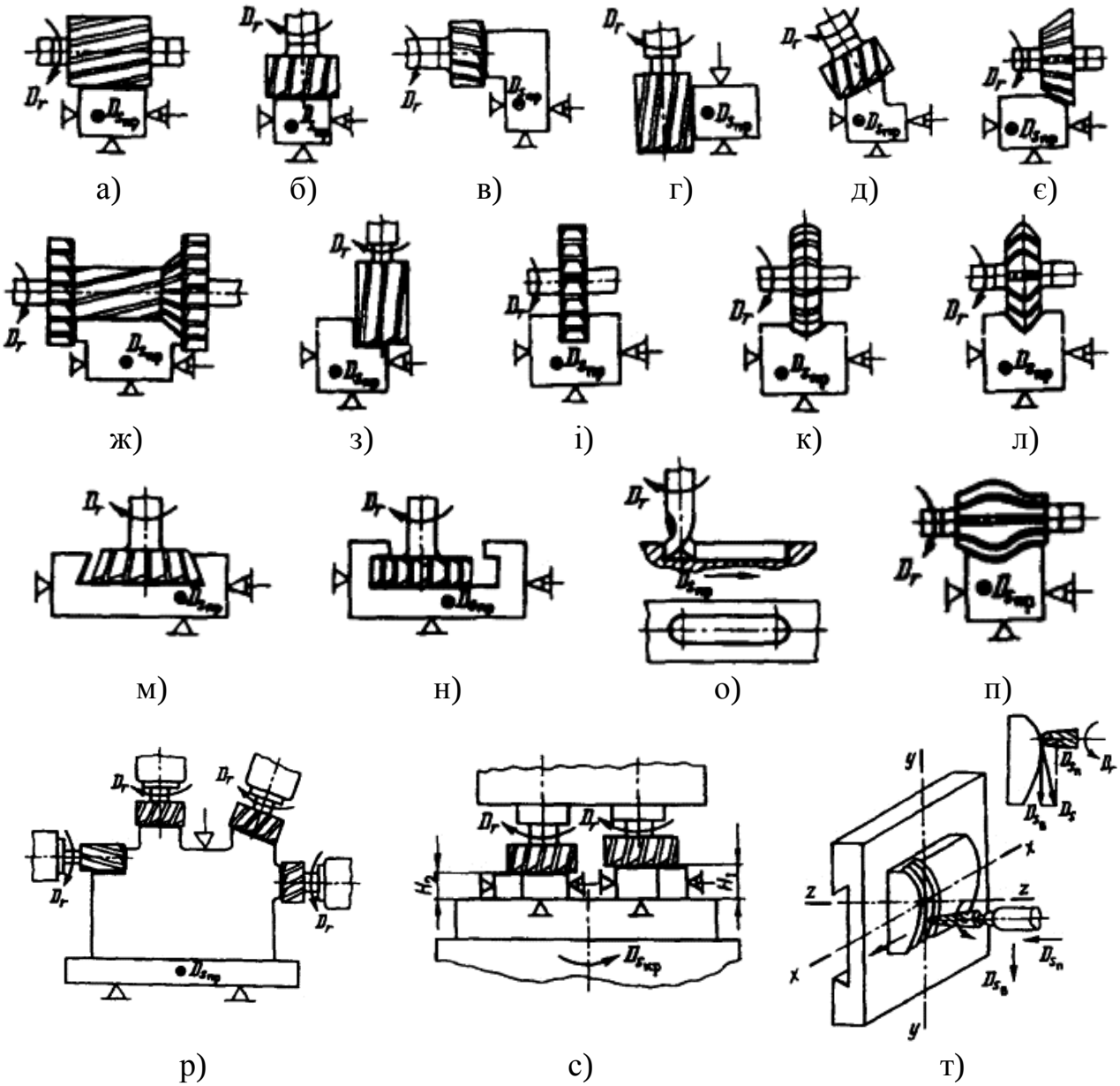


а) б) в) г) д)

є) ж) з) і) к)

Рис. 17.5. Типи фрез

Для закріплення заготовок на фрезерних верстатах застосовують універсальні та спеціальні пристосування. До універсальних пристосувань відносять прихвати, кутки, призми, машинні тиски. При обробці великої кількості однакових заготовок виготовляють спеціальні пристосування, придатні тільки для установки та закріплення цих заготовок на даному верстаті. Важливою приналежністю фрезерних верстатів є ділильні головки, які служать для періодичного повороту заготовок на необхідний кут та для безперервного їх обертання при фрезеруванні гвинтових канавок. Найбільш поширені універсальні лімбові ділильні головки. *Схеми обробки заготовок на фрезерних верстатах*. На рис. 17.6 показані схеми обробки заготовок на верстатах фрезерної групи. *Горизонтальні плоскості* фрезерують на горизонтально-фрезерних верстатах циліндричними фрезами (рис. 17.6, а) та на вертикально-фрезерних верстатах торцевими фрезами (рис. 17.6, б). Циліндричними фрезами доцільно обробляти горизонтальні плоскості шириною до 120 мм. У більшості випадків плоскості зручніше обробляти торцевими фрезами внаслідок більшої жорсткості їх закріплення в шпинделі та більш плавної роботи, так як число одночасно працюючих зубців торцевої фрези більше числа зубців циліндричної фрези.



17.6. Схеми обробки заготовок на фрезерних верстатах

Вертикальні площини фрезерують на горизонтально-фрезерних верстатах торцевими фрезами (рис. 17.6, в) та торцевими фрезерними головками, а на вертикально-фрезерних верстатах кінцевими фрезами (рис. 17.6, г). *Нахилені плоскості* фрезерують торцевими (рис. 17.6, д) та кінцевими фрезами на вертикально-фрезерних верстатах, у яких фрезерна головка зі шпинделем повертається у вертикальній площині. Похилі площини невеликої ширини фрезерують на горизонтально-фрезерному верстаті дисковими однокутовими фрезами (рис. 17.6, є). *Комбіновані поверхні* фрезерують набором фрез (рис. 17.6, ж) на горизонтально-фрезерних верстатах. Точність взаєморозташування оброблених поверхонь залежить від жорсткості кріплення фрез по довжині оправки. З цією метою застосовують додаткові опори

(підвіски), уникають використання невідповідних по діаметру фрез (рекомендоване відношення діаметрів фрез не більше 1,5). *Уступи та прямокутні пази* фрезерують кінцевими (рис. 17.6, з) та дисковими (рис. 17.6, і) фрезами на вертикально та горизонтально-фрезерних верстатах. Уступи та пази доцільніше фрезерувати дисковими фрезами, так як вони мають більшу кількість зубців і допускають роботу з великими швидкостями різання. *Фасонні пази* фрезерують фасонними дисковими фрезами (рис. 17.6, к), *кутові пази* однокутовими та двохкутовими дисковими фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах (рис. 17.6, л). *Клиновий паз* фрезерують на вертикально-фрезерному верстаті за два проходи: прямокутний паз кінцевою фрезою, потім скоси пазу однокутовою фрезою (рис. 17.6, м). *Т-образні пази* (рис. 17.6, н), які широко застосовують у машинобудуванні як верстатні пази, наприклад, на столах фрезерних верстатів, фрезерують звичайно за два проходи: спочатку паз прямокутного профілю кінцевою фрезою, потім нижню частину паза фрезою для *Т*-образних пазів. *Шпоночні пази* фрезерують кінцевими або шпоночними (рис. 17.6, о) фрезами на вертикально-фрезерних верстатах. Точність отримання шпоночного пазу важлива умова при фрезеруванні, так як від неї залежить характер посадки на шпонку спряжених з валом деталей. Фрезерування шпоночкою фрезою забезпечує отримання більш точного паза; при переточуванні по торцевим зуб’ям діаметр шпоночної фрези практично не змінюється. *Фасонні поверхні* незамкнутого контуру з криволінійною утворюючою та прямолінійною направляючою фрезерують на горизонтально та вертикально-фрезерних верстатах фасонними фрезами відповідного профілю (рис. 17.6, п). Застосування фасонних фрез ефективно при обробці вузьких та довгих фасонних поверхонь. Широкі профілі обробляють набором фасонних фрез. Горизонтальні, вертикальні, похилі площини та пази одночасно обробляють на поздовжньо-фрезерних двохстоякових верстатах торцевими та кінцевими фрезами з рухом поздовжньої подачі стола, на якому в пристосуванні закріплена корпусна заготовка (рис. 17.6, р). *Горизонтальні площини* по методу безперервного фрезерування обробляють на карусельно-фрезерних верстатах торцевими фрезами (рис. 17.6, з). Заготовки встановлюють

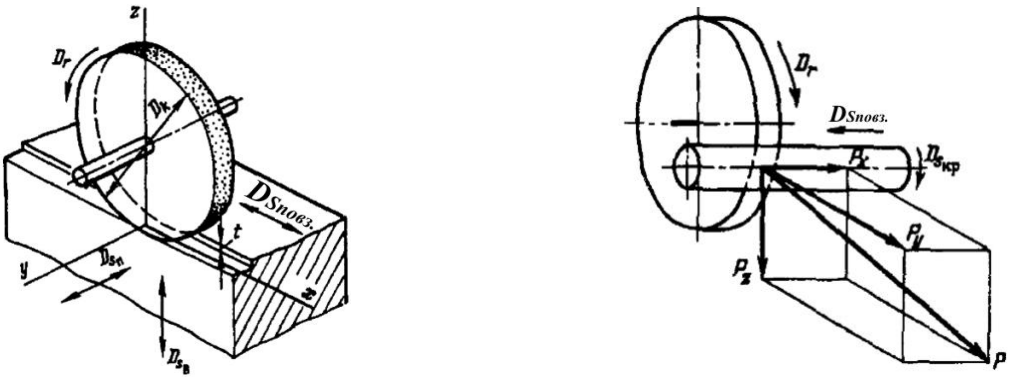
у пристосуваннях, рівномірно розташованих по колу столу, та передають їм рух кругової подачі. Заготовка спочатку проходить чорнову обробку (розмір H_1), а потім фрезою, встановленою в другому шпинделі, обробляється остаточно (розмір H_2). *Просторово-складні поверхні* обробляють на копіювально-фрезерних напівавтоматах (рис. 17.6, т). Обробку роблять спеціальною кінцевою фрезою. Фрезерування ведуть по трьом координатам: *x*, *y*, *z* (об'ємне фрезерування).

ЛЕКЦІЯ №18

5.8. 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, карбідокремнієві 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. 18.1, 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 вибирати їх оптимальні значення.



а) б)

Рис. 18.1. 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 (18.1).

$$V_K = \frac{\pi D_K n_k}{1000 \times 60}, \qquad (18.1)$$

де D_K-зовнішній діаметр шліфувального круга, мм;

n_K-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. 18.1, 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).

$$P_Z = C_{P_Z} V_{заг.}^{a} S_{повз.}^{b} t^{c}, \qquad (18.2)$$

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

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

$$P_y = kP_z, \qquad (18.3)$$

де k-коефіцієнт (k>1).

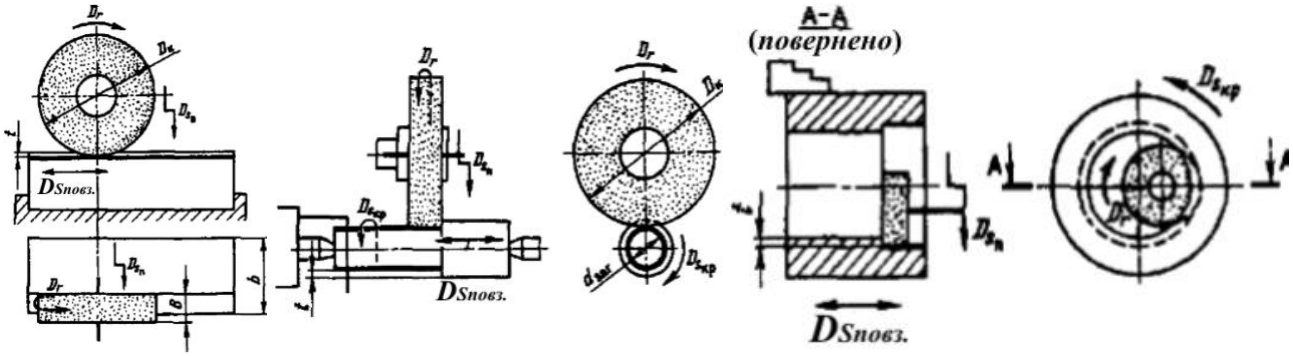
Потужність електродвигуна, яка призводить до обертання шліфувального кругу, кВт залежність (18.4).

$$N_K = \frac{P_Z V_K}{10^3 \eta_1}, \qquad (18.4)$$

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

$$N_{заг.} = \frac{P_Z V_{заг.}}{60 \times 10^3 \eta_2}, \qquad (18.5)$$

де η_1, η_2-відповідно ККД кінематичних ланцюгів передачі обертання кругу 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.



а) б) в)

Рис. 18.2. Основні схеми шліфування

Для всіх технологічних способів шліфувальної обробки головним рухом різання V_K (м/с) є обертання круга. При плоскому шліфуванні зворотно-поступальне переміщення заготовки необхідно для забезпечення повздовжньої подачі $S_{повз.}$ (м/хв.) (рис. 18.2, а). Для обробки поверхні на всю ширину b заготовка або круг повинні мати рух поперечної подачі D_{Sn}. Цей рух відбувається переривчасто (періодично) при крайніх положеннях заготовки в кінці повздовжнього ходу. Періодично відбувається і рух подачі $D_{Sв}$ на глибину різання. Це переміщення здійснюється також у крайніх положеннях заготовки, але в кінці поперечного ходу. При круглому шліфуванні (рис. 18.2, б) рух повздовжньої подачі забезпечується зворотно-поступальним переміщенням заготовки. Подача $S_{повз.}$ (мм/об.заг.) відповідає осьовому переміщенню заготовки за один її оберт. Обертання заготовки є рухом кругової подачі. Подача S_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. 18.2, в. В автоматизованих шліфувальних верстатах цикл роботи верстату включає періодичний вивід кругу 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* в'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°С. 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. Області застосування зв'язувань абразивних інструментів, твердість абразивного інструменту, рекомендації з вибору номера структури абразивного інструменту наведені в довідковій літературі.

5.9. 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:

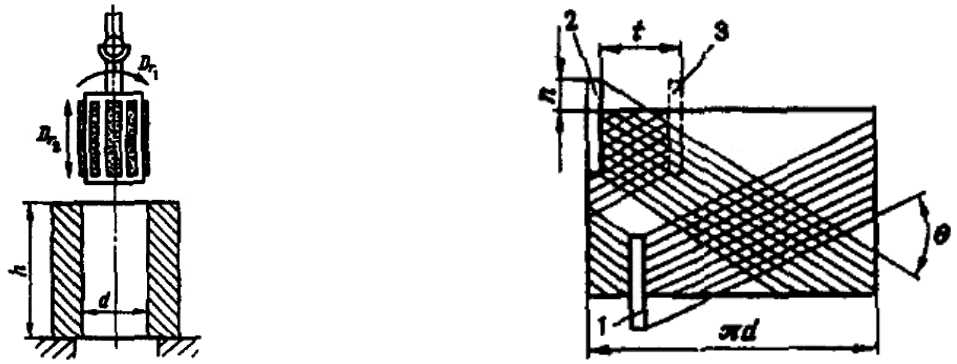
-зносостійкість;

-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 згоряння) на поверхні її деталей. Поверхню нерухомої заготовки обробляють дрібнозернистими абразивними брусками, які закріплюють в хонінгувальній головці (хоні). Бруски обертаються та одночасно переміщаються зворотно-поступально вздовж осі оброблюваного циліндричного отвору висотою h (рис. 18.3, 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 оброблюваної поверхні з'являється сітка мікроскопічних гвинтових слідів переміщення абразивних зерен.



а) б)

Рис. 18.3. Схема хонінгування отворів

Кут θ (рис. 18.3, б) перетину цих слідів залежить від співвідношення швидкостей. На рис. 18.3, 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 *t* 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. 18.4).

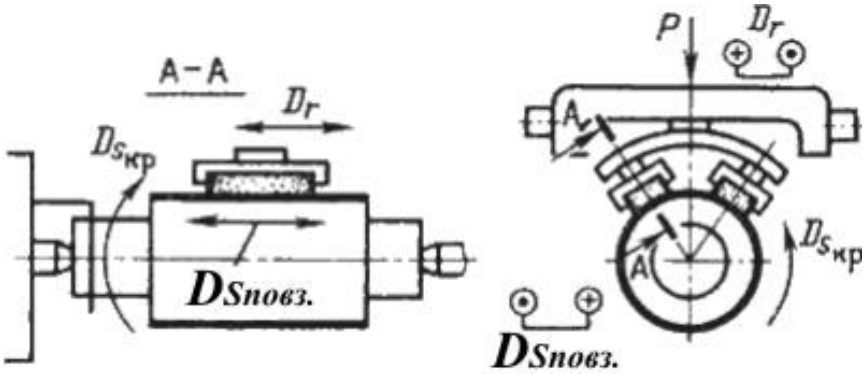
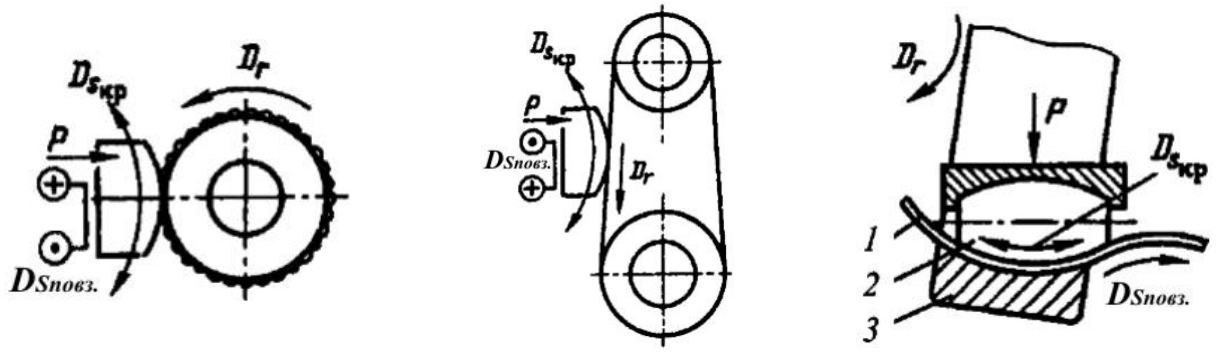


Рис. 18.4. Схема процесу суперфінішування

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 самоустановлюються по оброблюваній поверхні. Співвідношення

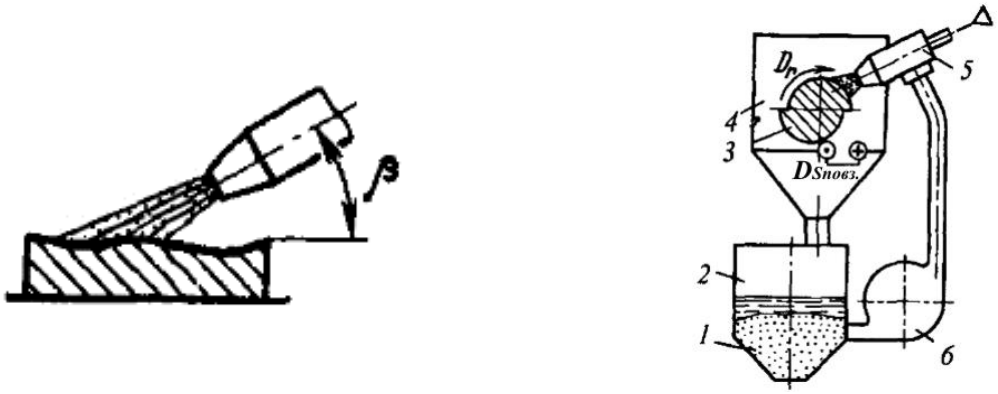
швидкостей $D_{Sкр.}$ до на початку обробки становить 2...4, а в кінці 8...16. *Полірування*. Поліруванням зменшують шорсткість поверхні. Цим методом отримують дзеркальний блиск на відповідальних частинах деталей (доріжки кочення підшипників) або на деталях, застосовуваних для декоративних цілей (облицювальні 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, карбіду 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. 18.5, а) та здійснює рухи подачі $D_{Sповз.}$ та $D_{Sкр.}$ відповідно до профілю оброблюваної поверхні.



а) б) в)

Рис. 18.5. Схеми процесу полірування

Полірування стрічками (рис. 18.5, 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. 18.5, в), що має, наприклад, форму кільця з фасонною внутрішньою поверхнею. Абразивна стрічка 1 підтискається полірувальником 2 до оброблюваної поверхні та періодично переміщується (рух $D_{Sповз}$.). Стрічково-полірувальні верстати оснащують також головками з двома механізмами протягування стрічки для чорнової та чистової обробки. На оброблюваної поверхні формується сітчастий маслоутримуючий рельєф. Полірування можливо в автоматичному чи напівавтоматичному режимі. Заготовки, закріплені на конвеєрі, безперервно переміщаються 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. 18.6, а). Водно-абразивна суспензія переміщається під тиском з великою швидкістю. Частинки абразиву вдаряються об поверхню заготовки та згладжують мікронерівності.



а) б)

Рис. 18.6. Технологічні схеми згладжування мікронерівностей:

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

Інтенсивність знімання оброблюваного матеріалу регулюється зернистістю порошку, тиском струменя та кутом β. 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. 18.6, б показана схема рідинного полірування. Оброблювана заготовка 3 складного профілю переміщується ($D_Г$, $D_{Sповз}$.) 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 β=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 подаються в одне вікно резервуара та, переміщаючись за рахунок коливальних рухів в масі суспензії, видаються в інше вікно.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.М. Дальський, Т.М. Барсукова и др. Технология конструкционньїх материалов. Учебник-М., Машиностроение, 2004.-с. 505-головний підручник.

2. Г.Н. Прейс, Н.А. Сологуб, И.А. Рожнецкий и др. Технология конструкционньїх материалов.-К., Высшая школа, 1991. с. 391.-рівнозначний підручник.

3. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів / М.А. Сологуб-К.: Вища школа, 2002.-374с.