



**Літовченко Петро Іванович** – професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України, кандидат технічних наук, доцент, автор більше 120 надрукованих наукових і методичних робіт.

Фахівець з галузі технології машинобудування.



**Іванова Лариса Петрівна** – старший викладач кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України, автор більше 20 надрукованих наукових і методичних робіт.

Фахівець з галузі автомобілів і автомобільної техніки.

Зміст навчального посібника відповідає робочий програмі дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство» для курсантів, студентів і слухачів вищих військових навчальних закладів технічних напрямків підготовки.

Розглянуто сучасні й перспективні технологічні способи виготовлення заготовок і деталей машин з металів і неметалічних матеріалів: лиття, обробка тиском, зварювання, різання та інші способи.

П.І. Літовченко, Л.П. Іванова. Технологія конструкційних матеріалів

П.І. Літовченко, Л.П. Іванова

## ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ



МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

П. І. Літовченко, Л. П. Іванова

# ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Навчальний посібник

Харків  
2016

УДК 669.018.29.004.14(075.8)

ББК 34.5я73

Л64

*Рекомендовано до друку вченою радою Академії внутрішніх військ МВС  
України як навчальний посібник (протокол № 7 від 27.12.2012 р.)*

Р е ц е н з е н т и:

**В. В. Дмитрик**, завідувач кафедри зварювання Національного технічного університету “ХПІ”, доктор технічних наук, професор;

**А. П. Тарасюк**, завідувач кафедри металорізального обладнання та автотранспортних систем Української інженерно-педагогічної академії, доктор технічних наук, професор;

**О. П. Кондратенко**, професор кафедри автомобільної техніки Національної академії Національної гвардії України, доктор технічних наук, професор.

**Літовченко, П. І.**

Л64      Технологія конструкційних матеріалів [Текст] : навч. посіб. /  
П. І. Літовченко, Л. П. Іванова. – Х. : НА НГУ, 2016. – 306 с. : іл.

ISBN

Зміст навчального посібника відповідає навчальній програмі дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” для студентів і курсантів вищих навчальних закладів технічних напрямків підготовки.

Розглянуто сучасні й перспективні технологічні способи виготовлення заготовок і деталей машин з металів і неметалічних матеріалів.

Іл. 209. Бібліогр. : 23 назви.

**УДК 669.018.29.004.14(075.8)**

**ББК 34.5я73**

А в т о р и:

**П. І. Літовченко**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України (розд. I, II, III (гл. 6...14), IV, V (гл. 21, 23...27));

**Л. П. Іванова**, старший викладач кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України (розд. III (гл. 15...17), V (гл. 22, 28, 30), VI, предм. покажч.)

ISBN

© П. І. Літовченко, Л. П. Іванова, 2016

© Національна академія Національної гвардії України, 2016

## ЗМІСТ

Передмова.....	8
<b>Розділ I. Ливарне виробництво</b>	
<i>Глава 1. Загальні відомості про ливарне виробництво.....</i>	9
Запитання і завдання для самоконтролю.....	12
<i>Глава 2. Виготовлення виливків у разових піщано-глинистих формах.....</i>	12
§ 2.1. Сутність лиття в піщано-глинисті форми.....	12
§ 2.2. Оснастка та інструменти для виготовлення ливарних форм.....	13
§ 2.3. Формувальні і стержневі суміші.....	16
§ 2.4. Ручне виготовлення ливарних форм і стержнів.....	17
§ 2.5. Машинне формування.....	19
§ 2.6. Заливка форм, вибивання і очистка виливків.....	22
Запитання і завдання для самоконтролю.....	23
<i>Глава 3. Спеціальні методи лиття.....</i>	23
§ 3.1. Лиття у кокіль.....	23
§ 3.2. Лиття під тиском.....	25
§ 3.3. Лиття у оболонкові форми.....	27
§ 3.4. Лиття за виплавленими моделями.....	29
§ 3.5. Відцентрове лиття.....	31
§ 3.6. Електрошлакове лиття.....	33
Запитання і завдання для самоконтролю.....	33
<b>Розділ II. Обробка металів тиском</b>	
<i>Глава 4. Теоретичні основи обробки металів тиском.....</i>	35
§ 4.1. Фізичні процеси при обробці тиском.....	35
§ 4.2. Вплив обробки тиском на структуру та властивості металу.....	37
§ 4.3. Нагрівання металу перед обробкою методом гарячої деформації.....	38
Запитання і завдання для самоконтролю.....	41
<i>Глава 5. Основні способи обробки металів тиском.....</i>	42
§ 5.1. Прокатування.....	42
§ 5.2. Кування.....	43
§ 5.3. Гаряче об'ємне штампування.....	45
§ 5.4. Холодне штампування.....	47
§ 5.5. Пресування.....	54
§ 5.6. Волочіння.....	59
Запитання і завдання для самоконтролю.....	60
<b>Розділ III. Зварювання металів</b>	
<i>Глава 6. Загальні поняття і класифікація процесів зварювання.....</i>	62
Запитання і завдання для самоконтролю.....	63
<i>Глава 7. Дугове зварювання металів плавленням.....</i>	63
§ 7.1. Сутність процесу дугового зварювання і його види.....	63
§ 7.2. Джерела струму для дугового зварювання.....	65
§ 7.3. Технологія ручного електродугового зварювання.....	67
Запитання і завдання для самоконтролю.....	69

<i>Глава 8. Автоматичне дугове зварювання</i> .....	69
§ 8.1. Автоматичне зварювання під шаром флюсу.....	69
§ 8.2. Автоматичне дугове зварювання в захисних газах.....	70
§ 8.3. Режим зварювання і його вплив на параметри шва.....	71
§ 8.4. Способи регулювання довжини зварювальної дуги.....	74
Запитання і завдання для самоконтролю.....	76
<i>Глава 9. Електричне контактне зварювання</i> .....	77
§ 9.1. Сутність контактного зварювання.....	77
§ 9.2. Контактне стикове зварювання.....	77
§ 9.3. Контактне точкове зварювання.....	78
§ 9.4. Шовне (роликове) зварювання.....	79
Запитання і завдання для самоконтролю.....	79
<i>Глава 10. Газове зварювання і різання металів</i> .....	80
§ 10.1. Газове зварювання.....	80
§ 10.2. Газокисневе різання металів.....	84
Запитання і завдання для самоконтролю.....	86
<i>Глава 11. Спеціальні способи зварювання</i> .....	86
§ 11.1. Передумови створення нових способів зварювання.....	86
§ 11.2. Плазмове зварювання.....	87
§ 11.3. Електронно-променеве зварювання.....	91
§ 11.4. Лазерне зварювання.....	93
§ 11.5. Зварювання тертям.....	96
§ 11.6. Дифузійне зварювання.....	98
§ 11.7. Ультразвукове зварювання.....	100
§ 11.8. Холодне зварювання.....	103
§ 11.9. Зварювання вибухом.....	105
§ 11.10. Магнітно-імпульсне зварювання.....	107
§ 11.11. Гібридні способи зварювання.....	108
Запитання і завдання для самоконтролю.....	118
<i>Глава 12. Зварювальні роботи при ремонті і відновленні деталей</i> .....	119
§ 12.1. Наплавлення.....	119
§ 12.2. Металізація.....	121
Запитання і завдання для самоконтролю.....	122
<i>Глава 13. Фізико-хімічні процеси при зварюванні і наплавленні деталей</i> .....	122
§ 13.1. Хімічний склад металу шва і процеси у зварювальній ванні.....	122
§ 13.2. Утворення зварного шва.....	125
§ 13.3. Структурні зміни у металах шва і біляшовної зони.....	126
Запитання і завдання для самоконтролю.....	129
<i>Глава 14. Технологічні особливості зварювання різних металів і сплавів</i> ...	129
§ 14.1. Зварюваність металів і сплавів.....	129
§ 14.2. Зварювання чорних металів і сплавів.....	130
§ 14.3. Особливості зварювання кольорових металів і сплавів.....	132
Запитання і завдання для самоконтролю.....	134
<i>Глава 15. Деформації деталей при зварюванні і методи їх усунення</i> .....	135
Запитання і завдання для самоконтролю.....	137

<i>Глава 16. Контроль якості зварних з'єднань</i> .....	138
Запитання і завдання для самоконтролю.....	140
<i>Глава 17. Матеріали для зварювання і наплавлення деталей</i> .....	141
§ 17.1. Присадні матеріали і електроди для зварювання.....	141
§ 17.2. Флюси і захисні гази.....	143
§ 17.3. Горючі гази для зварювальних робіт.....	145
Запитання і завдання для самоконтролю.....	145
<b>Розділ IV. Паяння металів і сплавів</b>	
<i>Глава 18. Фізичні основи паяння металів і сплавів</i> .....	147
§ 18.1. Місце і значення паяння у сучасному виробництві.....	147
§ 18.2. Фізична суть отримання паяного шва.....	147
§ 18.3. Способи паяння.....	149
§ 18.4. Типи паяних з'єднань.....	150
Запитання і завдання для самоконтролю.....	151
<i>Глава 19. Матеріали, що застосовуються для паяння</i> .....	152
§ 19.1. Припої.....	152
§ 19.2. Флюси для паяння.....	153
Запитання і завдання для самоконтролю.....	154
<i>Глава 20. Основи технології паяння деталей при їх ремонті і відновленні</i> .....	154
§ 20.1. Обладнання для паяння.....	154
§ 20.2. Особливості паяння різних металів і сплавів.....	156
Запитання і завдання для самоконтролю.....	158
<b>Розділ V. Обробка конструкційних матеріалів різанням</b>	
<i>Глава 21. Сутність і фізико-механічні основи обробки матеріалів різанням</i> .....	159
§ 21.1. Загальні відомості про обробку матеріалів різанням.....	159
§ 21.2. Геометричні параметри інструмента і їх вплив на процес різання.....	161
§ 21.3. Явища, що супроводжують процес різання.....	164
§ 21.4. Сила різання та її складові.....	166
§ 21.5. Теплові явища в процесі різання.....	168
§ 21.6. Швидкість різання та вплив на неї різних факторів.....	169
§ 21.7. Знос і стійкість інструмента.....	170
Запитання і завдання для самоконтролю.....	171
<i>Глава 22. Інструментальні матеріали</i> .....	172
§ 22.1. Загальні вимоги до інструментальних матеріалів.....	172
§ 22.2. Характеристики і області застосування інструментальних матеріалів.....	173
Запитання і завдання для самоконтролю.....	177
<i>Глава 23. Загальні відомості про металорізальні верстати</i> .....	177
§ 23.1. Класифікація і позначення металорізальних верстатів.....	177
§ 23.2. Приводи і кінематичні характеристики верстатів.....	179
§ 23.3. Механічні передачі і механізми верстатів.....	180
§ 23.4. Кінематичні схеми металорізальних верстатів.....	185
Запитання і завдання для самоконтролю.....	190
<i>Глава 24. Верстати токарної групи. Основні види токарної обробки</i> .....	190
§ 24.1. Загальна характеристика обробки точінням.....	190
§ 24.2. Основні типи токарних верстатів.....	191

§ 24.3. Будова і оснастка токарного верстата та основні види токарних робіт	191
§ 24.4. Обробка на карусельних та багаторізцевих верстатах.....	198
§ 24.5. Обробка на токарних автоматах і напівавтоматах .....	199
§ 24.6. Обробка на токарних верстатах з ЧПК.....	202
Запитання і завдання для самоконтролю.....	204
<i>Глава 25. Обробка заготовок на свердлильних верстатах.....</i>	<i>205</i>
§ 25.1. Види обробки заготовок свердлінням і різальні інструменти.....	205
§ 25.2. Основні типи свердлильних верстатів.....	207
§ 25.3. Режими різання при обробці на свердлильних верстатах.....	209
Запитання і завдання для самоконтролю.....	210
<i>Глава 26. Обробка заготовок на фрезерних верстатах.....</i>	<i>210</i>
§ 26.1. Обробка заготовок фрезеруванням і різальні інструменти.....	210
§ 26.2. Основні типи фрезерних верстатів.....	214
§ 26.3. Режими різання при фрезеруванні.....	215
Запитання і завдання для самоконтролю.....	216
<i>Глава 27. Обробка заготовок на стругальних і довбальних верстатах.....</i>	<i>216</i>
§ 27.1 Основні схеми обробки і різальні інструменти.....	217
§ 27.2. Основні типи стругальних і довбальних верстатів.....	218
§ 27.3. Режими різання при струганні і довбанні.....	219
Запитання і завдання для самоконтролю.....	219
<i>Глава 28. Нарізання зубчастих коліс на зубооброблювальних верстатах.....</i>	<i>219</i>
§ 28.1. Методи формоутворення зубців зубчастих коліс.....	219
§ 28.2. Різальні інструменти для нарізання зубчастих коліс за методом обкату	221
§ 28.3. Основні типи зубооброблювальних верстатів.....	222
§ 28.4. Елементи режиму різання при зубонарізанні.....	224
Запитання і завдання для самоконтролю.....	225
<i>Глава 29. Основи обробки на шліфувальних і заточувальних верстатах.....</i>	<i>225</i>
§ 29.1. Суть і призначення шліфування.....	225
§ 29.2. Основні схеми шліфування.....	226
§ 29.3. Шліфувальні інструменти.....	227
§ 29.4. Типи шліфувальних верстатів.....	230
§ 29.5. Заточувальні верстати і обробка на них.....	232
§ 29.6. Параметри режимів різання при шліфуванні і заточуванні.....	234
Запитання і завдання для самоконтролю.....	234
<i>Глава 30. Автоматизація процесу обробки різанням.....</i>	<i>235</i>
§ 30.1. Сутність автоматизації обробки на металорізальних верстатах.....	235
§ 30.2. Автоматизація завантаження заготовок.....	236
§ 30.3. Автоматизація установа й закріплення заготовок та інструмента	238
§ 30.4. Автоматизація на базі верстатів-автоматів.....	240
§ 30.5. Використання верстатів з ЧПК для автоматизації обробки різанням..	241
§ 30.6. Автоматичні лінії як засіб автоматизації обробки різанням.....	244
§ 30.7. Автоматизація на базі роботизованих комплексів.....	246
§ 30.8. Гнучкі виробничі системи в автоматизації виробництва.....	248
Запитання і завдання для самоконтролю.....	251

## **Розділ VI. Виготовлення деталей з неметалевих та композиційних матеріалів**

<i>Глава 31. Виготовлення гумових технічних виробів.....</i>	253
§ 31.1. Склад і властивості гумових технічних матеріалів.....	253
§ 31.2. Технологія виготовлення гумових технічних деталей.....	254
§ 31.3. Основи технології виготовлення автомобільних шин.....	255
§ 31.4. Виготовлення приводних пасів.....	267
Запитання і завдання для самоконтролю.....	274
<i>Глава 32. Виготовлення технічних виробів з композиційних матеріалів.....</i>	274
§ 32.1. Загальні відомості про композиційні матеріали.....	274
§ 32.2. Технологічні основи виготовлення деталей з металевих КМ.....	277
§ 32.3. Технологічні основи виробництва деталей з порошкових КМ.....	283
§ 32.4. Виготовлення деталей з полімерних КМ.....	289
Запитання і завдання для самоконтролю.....	297
Список використаної і рекомендованої літератури.....	299
Предметний покажчик.....	301



## ПЕРЕДМОВА

Досягнення промисловості в будь-якому розвиненому суспільстві незмінно пов'язані з розвитком технології конструкційних матеріалів. Якість обробки й продуктивність виготовлення виробів є найважливішими показниками рівня індустріалізації держави.

Технологія конструкційних матеріалів як навчальна дисципліна вивчає методи створення виробів із сучасних матеріалів на сучасному устаткуванні і у заданих виробничих умовах. Важливим є виготовлення виробів з використанням автоматизованого виробництва та новітніх досягнень науки й техніки.

Даний навчальний посібник враховує й використовує ці обставини і створює міцну базу для вивчення багатьох технічних дисциплін, таких як “Теорія механізмів і машин”, “Опір матеріалів”, “Деталі машин” та інших, у тому числі спеціальних, які викладають в цивільних і військових вузах технічного напрямку.

Зміст навчального посібника викладено в послідовності, яка передбачена типовими програмами навчальної дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів”.

Під час написання посібника автори намагалися максимально використати досягнення сучасного машинобудівного виробництва, які оприлюднені у спеціальній літературі та сітьових ресурсах технічного напрямку. Зокрема достатньо повно висвітлені питання автоматизації виробничих процесів у машинобудуванні, у тому числі з використанням комп'ютерів, нових систем ЧПК, робототехнологічних комплексів та автоматичних ліній, гнучких виробництв у технологічних процесах обробки матеріалів – лиття, обробки тиском, зварювання, обробки заготовок різанням та ін.

Враховуючи істотний прогрес у технології заготовочного виробництва, широко представлений матеріал, що стосується виготовлення заготовок і деталей із сучасних композиційних матеріалів.

## Розділ I. ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

### Глава 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

**Призначення і суть ливарного виробництва.** Процес отримання заготовок деталей машин та інших виробів за допомогою лиття називають ливарним виробництвом. Завдяки своїй універсальності йому належить чільне місце у машинобудуванні. У загальному машинобудуванні маса виливків становить до 60 %, а у верстатобудуванні – до 80 % усієї маси машин і верстатів. Це пояснюється можливістю виготовлення деталей від найпростішої до найскладнішої форми з різних пластичних або крихких металевих сплавів, масою від кількох грамів до сотень тонн, із стінками завтовшки від 2 до 500 мм і завдовжки до 20 000 мм.

Л и в а р н е в и р о б н и ц т в о – це галузь машинобудування, основним завданням якої є виготовлення заготовок або деталей шляхом заливання розплавленого металу в ливарну форму, порожнина якої за розмірами і конфігурацією ідентична заготовці (деталі). Деталі або заготовки, отримані методом лиття, називають в и л и в к а м и .

Виливати можна будь-яку кількість однакових виливків, які за формою і розмірами ближче до деталей, ніж заготовки, виготовлені іншими способами.

Л и в а р н а ф о р м а – це система елементів, що створюють робочу порожнину, після заливання якої розплавленим металом формується виливок.

Ливарні форми розрізняють:

- за строком служби – разові та багаторазові; разові форми виготовляють із піщано-глинистих та піщано-смоляних формувальних сумішей і використовують для виготовлення лише одного виливка; багаторазові форми (кокілі) виготовляють з металу і використовують багаторазово;

- за станом перед заливанням – сухі, напівсухі, вологі, хімічно тверднучі, самотверднучі;

- за технологією виготовлення – ручного формування та машинного формування.

**Перспективи розвитку ливарного виробництва.** Роль ливарного виробництва у сучасному машинобудуванні безперервно зростає у зв'язку з розвитком нових методів точного лиття, що стимулює широке застосування виливків з деяких важкооброблюваних сплавів у авіації, судно- і приладобудуванні, радіоелектроніці та у хімічному машинобудуванні, де багато деталей з жароміцних і корозієстійких сплавів можна виготовити тільки литтям.

У важкому машинобудуванні наразі широко впроваджується нова, практично безвідходна технологія – електрошлакове лиття, яке дає можливість виготовити виливки, що здебільшого не потребують механічної обробки, і забезпечує отримання металу високої якості, з щільною структурою та високою хімічною однорідністю.

Найбільш перспективними напрямками розвитку ливарного виробництва є такі:

- повна автоматизація проектування та виробництва виливків із застосуванням 3D-моделювання виробів і перехід на електронну форму розроблення та зберігання конструкторсько-технологічної документації;
- зростання виробництва виливків з кольорових сплавів, особливо з алюмінієвих і магнієвих, які у деяких випадках замінюють сталеві й чавунні виливки;
- створення нових методів динамічного ущільнення піщано-глинистих форм;
- модернізація процесів виготовлення опочних і безопочних форм із холоднотверднучих сумішей (ХТС) на базі сучасних сполучних матеріалів і стабілізаторів;
- розвиток процесів вакуумно-плівочного формування, методів лиття за газифікованими моделями та ін.
- регенерація відпрацьованих формувальних та стержневих сумішей на місцях їхнього утворення.

Подальше вдосконалення технології ливарного виробництва, механізація й автоматизація всіх його процесів, освоєння і впровадження прогресивних способів виготовлення виливків дозволять скоротити обсяг їх механічної обробки, знизити собівартість та розширити сферу застосування ливарного виробництва.

**Ливарні властивості сплавів.** Для виготовлення виливків застосовують сірі, ковкі та високоміцні чавуни, вуглецеві та леговані сталі, сплави кольорових металів на основі алюмінію, міді, магнію, титану, молібдену та інших металів.

Для виготовлення якісного виливка разом із механічними, фізичними та хімічними властивостями ливарні сплави повинні мати ще й певні ливарні (технологічні) властивості.

**Р і д к о п л и н н і с т ь** – здатність розплавленого сплаву швидко заповнювати всі канали і порожнини ливарної форми і точно відтворювати контури виливка.

Рідкоплинність ливарних сплавів залежить від температурного інтервалу кристалізації, в'язкості і поверхневого натягу розплаву, температури металу і форми, властивостей ливарної форми і т. п. Чисті метали і сплави, що тверднуть при постійній температурі (евтектичні сплави), мають більшу рідкоплинність, ніж сплави, які створюють тверді розчини і тверднуть у деякому інтервалі температур.

Рідкоплинність сплавів перевіряють шляхом заливки спеціальних технологічних проб.

**У с а д к а** – властивість ливарного сплаву зменшувати свій об'єм при твердненні і охолодженні. Усадка триває від моменту заливки до повного охолодження виливка.

Усадку поділяють на об'ємну й лінійну. Лінійна усадка – зменшення лінійних розмірів виливка при його охолодженні від температури створення корки до температури навколишнього середовища. На лінійну усадку впливають хімічний состав сплаву, його температура при заливці, швидкість охолодження, конструкції виливка і форми. Об'ємна усадка – зменшення

об'єму сплаву під час його охолодження у формі і формування виливку. Наслідком об'ємної усадки є утворення у виливку усадочних раковин, пористості, тріщин і жолоблень.

**Ліквация** – неоднорідність хімічного складу металу виливка в різних його частинах. Ліквация виникає у процесі тверднення виливка з причини різної розчинності окремих компонентів сплаву в його твердій і рідкій фазах. У чавунах і сталях ліквации сприяють сірка, фосфор і вуглець.

Розрізняють дендритну і зональну ліквацию. Дендритна ліквация – неоднорідність хімічного складу в мікрооб'ємах сплаву в межах одного зерна. Зональна ліквация – неоднорідність хімічного складу сплаву в межах всього об'єму виливка або окремих його частин. Наслідком ліквации є неоднорідність механічних властивостей у різних частинах виливка.

Дендритну ліквацию усувають шляхом відпалювання виливків, а для усунення зональної ліквации застосовують вирівнювання товщини стінок виливка, збільшуючи швидкість охолодження виливка, наприклад, за допомогою лиття у кокіль.

**Газопоглинання** – властивість металевих сплавів у рідкому стані (під час перегріву) розчиняти кисень, азот, водень та інші гази повітря, які виділяються під час охолодження в ливарній формі й можуть утворити у виливку газові раковини і пористість.

Для зменшення газопоглинання застосовують плавлення під шаром флюсу, попередню просушку шихтових матеріалів, продувку інертними газами рідкого металу перед заливкою, збільшення газопроникності ливарних форм.

**Вимоги до конструкції виливка.** При конструюванні виливка (рис. 1.1) для поліпшення технологічності його виготовлення необхідно забезпечити такі вимоги до його конструкції:

- рівностінність тіла виливка;
- відсутність піднутрення та великого скупчення металу в окремих його перерізах;

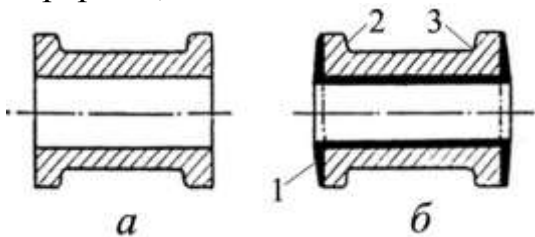


Рис. 1.1. Конструювання виливка (б) на основі кресленика готової деталі (а):

- 1 – припуск на механічну обробку;
- 2 – ливарний ухил; 3 – галтель

- наявність формувальних (ливарних) ухилів на вертикальних стінках (перпендикулярних до площини розніму форми);

- наявність галтелей – округлень внутрішніх кутів поверхонь форми.

**Класифікація способів виготовлення виливків.** У сучасному ливарному виробництві застосовують такі основні способи одержання виливків:

- у піщано-глинистих формах з ручним та машинним формуванням;

- у металевих формах (кокілях);
- під тиском;
- за моделями, які виплавляють;
- у оболонкових формах;

– відцентровим виливанням та ін.

Усі зазначені способи можна розділити на три групи:

1) лиття у разові форми (лиття у піщані й оболонкові форми, лиття за виплавленими моделями і ін.);

2) лиття у багаторазові металеві форми (відцентрове лиття, лиття у кокіль, під тиском і ін.);

3) лиття у комбіновані й напівпостійні форми, виготовлені з металу зі змінними піщаними стержнями (лиття в облицьований кокіль, лиття у кокіль зі змінним стержнем і ін.).

Область застосування різних способів виготовлення виливків визначають об'єм виробництва, вимоги до точності виливка, економічні фактори. Переважну кількість виливків виготовляють у разових піщано-глинистих ливарних формах.

---

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Дайте визначення ливарного виробництва.
2. Що таке ливарна форма?
3. Назвіть ливарні властивості сплавів.
4. Які вимоги висувають до конструкції виливків?
5. Які способи лиття застосовують у сучасному машинобудівному виробництві?

## **Глава 2. ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ У РАЗОВИХ ПІЩАНО-ГЛИНИСТИХ ФОРМАХ**

### **§ 2.1. Сутність лиття в піщано-глинисті форми**

Лиття в піщано-глинисті форми є сучасним універсальним і найпоширенішим способом виготовлення виливків.

Сутність даного способу лиття полягає у виготовленні виливків вільним заливанням розплавленого металу в разову товстостінну ливарну форму, виготовлену з формувальної суміші за багаторазово використовуваними модельними комплектами (дерев'яними або металевими), з наступним твердненням залитого металу, охолодженням виливка у формі, вилученням його з форми та обробкою.

Особливостями лиття в піщано-глинисті форми є:

- малі теплопровідність, теплоємність і густина піщаної форми, що дозволяє одержувати виливки з малою товщиною стінки (2,5...5 мм);
- невисока інтенсивність охолодження розплаву у формі, що призводить до зниження швидкості тверднення виливка, укрупнення структури та появи в масивних вузлах усадочних раковин і пористості;
- порівняно низька вогнетривкість матеріалу, що сприяє розвитку на поверхні контакту “форма–виливок” фізико-хімічних процесів, які можуть призводити до появи пригару в поверхневому шарі виливка.

Технологічна схема процесу виготовлення виливка у разовій піщано-глинистій формі представлена на рис. 2.1.

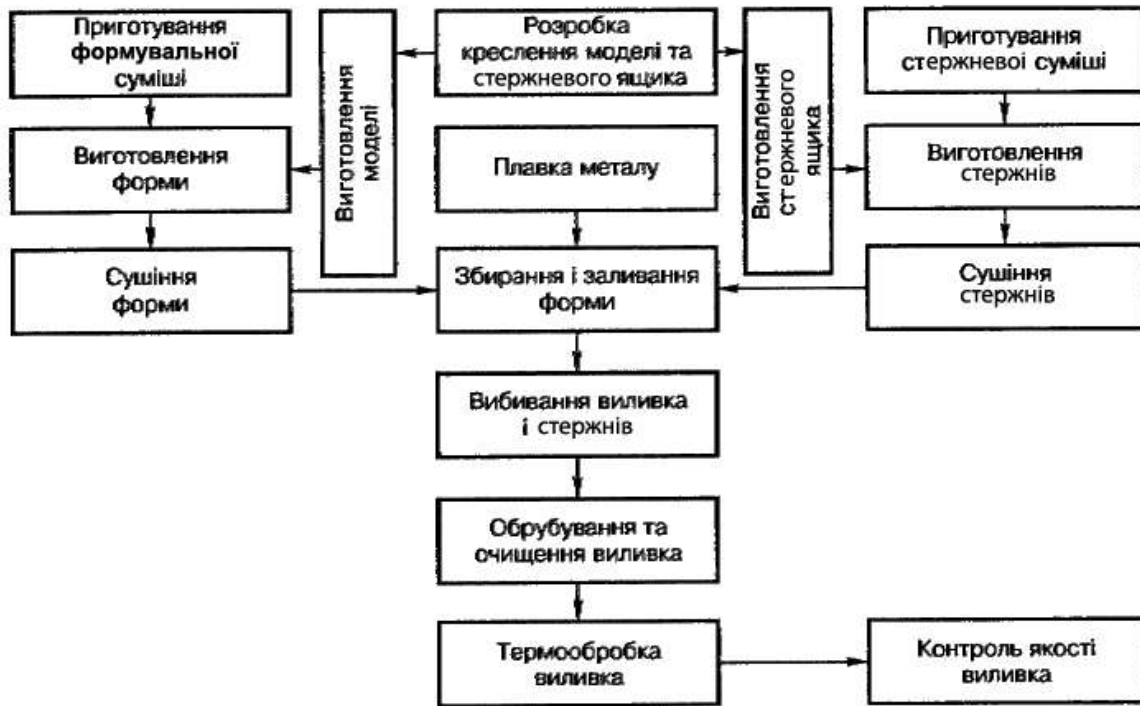


Рис. 2.1. Технологічна схема лиття у піщано-глинисті форми

Всі наведені технологічні операції виконуються у л и в а р н о м у ц е х у, до складу якого входять відділення (ділянки): модельне, сумішоприготувальне, стержневе, формувальне, плавильне, вибивальне, обрубне, очисне. У модельному відділенні за робочими креслениками виготовляють модельний комплект, у сумішоприготувальному – формувальну та стержневу суміші, у формувальному – ливарну форму, у стержневому – стержні, у плавильному – плавлять метал.

Спочатку складають ливарну форму і заливають рідким металом, після його остигання у вибивальному відділенні руйнують форму і видаляють з неї виливок. Далі у обрубному відділенні обрубають ливникову систему і випор, а у очисному відділенні очищують виливок від пригару і залишків формувального матеріалу.

Як видно з рис. 2.1, деякі операції виконуються паралельно, наприклад, виготовлення моделей і стержневих ящиків та формувальних і стержневих сумішей.

## § 2.2. Оснастка та інструменти для виготовлення ливарних форм

Модельний комплект – сукупність технологічної оснастки і пристроїв, необхідних для утворення у ливарній формі робочої порожнини (див. рис. 2.2). Він включає ливарну модель, модельні плити, стержневі ящики, моделі елементів ливникової системи, формувальні, контрольні і складальні шаблони для конкретного виливка.

Л и в а р н а м о д е л ь (рис. 2.2, а) – пристрій для отримання у ливарній формі відбитка, що відповідає конфігурації і розмірам виливка. Залежно від складності виливка, який виготовляють, моделі роблять суцільними і

рознімними, із двох або більше частин. Правильне складання рознімних моделей забезпечується спеціальними центрувальними шипами 1. Конструкція деяких моделей передбачає наявність циліндричних виступів – стержневих знаків 2, що створюють у ливарній формі відбитки для укладання стержнів. Вертикальним стінкам моделі надають конусності, яка забезпечує наявність формувальні ухили у формі, що слугують для зручності виймання моделі з неї.

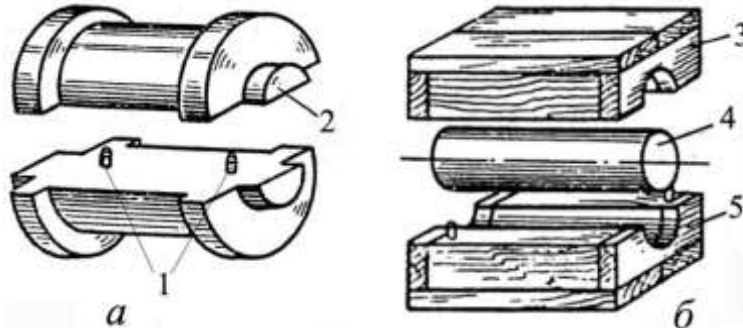


Рис. 2.2. Елементи модельного комплекту:  
а – ливарна модель; б – стержневий ящик

Розміри моделі перевищують відповідні розміри виливка на величину усадки. У розрахунках розмірів моделей усадку для чавунів вважають 1 %, а для сталей – 2 %.

Моделі і стержневі ящики виготовляють із деревини, чавуну, алюмінієвих сплавів, пластмас та інших матеріалів. Дерев'яні моделі застосовують в індивідуальному виробництві і для виготовлення виливків великих розмірів.

Стержневий ящик (рис. 2.2, б) – пристрій, призначений для виготовлення стержнів 4. Стержневі ящики найчастіше виготовляють рознімними, із двох частин 3 і 5.

**Елементи одноразових форм.** Піщано-глиниста одноразова ливарна форма складається з таких елементів (рис. 2.3):

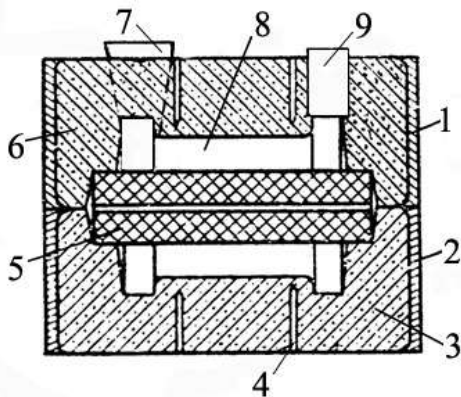


Рис. 2.3. Ливарна одноразова форма

– верхньої 1 і нижньої 2 опоки з розміщеними у них півформами 3 і 6 з газовідвідними каналами 4;

– стержня 5 і порожнини 8;

– ливникової системи 7 з випором 9.

Опока – це рамка для утримання формувальної суміші під час виготовлення форми. Найбільш поширений спосіб виготовлення піщано-глинистих форм – ручний у двох опоках (рис. 2.3). Нижня і верхня опоки з'єднуються між собою штирями, за допомогою яких півформи

точно встановлюються одна відносно другої.

Ливарний стержень є елементом ливарної форми і слугує для утворення отвору, порожнини або іншого складного контуру у виливку.

Ливниковою системою називають систему каналів, через які розплавлений метал підводиться у порожнину форми, а також забезпечується

заповнення ливарної форми з потрібною швидкістю, вихід парів і газів з порожнини форми та живлення виливка розплавом при твердненні.

Залежно від конфігурації і товщини стінок виливка 5 (рис.2.4), складу сплаву і напрямку його заливання у порожнину форми, ливникові системи розділяють на бічні, нижні і верхні.

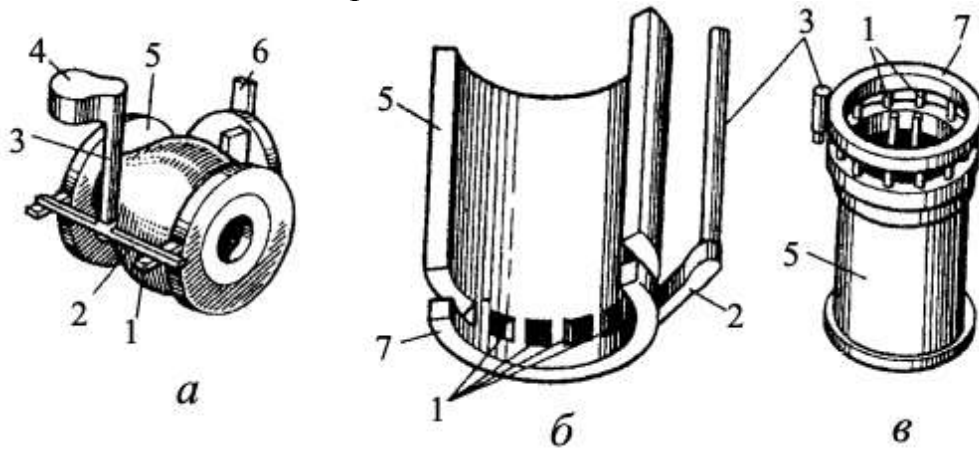


Рис. 2.4. Типи ливникових систем:  
а – бічна; б – нижня; в – верхня

Для бічних ливникових систем (рис. 2.4, а), характерним є те, що живильники 1 й шлаковловлювачі 2 розташовуються в горизонтальній площині рознімання форми, що зручно для формування.

У нижніх ливникових системах (рис. 2.4, б) розплав надходить знизу під залитий рівень без розбризкування, окислювання й спінювання, що дуже важливо при виготовленні виливків зі сплавів, які легко окислюються (алюмінієвих, магнієвих та ін.).

У верхніх ливникових системах (рис. 2.4, в) протягом всього часу заливання забезпечується гаряче дзеркало розплаву, що сприяє спрямованому знизу догори твердненню. Такі ливникові системи використовують для виготовлення чавунних і сталевих виливків.

Розглянемо основні елементи ливникових систем.

Ливникова чаша (лійка) 4 призначена для приймання струменя розплаву і затримання шлаків, що потрапляють разом з розплавом у чашу.

Стояк – вертикальний канал 3, що передає розплав з ливникової чаші до інших елементів ливникової системи.

Шлакоуловлювач слугує для затримання шлаків і передавання розплаву зі стояка до живильників.

Живильники – канали, призначені для подавання розплаву безпосередньо в порожнину ливарної форми. Живильники мають забезпечувати плавне надходження розплаву в порожнину форми. Зазвичай живильники розташовують у нижній напівформі.

Випор б слугує для відведення газів з порожнини форми, він сигналізує про закінчення заливання, зменшує динамічний тиск розплаву на форму, сприяє живленню виливка розплавом при твердненні. Випор установлюють у найвищій точці виливка, тобто:



$$S_{\alpha \hat{a}} < S_{\phi} < S_{\hat{a} \hat{i}},$$

де  $S_{\alpha \hat{a}}, S_{\phi}, S_{\hat{a} \hat{i}}$  – вертикальні розміри елементів виливка, на яких встановлено відповідно живильники, шлаковловлювач і випор.

Колектор – розподільний канал для спрямування розплаву до різних частин виливка. Колектор розташовують горизонтально відносно площин рознімання форми і забезпечують його постійне заповнення розплавленим металом.

**Інструменти і пристрої для формування.** Для ручного виготовлення піщано-глинистих форм застосовується спеціальний формувальний інструмент: совкові лопати, пневматичні або ручні трамбівки, підйомники, прямокутні, заокруглені або загострені гладилки, ложки для оброблення криволінійних поверхонь і вирізування ливникової чаші, гачки для видалення залишків суміші з глибоких і вузьких заглибин форми, голки-душники, пенькова щітка-паличка та ін.

До пристроїв відносяться підмодельні дошки та опоки різноманітних форм і розмірів.

### § 2.3. Формувальні і стержневі суміші

Матеріалом для виготовлення форм і стержнів слугують відповідно формувальні і стержневі суміші.

Формувальна суміш – багатокомпонентна суміш природних і штучних формувальних матеріалів, яка відповідає умовам виготовлення ливарних форм. Як формувальні матеріали використовують: кварцовий пісок, глину, воду і спеціальні добавки. Пісок надає суміші вогнетривкості і газопроникності; глина – пластичності і міцності, але знижує газопроникність та піддатливість. Вміст глини обмежують до 8...12%. Для зменшення пригорання до виливків, а також для підвищення піддатливості і газопроникності у формові і стержневі суміші вводять спеціальні домішки (кам'яновугільний пил, мазут, торф, тирсу тощо).

Залежно від використання формувальні суміші бувають:

- облицьовувальні – з яких створюють робочу поверхню ливарної форми і які виготовляють із свіжих формувальних матеріалів;
- наповнювальні – які насипають зверху облицьовувальних, заповнюючи остаточно ливарну форму; такі суміші виготовляють із оборотної переробленої суміші з додаванням 5...10% свіжих формувальних матеріалів;
- єдині – які використовують у масовому виробництві при машинному формуванні для заповнення всього об'єму ливарної форми; виготовляють їх з оборотної суміші з додаванням до 50% свіжих формувальних матеріалів.

Стержнева суміш – багатокомпонентна суміш природних і штучних формувальних матеріалів, яка відповідає умовам виготовлення ливарних стержнів.

Розрізняють такі основні види стержневих сумішей:

- суміші, що твердіють при тепловому сушінні (компоненти: кварцовий пісок, сполучні матеріали – органічні і неорганічні);
- суміші, що твердіють у оснащенні, яке нагрівається (компоненти: кварцовий пісок, синтетичні смоли і каталізатори);
- рідкі самотверднучі суміші для ливарних форм і стержнів (компоненти: кварцовий пісок, отверджувачі, сполучні матеріали – рідке скло, синтетичні смоли);
- суміші на основі рідкого скла для ливарних форм і стержнів (компоненти: кварцовий пісок, до 3,5 % глини, рідке скло, 10 % розчин їдкового натру).

Формові і стержневі піщано-глинисті суміші повинні мати такі властивості:

- вогнетривкість – здатність суміші не плавитися і не розм'якшуватися під дією розплавленого металу;
- пластичність – здатність суміші набирати форму, яку їй надають (без руйнування), і давати точні відбитки моделі або стержневого ящика;
- газопроникність – властивість суміші пропускати з певною швидкістю газу, які утворюються у формі і які виділяє метал при охолодженні;
- піддатливість – властивість суміші не чинити значного опору усадці металу при охолодженні вилівка у формі (особливо це важливо для стержневих сумішей);
- міцність – здатність ущільненої суміші не розмиватися рідким металом, який заповнює форму;
- непригарність – здатність суміші не вступати в хімічну взаємодію з металом і не пригоряти до поверхні вилівка.

## § 2.4. Ручне виготовлення ливарних форм і стержнів

**Виготовлення форм.** Вручну одноразову піщано-глинисту форму виготовляють у такій послідовності (див. рис. 2.5). Спочатку виготовляють нижню півформу: нижню половину 2 моделі, котра має гнізда для напрямних шипів, розташованих у верхній половині 4 моделі, кладуть площиною рознімання на підмодельну дошку 1 (див. рис. 2.5, а), виготовлену із сухої деревини (сосни, ялини) або металу (частіш за все, зі сплавів алюмінію, чавуну або сталі). Довжина і ширина підмодельної дошки мають бути більшими, ніж відповідні розміри опоки, на 20... 30 мм з кожного боку.

На підмодельну дошку встановлюють нижню опоку 3 верхньою її площиною униз. При цьому між стінками опоки і моделлю має бути відстань 40...60 мм. Потім через сито насипають шар облицьовувальної суміші завтовшки 20...30 мм (див. рис. 2.5, б), а на нього – наповнювальну суміш до повного заповнення опоки (див. рис. 2.5, в). Після цього суміш ущільнюють ручною або пневматичною трамбівкою.

Знявши лінійкою з набитої півформи на рівні верхньої кромки опоки надлишок формувальної суміші, для створення тонких газовідвідних каналів форму наколюють голкою-душником (див. рис. 2.5, г).

Готову півформу разом з підмодельною дошкою і півмоделью перевертають на  $180^\circ$ . Підмодельну дошку знімають і на поверхню півформи насипають тонкий шар сухого дрібного піску для запобігання прилипанню суміші верхньої опоки до нижньої.

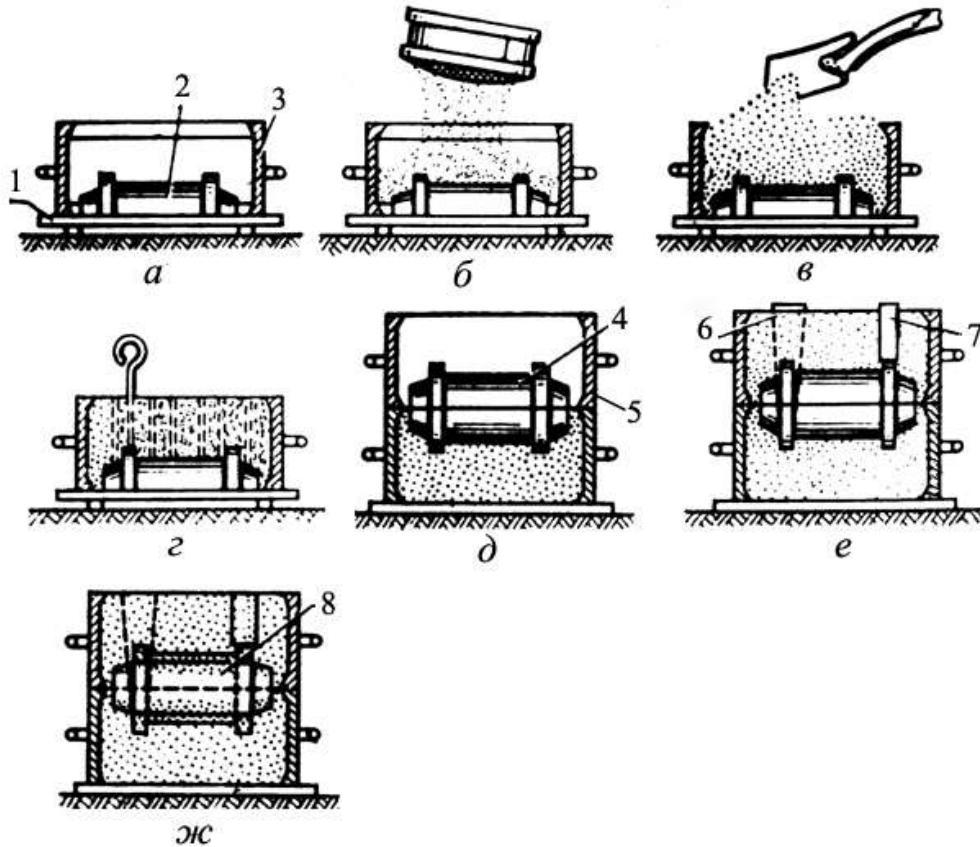


Рис. 2.5. Схема ручного формування для виливання втулки:

1 – підмодельна дошка; 2 – нижня половина моделі; 3 – нижня опока; 4 – верхня половина моделі; 5 – верхня опока; 6 – елементи ливникової системи; 7 – випор; 8 – стержень

На заформовану половину 2 моделі накладають другу половину 4 моделі (рис. 2.5, д). При цьому напрямні шипи останньої заходять в гнізда першої половини моделі. На нижню опоку 3 встановлюють верхню 5, з'єднуючи їх між собою за допомогою штирів, які фіксують опоки одна відносно другої. Встановлюють моделі ливникової системи 6 і випору 7 (рис. 2.5, е). Потім у тій самій послідовності, як і для нижньої опоки, наносять шар облицьовувальної суміші на половину моделі, заповнюють опоку наповнювальною сумішшю, ущільнюють її, після чого, знявши лінійкою надлишок формувальної суміші, наколюють форму голкою-душником і виймають моделі ливникової системи. Потім знімають верхню півформу з нижньої і перевертають її на  $180^\circ$  площиною рознімання догори. У половини моделі загвинчують шурупи-підйомники. Змастивши щіткою формувальну суміш по краях моделі, легким постукуванням по моделі і підйомнику розхитують модель із боку в бік, щоб можна було вийняти її із суміші, не пошкодивши форми. Після цього за допомогою підйомників витягують половину моделі, оглядають форму і виправляють її у тих місцях, де осипалась формувальна суміш. Порожнину

форми покривають пилом, встановлюють стержень 8, складають форму та скріплюють стержнями опоки (рис. 2.5, ж).

**Виготовлення стержнів.** При виготовленні стержнів ручним способом спочатку в обидві половини рознімного стержневого ящика (рис. 2.6, а, б) набивають стержневу суміш.

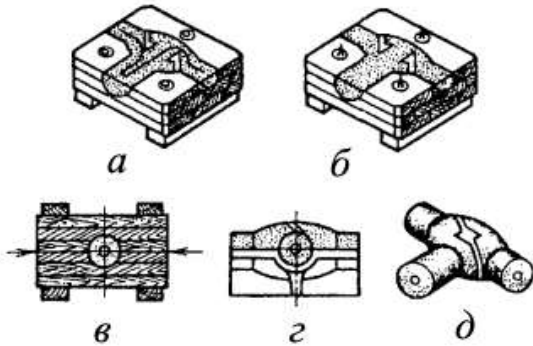


Рис. 2.6. Ручне виготовлення ливарних стержнів

Поверхні рознімання змазують клеєм, обидві половини ящика з'єднують між собою і металевою голкою роблять вентиляційний канал (рис. 2.6, в). Потім стержень виймають із стержневого ящика, установлюють на сушильну плиту (рис. 2.6, г) і поміщують в сушильну піч. У печі стержень сушать при температурі 160...220 °С (залежно від виду отверджувача) з метою підвищення міцності і газопроникності. На рис. 2.6, д

показано підготовлений до складання стержень.

Іноді при виготовленні стержнів у стержневий ящик встановлюють каркас із сталевого дроту діаметром 1...1,5 мм або литий із чавуну. Каркаси встановлюють для підвищення міцності стержнів.

## § 2.5. Машинне формування

Машинне формування застосовують для виробництва виливків у масовому й серійному виробництвах. При формуванні на машинах форми виготовляють у парних опоках з використанням однобічних металевих модельних плит. Машинне формування механізує установку опок на машину, засипання формувальної суміші в опоку, ущільнення суміші, виймання моделей з форми, транспортування й складання форм. Машинне формування забезпечує більш високу геометричну точність порожнини форми, ніж ручне, підвищує продуктивність праці, виключає трудомісткі ручні операції, скорочує цикл виготовлення виливків.

У випадку машинного формування формувальну суміш ущільнюють пресуванням, струшуванням, піскометом, вакуумним формуванням та ін. (див. рис. 2.7).

Ущільнення формувальної суміші пресуванням (див. рис. 2.7, а) здійснюють подаванням стисненого повітря під тиском 0,5...0,8 МПа у нижню частину циліндра 1, у результаті чого пресовий поршень 2 і стіл 3 із прикріпленою до нього модельною плитою 4 піднімаються.

При цьому колодка 7, закріплена на траверсі 8, входить усередину наповнюваної рамки 6 і ущільнює формувальну суміш в опоці 5. Густина формувальної суміші зменшується в міру віддалення від пресової колодки через тертя формувальної суміші по стінках опоки.

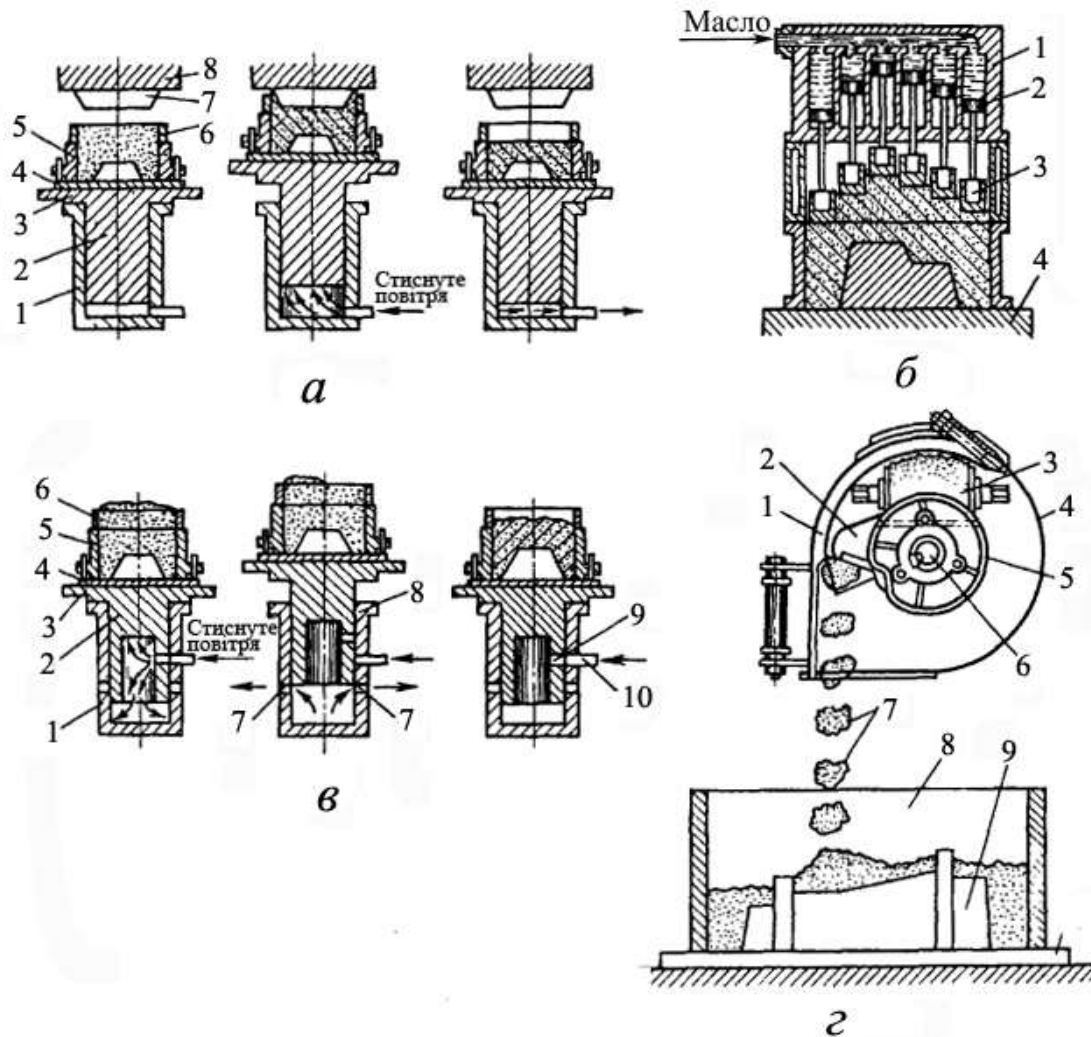


Рис. 2.7. Способи ущільнення формувальної суміші при машинному формуванні:  
*а* – пересуванням; *б* – з використанням багатоплунжерної пресової колодки;  
*в* – струшуванням; *г* – піскометом

Нерівномірність густини формувальної суміші тим більше, чим вище опока і модель. Пресування використовують для ущільнення формувальної суміші в опоках висотою 200...250 мм.

Для досягнення рівномірної густини формувальної суміші в опоці використовують багатоплунжерні пресові колодки (рис. 2.7, б). При пресуванні стіл 4 машини рухається вбік багатоплунжерної пресової колодки 1. Внаслідок різного ступеня опору формувальної суміші у формі плунжери 3 під дією тиску масла на поршень 2 пресують ділянки форми, що знаходяться під ними, незалежно від сусідніх.

Ущільнення формувальної суміші струшуванням (рис. 2.7, в) здійснюють подачею повітря під тиском 0,5...0,8 МПа в нижню частину циліндра 1, у результаті чого струшуючий поршень 2 піднімається на висоту 25...80 мм. При цьому впускний отвір 10 перекривається боковою поверхнею поршня, а нижня його кромка відкриває випускні вікна 7, через які повітря виходить в атмосферу. Тиск під поршнем знижується, і стіл 3 із закріпленою на ньому модельною плитою 4 падає на торець циліндра 8. Швидкість стола, отже, й швидкість модельної плити зменшуються до нуля, водночас як формувальна

суміш в опоці 5 і наповнюваній рамці 6, продовжуючи рухатися вниз за інерцією, ущільнюється. У момент, коли канал 9 струшуючого поршня знаходиться проти отвору 10 струшуючого циліндра, стиснене повітря знову ввійде в порожнину останнього. Це спричинить нове піднімання струшуючого стола й новий удар його об торець і т. д.

Струшуючий стіл зазвичай виконує 120...200 ударів за хвилину. У результаті повторних ударів відбувається ущільнення формувальної суміші в опоці. При цьому шари формувальної суміші біля модельної плити матимуть більшу густину, ніж ті, що лежать у верхній частині форми.

Струшуванням ущільнюють форми висотою до 800 мм. Для ущільнення верхніх шарів форми струшуванням його доповнюють пресуванням. Це забезпечує високу й рівномірну густину форм.

Ущільнення формувальної суміші піскометом (рис. 2.7, з) здійснює робочий орган піскомета – метальна головка, що викидає пакети суміші на робочу поверхню модельної плити. У сталевому кожусі 4 метальної головки обертається закріплений на валу 6 електродвигуна ротор 5 з ковшем 2. Формувальна суміш подається в головку безупинно стрічковим конвеєром 3 через вікно в задній стінці кожуха. При обертанні ковша (1000...1200 об/хв) формувальна суміш збирається в пакети 7 і відцентровою силою викидається через вихідний отвір в опоку 8. Потрапляючи на модель 9 і модельну плиту 10, суміш рівномірно ущільнюється за рахунок кінетичної енергії за висотою опоки. Метальну головку рівномірно переміщують над опокою.

Піскомет є високопродуктивною машиною, тому його застосовують для ущільнення великих ливарних форм. Керування роботою піскомета автоматизовано.

Автоматичне формування застосовують у серійному і масовому виробництві виливків, при цьому ливарна форма передається послідовно з однієї позиції на іншу. Цей перехід здійснюється автоматично різними конвеєрами, штовхачами й іншими пристроями. Для автоматичного формування використовують формувальні автомати, формувальні машини безопочного формування і автоматичні формувальні лінії.

Формувальні автомати, що використовують для виготовлення ливарних форм, виконують всі технологічні операції без участі людини. Формувальні автомати використовують зазвичай у складі автоматичних ліній.

Прикладом повністю автоматизованого виробничого процесу формування є автоматична формувальна лінія (див. рис. 2.8).

На позиції 1 спеціальний механізм знімає верхню опоку, яка без формувальної суміші переміщується на позицію 13. Нижня півформа з формувальною сумішшю й виливками конвеєром 16 з позиції 1 направляється на позицію 2, а потім до механізму 3, де нижня опока звільняється від суміші й виливків, які відправляються в обрубне відділення, а формувальна суміш – на переробку.

Опоки, очищені від формувальної суміші, подаються до формувальних автоматів: верхня – на автомат 12, нижня – на автомат 4. Зміна модельних плит виконується за допомогою візків 11.

Нижня півформа, виготовлена на формувальному автоматі 4, кантувальником 8 перевертається на  $180^\circ$  і на позиції 7 установлюється на попередньо очищений спеціальними щітками 5 візок 6 ливарного конвеєра 16 і подається до механізму спарювання півформ. Верхня півформа, виготовлена на автоматі 12, по роликовому конвеєру 10 переміщується до позиції 9, де спарується з нижньою півформою. Зібрана ливарна форма 14 по конвеєру транспортується на ділянку 15 заливки. Установка стержнів у ливарну форму здійснюється під час просування її по конвеєру від позиції 7 до позиції 9. Для збільшення тривалості охолодження виливків у залитих формах конвеєр виконаний з додатковою петлею на двох рівнях.

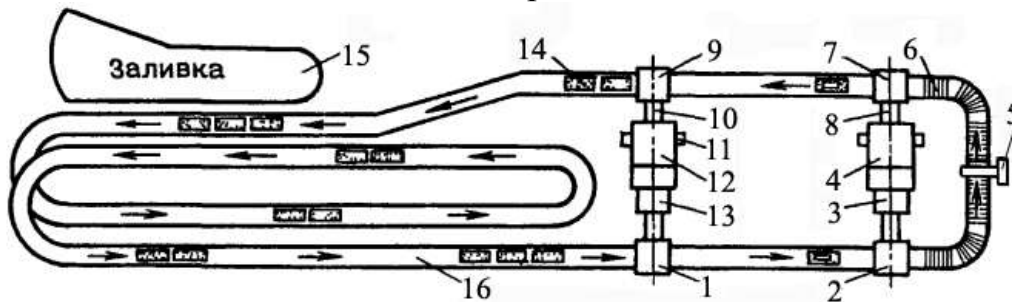


Рис. 2.8. Схема автоматичної формувальної лінії

Автоматичне безпечне формування використовують у виготовленні форм для дрібних виливків із сірого, ковкого й високоміцного чавунів і сталі в серійному й масовому виробництвах. Виготовлення ливарних форм здійснюється на високопродуктивних піскодувно-пресових автоматичних лініях.

## § 2.6. Заливка форм, вибивання і очистка виливків

Після виготовлення форми її заповнюють розплавленим металом, дотримуючись таких правил:

- метал повинен бути нагрітий до температури, яка забезпечує якісне заповнення форми;
- метал необхідно заливати безперервним струменем;
- форму потрібно заливати до тих пір, поки метал не заповнить всі випори і ливарні додатки.

Рідкий метал заливають із ковша у форму через ливникову систему, при цьому він заповнює порожнину між стержнем і стінками форми.

Після тверднення і охолодження металу у формі утворюється виливок, який з неї вибивають. Із виливка вибивають стержень, відрізають або відрубують ливникову систему і випор, очищують від пригорівшої формувальної суміші і зачищають від залишків ливникової системи. Після термічної обробки і наступного контролю виливок спрямовують до механічного цеху або на склад готової продукції.

Переваги лиття у піщано-глинисті форми:

- можливість виготовлення різноманітних за складністю виливків будь-якої маси й розмірів зі сталей, чавунів і сплавів кольорових металів, тобто максимальна універсальність;

- можливість одержання виливків з малою товщиною стінки (2,5...5 мм).
- Недоліки лиття у разові піщано-глинисті форми:
- невисока точність і недостатня чистота поверхні виливків;
  - необхідно залишати значні припуски на механічну обробку;
  - утворення крупнозернистої литої структури, усадочних раковин і пористості;
  - можливість пригару в поверхневому шарі виливка.
- 

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Назвіть основні операції технологічного процесу лиття у піщано-глинисті форми.
2. Дайте визначення модельного комплекту.
3. Що таке ливарна модель?
4. Для чого призначений ливарний стержень?
5. Для чого застосовується опока?
6. Що таке ливникова система?
7. Дайте визначення формувальної та стержневої сумішей.
8. Які вимоги висувають до формувальних і стержневих сумішей?
9. Коротко опишіть послідовність ручного формування.
10. Як виготовляють ливарні стержні?
11. Назвіть основні операції машинного формування і опишіть обладнання, за допомогою якого його виконують.
12. Наведіть переваги і недоліки лиття у піщано-глинисті форми.

## **Глава 3. СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ЛИТТЯ**

### **§ 3.1. Лиття у кокіль**

Сутність лиття у кокіль полягає у виготовленні виливків заливанням розплавленого металу в багаторазові металеві ливарні форми – кокілі з наступним твердненням залитого металу, охолодженням виливка й видаленням його з порожнини форми.

Особливості лиття в кокіль:

- залитий метал і виливок охолоджуються в кокілі з більшою швидкістю, ніж у піщаній формі;
- кокіль практично неподатливий і інтенсивно перешкоджає усадці виливка, що утруднює виймання його з кокілю та може призвести до жолоблення й тріщин у виливках;
- кокіль газонепроникний, його газоутворювальна здатність мінімальна;
- фізико-хімічна взаємодія виливка з кокілем також мінімальна, що сприяє підвищенню якості поверхневого шару виливка.

Кокілі виготовляють литтям, механічною обробкою й іншими методами із сірого чавуну (СЧ15, СЧ20 та ін.), сталі (20, 15Л, 20Л та ін.), інших матеріалів. Стержні й різні вставки виготовляють із легованих сталей (30ХГС, 35ХГСА та ін.), тому що ці елементи кокілю працюють в умовах високих температур і механічних навантажень.

Технологічний процес лиття в кокіль полягає у такій послідовності операцій. Робочу поверхню кокілю з вертикальною площиною



рознімання, що складається з піддона 1 (рис. 3.1, а), двох півформ 2 і 3 та металевого стержня 4, попередньо нагрівають до температури 100...150 °С, покривають із пульверизатора 5 шаром захисного покриття.

За допомогою маніпулятора встановлюють піщаний стержень 6 (рис. 3.1, б), яким створюють у виливку порожнину, що розширюється. Половини кокілю 2 і 3 з'єднують, скріплюють і заливають розплав (рис. 3.1, в). Після тверднення вилівка 7 (рис. 3.1, г) і охолодження його до температури вибивки, кокіль розкривають (рис. 3.1, д) і витягують униз металевий стержень 4. Вилівок 7 маніпулятором видаляється з кокілю (рис. 3.1, е).

У описаний спосіб виготовляють нескладні виливки з невеликими виступами й западинами на зовнішніх поверхнях.

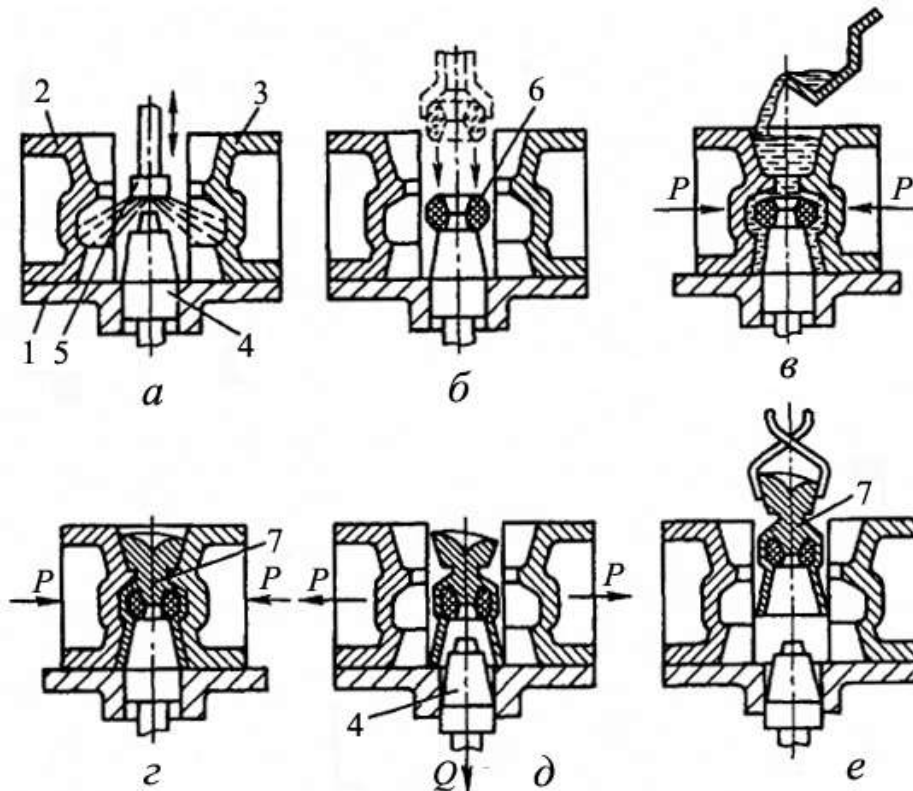


Рис. 3.1. Виготовлення виливків литтям у кокіль з вертикальною площиною рознімання

Для виготовлення великих, але простих за конфігурацією виливків використовують кокілі з горизонтальною площиною розніму. Виливки простої конфігурації виготовляють у нерознімних кокілях. Кокілі з комбінованим (вертикальним і горизонтальним) розніманням застосовують у виготовленні складних виливків.

Всі операції технологічного процесу лиття в кокіль механізовані і автоматизовані. Використовують однопозиційні й багатопозиційні автоматичні кокільні машини й автоматичні лінії виготовлення виливків. Кокільне лиття застосовують у масовому й серійному виробництвах для виготовлення виливків із чавуну, сталі й сплавів кольорових металів з товщиною стінок 3...100 мм, масою від декількох десятків грамів до декількох сотень кілограмів.

Переваги лиття в кокіль:

- економія формувальних і стержневих сумішей;
- висока густина металу і дрібнозерниста структура виливка утворюються завдяки значній швидкості охолодження і кристалізації сплаву, яка в десятки разів вища, ніж у піщаній формі;
- виливки мають високу точність розмірів і малу шорсткість поверхні, що знижує припуски на механічну обробку вдвічі, порівняно з литтям у піщані форми;
- висока продуктивність лиття.

Недоліки лиття в кокіль:

- високі трудомісткість і вартість кокілю;
- неподатливість кокілю, що збільшує ймовірність утворення тріщин у виливках;
- чавунні виливки мають відбілену поверхню, що потребує їх відпалювання.

### § 3.2. Лиття під тиском

Сутність лиття під тиском полягає у виготовленні виливків у металевих прес-формах шляхом заповнення їх розплавом під дією зовнішніх сил, що перевершують сили гравітації. Тверднення виливка відбувається під надлишковим тиском. Після охолодження виливок витягують із прес-форми.

Особливості лиття під тиском:

- висока швидкість потоку розплаву в прес-формі (0,5...120 м/с) під дією значного тиску на розплав (100 МПа й більше); форма заповнюється за десяті й соті частки секунди, що дозволяє одержувати виливки з товщиною стінки менше 1 мм;
- висока швидкість впуску розплаву в порожнину прес-форми не дозволяє повітрю й продуктам розкладання мастильного матеріалу повністю вийти з порожнини прес-форми; вони потрапляють у розплав, що призводить до утворення газоповітряної пористості й зниження густини виливків і пластичних властивостей сплаву;
- висока кінетична енергія розплаву, що рухається, й статичний тиск на нього в момент закінчення заповнення порожнини прес-форми сприяють одержанню поверхневого шару виливка з досить малою шорсткістю;
- висока інтенсивність теплової взаємодії між розплавом, виливком і прес-формою сприяє зміні структури металу у поверхневих шарах виливка, підвищенню її міцності;
- тиск, що діє на розплав при заповненні порожнини прес-форми, дозволяє регулювати тривалість заповнення й змінювати кількість теплоти, що відводиться від розплаву за час її заповнення.

Для виготовлення виливків литтям під тиском застосовують спеціальні машини для лиття під тиском з холодною (горизонтальною або вертикальною) і гарячою камерами пресування.

На машинах з горизонтальною холодною камерою пресування порцію розплавленого металу заливають у камеру пресування 4 (рис. 3.2, а), потім плунжером 5 під тиском 40...100 МПа подають його у порожнину прес-форми (рис. 3.2, б), що складається з нерухомої 3 і рухомої 1 півформ.

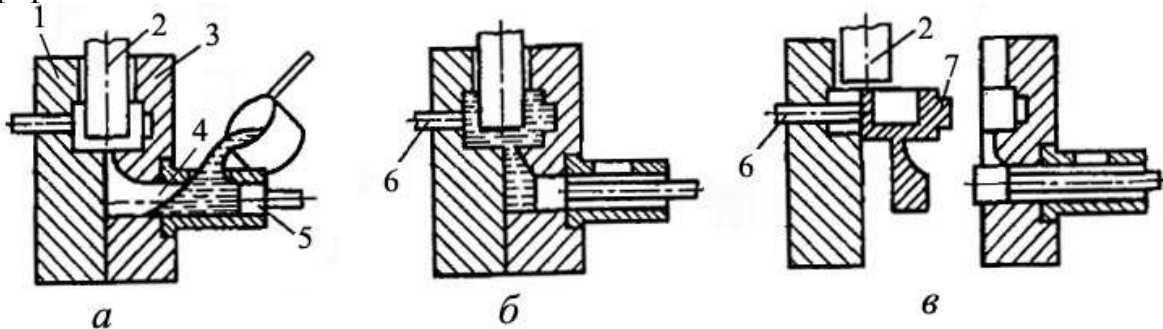


Рис. 3.2. Виготовлення виливків литтям під тиском на машині з горизонтальною холодною камерою пресування

Внутрішню порожнину у виливку одержують за допомогою стержня 2. Після затверднення виливка прес-форма розкривається (рис. 3.2, в), стержень 2 витягують й виливок 7 штовхачами 6 видаляється з робочої порожнини прес-форми. Перед заливкою прес-форму нагрівають до температури 120...320 °С. Після видалення виливка робочу поверхню прес-форми обдувають повітрям і змазують спеціальними матеріалами для попередження приварювання виливка до прес-форми.

Повітря й гази видаляють через канали глибиною 0,05...0,15 мм і шириною 15 мм, розташовані в площині рознімання прес-форми. Зменшити повітряну пористість у виливках дозволяє також продувка камери пресування й порожнини прес-форми киснем до повного витиснення повітря. Після заповнення порожнини прес-форми розплавом кисень вступає з ним у хімічну взаємодію, завдяки чому більша частина кисню витрачається на окислювання розплаву, у результаті у формі утворюється вакуум, що значно зменшує вміст газів у виливку та його пористість.

На машинах з гарячою камерою пресування (рис. 3.3) камера пресування 2 розташована у тиглі 1 з розплавленим металом, що обігривається.

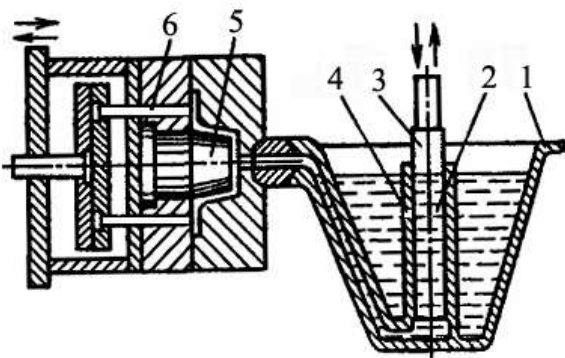


Рис. 3.3. Виготовлення виливків литтям під тиском на машині з гарячою камерою пресування

У верхньому положенні плунжера 3 розплавлений метал через радіальні отвори 4 заповнює камеру пресування. При русі плунжера вниз отвори перекриваються, сплав під тиском 10...30 МПа заповнює порожнину прес-форми 5.

Після затверднення виливка плунжер повертається у вихідне положення, залишки розплавленого металу з каналу зливаються в камеру пресування, а виливок із прес-форми

видаляється виштовхувачами 6. Такі машини використовують для виготовлення виливків із цинкових і магнієвих сплавів масою від декількох грамів до 25 кг.

При литті під тиском температуру заливання сплаву вибирають на 10...20 °С вище температури ліквідусу.

Переваги лиття під тиском:

- можливість отримання виливків з мінімальною товщиною стінок 0,8 мм, з високою точністю розмірів і малою шорсткістю поверхні за рахунок точної обробки й ретельного полірування робочої порожнини прес-форми;

- мінімальні припуски на механічну обробку, що значно знижує її об'єм або зовсім її виключає;

- висока продуктивність процесу.

Недоліки лиття під тиском:

- висока вартість прес-форм і устаткування;

- обмеженість габаритних розмірів і маси виливків;

- наявність повітряної пористості в масивних частинах виливків, що знижує міцність деталей.

Лиття під тиском використовують у масовому й крупносерійному виробництвах. Сьогодні працюють автоматизовані установки лиття під тиском, у яких автоматично виконується змащування прес-форм, регулювання їхнього теплового режиму, подавання розплавленого металу в камеру пресування, виймання вилівка й транспортування його до місця видалення ливників.

### § 3.3. Лиття в оболонкові форми

Сутність лиття в оболонкові форми полягає у виготовленні виливків шляхом заливання розплавленого металу в одноразову тонкостінну рознімну ливарну форму, виготовлену з піщано-смоляної суміші з термореактивним зв'язувальним, та наступним затвердненням залитого розплаву, охолодженням вилівка у формі й вибиванням його з форми.

Головною функціональною властивістю термореактивного зв'язувального матеріалу (частіш за все смоли з технічним уротропіном – пульвербакелітом) є те, що він плавиться при незначному нагріванні, а при подальшому нагріванні полімеризується і необоротно твердіє.

Особливості лиття у оболонкові форми:

- мала інтенсивність теплообміну між виливком і формою;

- використання піщано-смоляної суміші з високою рухливістю для одержання чіткого відбитка моделі;

- використання термореактивних смол як зв'язувальних для одержання тонкостінних форм із високою міцністю й підвищеною точністю розмірів порожнини форми;

- використання дрібнозернистого вогнетривкого матеріалу (кварцового піску) для одержання поверхневого шару виливків з малою шорсткістю.

Оболонкові форми (рознімні, тонкостінні) виготовляють у такий спосіб: металеву модельну плиту 1, нагріту до температури 200...250 °С, закріплюють

на перекидному бункері 2 (рис. 3.4, а) з формувальною сумішшю 3 і повертають його на  $180^\circ$  (рис. 3.4, б).

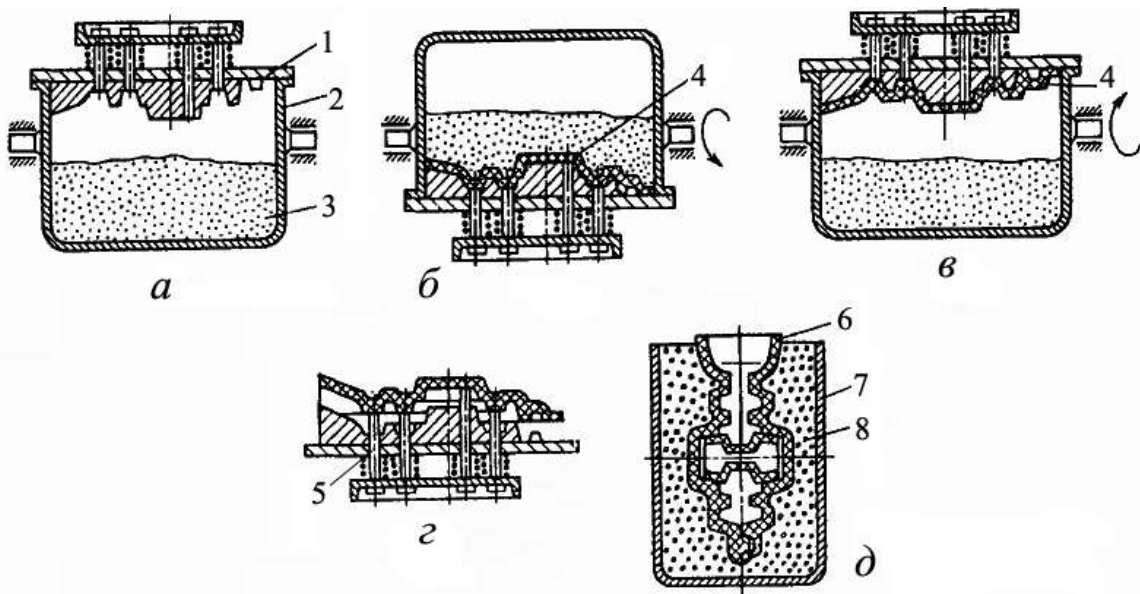


Рис. 3.4. Послідовність операцій формування при литті в оболонкові форми

Формувальна суміш, що складається із дрібнозернистого кварцового піску (93...96 %) і термореактивної смоли ПК-104 (4...7 %), насипається на модельну плиту і витримується 10...30 с. Від теплоти модельної плити термореактивна смола в приграничному шарі переходить у рідкий стан, склеює піщинки і утворює піщано-смоляну оболонку 4 товщиною 5...20 мм залежно від часу витримки. Бункер вертається у вихідне положення (рис. 3.4, в), надлишки формувальної суміші зсипаються на дно бункера, а модельна плита з напівтвердою оболонкою 4 знімається з бункера й нагрівається в печі при температурі 300...350 °С протягом 1...1,5 хв, при цьому термореактивна смола переходить у твердий необоротний стан. Тверда оболонка знімається з моделі декількома спеціальними штовхачами 5 (рис. 3.4, г). Аналогічно виготовляють і другу півформу.

Готові оболонкові півформи склеюють швидкотверднучим клеєм на спеціальних пресах, попередньо встановивши у них ливарні стержні, або скріплюють скобами. Крім оболонкових форм, таким способом виготовляють оболонкові стержні, використовуючи стержневі ящики, що нагріваються. Оболонкові форми й стержні виготовляють на одно- і багатопозиційних автоматичних машинах і автоматичних лініях.

Заливка форм здійснюється у вертикальному або горизонтальному положенні. У вертикальному положенні ливарні форми б поміщають в опоки-контейнери 7 і засипають кварцовим піском або металевим дробом 8 (рис. 3.4, д) для запобігання передчасному руйнуванню оболонки при заливанні розплаву.

Вибивання виливків здійснюють на спеціальних вибивних або вібраційних установках. При очищенні виливків видаляють задирки,

зачищають на шліфувальних кругах місця підведення живильників і потім піддають дробоструменевій обробці.

Переваги методу лиття в оболонкові форми:

- висока точність і низька шорсткість поверхні виливка, що дозволяє зменшити припуски на механічну обробку;
- зниження витрат формувальних матеріалів, оскільки форми тонкостінні.

В оболонкових формах виготовляють виливки з товщиною стінки 3...15 мм і масою 0,25...100 кг із чавуну, вуглецевих сталей, сплавів кольорових металів для автомобілів, тракторів та сільськогосподарських машин.

### § 3.4. Лиття за виплавлюваними моделями

Сутність методу лиття за виплавлюваними моделями складається у виготовленні виливків заливанням розплавленого металу в одноразову тонкостінну нерознімну ливарну форму, виготовлену з рідкотекучої вогнетривкої суспензії за моделлю разового використання, з наступним твердненням залитого металу, охолодженням виливка у формі і вилученням його з форми.

Особливості лиття за виплавлюваними моделями:

- низькі теплопровідність і густина матеріалів форми та її висока початкова температура значно знижують швидкість відведення теплоти від залитого металу, що сприяє поліпшенню заповнення порожнини форми;
- мала інтенсивність охолодження розплаву призводить до зниження швидкості тверднення виливків, укрупнення кристалічної будови, появи в масивних вузлах і товстих стінках (товщиною 6...8 мм) усадочних раковин і пористості;
- підвищена температура форми сприяє розвитку на поверхні контакту форми з виливком фізико-хімічних процесів, що призводять до зміни структури поверхневого шару виливка і появи дефектів на його поверхні.

Технологічний процес виготовлення виливків литтям за виплавлюваними моделями складається з таких основних операцій:

- виготовлення моделей і складання модельних блоків;
- покриття моделей вогнетривкою оболонкою;
- виплавляння модельної сполуки;
- підготовка ливарних форм до заливання;
- заливання розплавленого металу в ливарну форму, тверднення й охолодження виливків;
- вибивання виливків і їхнє відокремлення від ливникової системи;
- очищення виливків.

Разові виплавлювані моделі виготовляють у прес-формах з модельних сполук, що складаються із двох або більше легкоплавких компонентів: парафіну, стеарину, жирних кислот, церезину та ін.

Модельну сполуку в пастоподібному стані запресовують у прес-форми 1 (див. рис. 3.5, а). Після затвердіння моделей прес-форма розкривається і готова модель 2 (див. рис. 3.5, б) виштовхується у ванну з холодною водою. Потім

готові моделі складають у модельні блоки 3 (рис. 3.5, в) із загальною ливниковою системою. Звичайно в один блок поєднують 2...100 моделей.

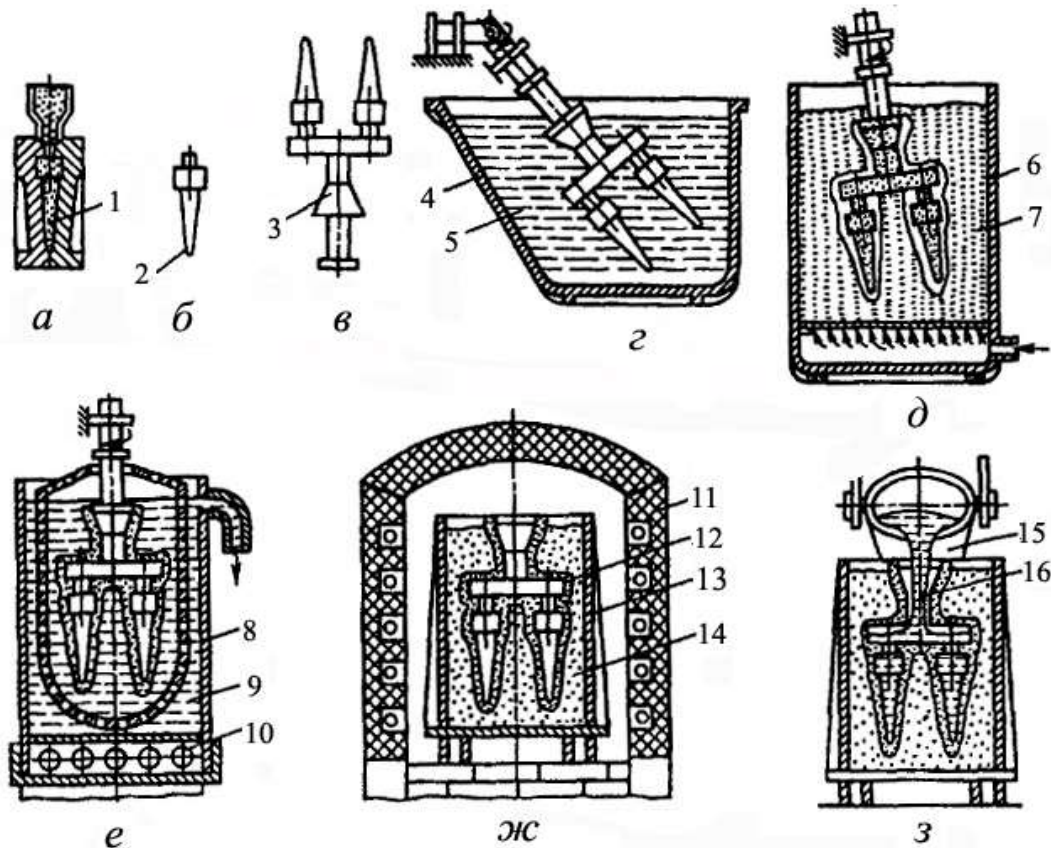


Рис. 3.5. Послідовність виготовлення форми і лиття за виплавлюваними моделями

Для виготовлення ливарних форм за виплавлюваними моделями використовують рідку формувальну суміш – керамічну суспензію, що складається з вогнетривких матеріалів і зв'язувального. Як вогнетривкі матеріали використовують пилоподібний кварц, тонкоподрібнений шамот, електрокорунд ( $Al_2O_3$ ) та інші матеріали.

Вогнетривку суспензію готують у спеціальних мішалках, у бак яких завантажують, наприклад, пилоподібний кварц (65...75 % від маси суспензії) і гідролізований розчин етилсилікату (35...25 %) та ретельно перемішують до повного видалення пухирців.

Форми за виплавлюваними моделями виготовляють зануренням модельного блоку 3 у керамічну суспензію 5, налиту в ємність 4 (рис. 3.5, г) та наступним обсипанням кварцовим піском 7 у спеціальній установці 6 (рис. 3.5, д). Потім модельні блоки сушать 2...2,5 год на повітрі або 20...40 хв у аміачному середовищі. На модельний блок наносять чотири-шість шарів вогнетривкого покриття з наступним сушінням кожного шару.

Моделі з форм видаляють виплавлянням у гарячій воді. Для цього їх занурюють на кілька хвилин у бак 8, наповнений водою 9, що пристроєм 10 нагрівається до температури 80...90 °С (рис. 3.5, е). Модельна сполука розплавляється, спливає на поверхню ванни, звідки видаляється для нового використання. Після виймання з ванни оболонки промивають водою й сушать у

шафах протягом 1,5...2 год при температурі 200 °С. Потім оболонки 12 ставлять вертикально в жаростійку опоку 13, засипають її сухим кварцовим піском 14 і ущільнюють його, після чого форму направляють в електричну піч 11 (див. рис. 3.5, ж), у якій її прожарюють не менше 2 год при температурі 900...950 °С. При прожарюванні частинки зв'язувального спікаються із частинками вогнетривкого матеріалу, волога випаровується, залишки модельної сполуки вигорають. Форми відразу ж після прожарювання заливають розплавленим металом 16 з ковша 15 (див. рис. 3.5, з).

Після охолодження вилівка форму руйнують. Вилівки на обрізних пресах або іншим способом відокремлюють від ливників і для остаточного очищення направляють на хімічне очищення у 45 % водяний розчин їдкого натру, нагрітого до температури 150 °С. Після травлення вилівки промивають проточною водою, сушать, піддають термічній обробці й контролю.

Переваги лиття за виплавлюваними моделями:

- висока точність геометричних розмірів і мала шорсткість поверхні вилівоків, що значно скорочує їх механічну обробку, припуск на яку складає лише 0,2...0,7 мм;
- можливість отримання складних за конфігурацією вилівоків з товщиною стінки 1...3 мм і масою від декількох грамів до декількох десятків кілограмів з жароміцних важкооброблюваних сплавів (турбінні лопатки), корозієстійких сталей (колеса для насосів), вуглецевих сталей;
- високий рівень автоматизації технологічного процесу виготовлення вилівоків, що дозволяє застосовувати його у масовому виробництві.

### § 3.5. Відцентрове лиття

Суть способу відцентрового лиття полягає в тому, що метал заливають у форму, яка обертається з певною швидкістю. Формування вилівка здійснюється під дією відцентрових сил, що забезпечує високі густину і механічні властивості вилівоків.

Відцентровим литтям вилівки виготовляють у металевих, піщаних, оболонкових формах і формах для лиття за виплавлюваними моделями на відцентрових машинах з горизонтальною або вертикальною віссю обертання.

Металеві форми – вилівниці виготовляють із чавуну й стали. Товщина вилівниці зазвичай у 1,5...2 рази більше товщини вилівка. У процесі лиття вилівниці зовні охолоджують водою або повітрям. На робочу поверхню вилівниць наносять теплозахисні покриття для збільшення строку їхньої служби. Перед роботою їх підігрівають до температури 200 °С.

У процесі виготовлення чавунних водопровідних труб на машинах з горизонтальною віссю обертання (див. рис. 3.6, а) вилівницю 2 установлюють на опорні ролики 7 і закривають кожухом 6. Її обертання забезпечує електродвигун 1.

Розплавлений чавун з ковша 4 заливають через жолоб 3, який у процесі заливання чавуну переміщується в напрямку, показаному стрілкою, що забезпечує одержання рівностінного вилівка 5. Для утворення розтруба



використовують піщаний або оболонковий стержень 8. Після затверднення залитого чавуну трубу витягують із виливниці. На таких машинах виготовляють втулки, кільця й т. п.

При одержанні виливків на машинах з обертанням форми навколо вертикальної осі (рис. 3.6, б) розплавлений метал з розливної ковша 4 заливають у форму 2, укріплену на шпинделі 1, який обертає електродвигун.

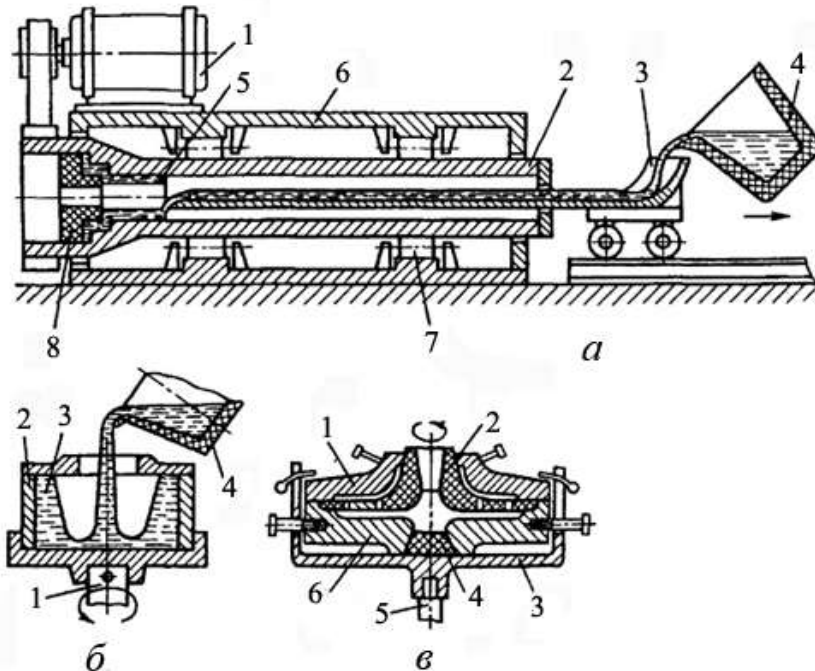


Рис. 3.6. Способи відцентрового лиття:

*a* – на машинах з горизонтальною віссю обертання; *б* – з обертанням форми навколо вертикальної осі; *в* – лиття у кокіль

Розплавлений метал відцентровими силами притискається до бічної стінки виливниці. Ливарна форма обертається до повного його затверднення. Після зупинки форми виливок 3 вилучають з неї. На таких машинах виготовляють кільця великого діаметра висотою не більше 500 мм.

На рис. 3.6, в показана схема лиття у кокіль складних тонкостінних робочих коліс на машинах з вертикальною віссю обертання: 1, б – половини кокілю; 2 – стержень, що формує канал робочого колеса і його лопатки; 3 – стіл машини; 4 – стержень, який сприймає удар струменя металу, що заливається; 5 – шпиндель відцентрової машини. Частота обертання виливниці при відцентровому литті становить 150...1200 об/хв. Виливниці перед заливанням нагрівають до температури 150...200 °С. Температуру заливання сплавів призначають на 100...150 °С вище температури ліквідусу.

Переваги відцентрового лиття:

- одержання внутрішніх порожнин трубних заготовок без застосування стержнів;
- більша економія сплаву через відсутність ливникової системи;
- можливість одержання двошарових заготовок, що досягається заливанням по черзі у форму різних сплавів (сталь і чавун, чавун і бронза й т. д.).

Для виготовлення виливків відцентровим литтям використовують автоматичні й багатопозиційні карусельні машини, у яких керування всіма технологічними операціями процесу здійснюється за допомогою комп'ютера.

Відцентрове лиття застосовується у виробництві чавунних труб, залізничних коліс, гільз, заготовок поршневих кілець двигунів автомобілів та ін.

### § 3.6. Електрошлакове лиття

Сутність електрошлакового лиття полягає у переплавленні електрода, що витрачається, у водоохолоджуваній металевій формі (кристалізаторі). Процес дозволяє поєднати місце й час операцій розплавлення металу, його заливання й витримання виливка у формі. Як електрод, що витрачається, використовують прокат.

Для виготовлення виливків у металеву форму (кристалізатор) б заливають попередньо розплавлені шлаки 4, що складаються із фториду кальцію або суміші на його основі (рис. 3.7). Кристалізатор повинен мати високий електроопір.

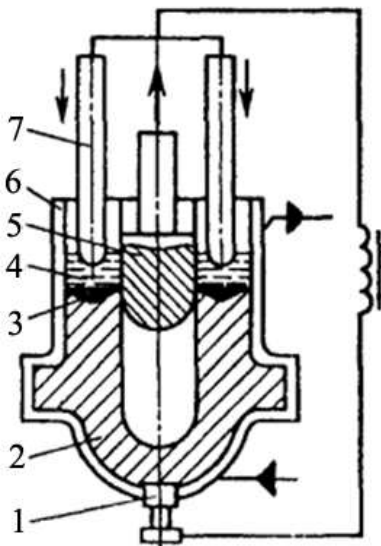


Рис. 3.7. Схема електрошлакового лиття

При пропусканні електричного струму через електрод 7, занурений у шлакову ванну, і запал 1 виділяється значна кількість теплоти, за рахунок якої шлакова ванна нагрівається до температури 1700 °С, що спричинює оплавлення електрода. Краплі розплавленого металу проходять через розплавлені шлаки й утворюють під ним металеву ванну 3. Ванна розплавленого металу у водоохолоджуваній формі твердне, послідовно створюючи щільний, без усадочних дефектів (раковин і пористості) виливок 2. Внутрішню порожнину виливка утворює металевий вставка 5.

Рафінувальна дія розплавлених шлаків сприяє видаленню кисню, знижує вміст сірки й неметалічних включень, що обумовлює одержання виливків з високими механічними й експлуатаційними властивостями.

Електрошлаковим литтям виготовляють виливки відповідального призначення масою до 300 т, корпуса клапанів і засувки атомних і теплових електростанцій, колінчасті вали суднових дизелів, корпуса посудин надвисокого тиску, ротори турбогенераторів та ін.

#### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Поясніть суть і особливості методу лиття у кокіль.
2. З яких матеріалів виготовляють кокіль?
3. Назвіть основні операції технологічного процесу лиття у кокіль.
4. Наведіть переваги і недоліки лиття у кокіль.
5. У чому суть і особливості методу лиття під тиском?
6. Які схеми лиття під тиском застосовують у виробництві?

7. Назвіть переваги і недоліки лиття під тиском.
8. У чому полягає суть і особливості лиття в оболонковій формі?
9. З якою метою застосовується термореактивна зв'язувальна речовина у матеріалі оболонкової форми?
10. Наведіть послідовність операцій отримання оболонкової форми і лиття в неї.
11. Назвіть переваги лиття в оболонковій формі.
12. Поясніть суть і особливості лиття за виплавлюваними моделями.
13. Наведіть послідовність операцій технологічного процесу лиття за виплавлюваними моделями.
14. Які матеріали застосовуються для виготовлення виплавлюваної моделі і ливарної форми для лиття за нею?
15. Назвіть температури, за яких виплавляють модель, сушать форму, прожарюють форму.
16. Назвіть переваги лиття за виплавлюваними моделями.
17. Дайте визначення відцентрового лиття і наведіть його особливості.
18. Що таке виливниця і з якого матеріалу її виготовляють?
19. Опишіть основні схеми відцентрового лиття.
20. Наведіть переваги відцентрового лиття і де його застосовують.
21. Коротко опишіть суть і переваги електрошлакового лиття.
22. Яку роль відіграє шлакова ванна у процесі електрошлакового лиття?

## Розділ II. ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

### Глава 4. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

**Сутність і призначення обробки металів тиском.** Сутність обробки металів тиском полягає у використанні їх здатності за певних умов пластично деформуватись під дією зовнішніх сил.

**Пластичність** – властивість матеріалу, яка полягає у його здатності необоротно змінювати форму та розміри тіла під дією зовнішніх сил без порушення його цілісності, але зі зміною структури та механічних властивостей металу.

**Обробка металів тиском** – технологічні процеси формозмін за рахунок пластичної деформації в результаті впливу на заготовку зовнішніх сил.

Обробка тиском забезпечує високі продуктивність та точність розмірів, якість поверхні заготовок, невеликі припуски на механічну обробку і високі механічні властивості металу порівняно з литтям. Обробці тиском у машинобудуванні піддають близько 90 % сталі і більшу частину кольорових металів.

#### § 4.1. Фізичні процеси при обробці тиском

Під дією зовнішніх сил фізичне тіло залежно від величини діючих сил може зазнавати пружної або пластичної деформації.

**Пружна деформація** тіла характеризується зміщенням атомів металу відносно один одного під дією зовнішніх сил на величину, меншу за міжатомні відстані. Після припинення дії зовнішніх сил атоми повертаються у вихідне положення, а початкова форма та розміри тіла повністю відновлюються.

**Пластична деформація** характеризується зміщенням атомів металу відносно один одного на величини, більші за міжатомні відстані. Після припинення дії зовнішніх сил атоми не повертаються у вихідне положення, а займають нові положення рівноваги, що призводить до необоротної зміни форми і розмірів тіла. Фізично пластична деформація здійснюється за рахунок зсувів і поворотів одних часток зерен відносно інших – ковзання і двійникування.

**Ковзання** являє собою паралельний зсув тонких шарів кристала відносно суміжних. Ковзання однієї частини кристалічної решітки відносно іншої відбувається по площинах найбільш щільного розміщення атомів (площинах ковзання). З цієї причини найбільшу пластичність мають метали з ГЦК решіткою, а найменш здатними до пластичної деформації є метали з гексагональною решіткою. В реальних металах кристалічна решітка має лінійні дефекти (дислокації), переміщення яких полегшує ковзання.

**Двійникування** – це механізм пластичної деформації, що спричинює симетричну зміну орієнтування однієї частини кристала відносно іншої.

Для початку переходу атомів у нові положення рівноваги необхідна певна величина діючих напружень, які виникають під дією зовнішніх сил. Ця величина залежить від міжатомних сил і взаємного розташування атомів (типу кристалічної решітки, наявності та розміщення домішок, форми і розміру зерен полікристалів і т. ін.). При цьому атоми не виходять із зони силової взаємодії і деформація відбувається без порушення цілісності металу, густина якого практично не змінюється.

За певної величини пластичної деформації (гранична деформація) може початись руйнування металу. На величину граничної деформації впливає багато факторів, основні з яких – механічні властивості металів і сплавів, температурно-швидкісні умови деформування і схема напруженого стану. Останній фактор спричинює великий вплив на величину граничної деформації. Наприклад, найбільша гранична деформація досягається за відсутності напружень розтягу і збільшення стискуючих напружень.

Схеми напруженого стану в різних процесах і операціях обробки тиском різні, внаслідок чого для кожної операції, металу і температурно-швидкісних умов існують свої граничні деформації.

На пластичність матеріалу впливають його склад, температура нагріву, швидкість деформації.

Найбільшу пластичність мають чисті метали. Сплави у вигляді твердих розчинів більш пластичні, ніж сплави, що утворюють хімічні сполуки. Компоненти сплавів також впливають на їх пластичність. З підвищенням вмісту вуглецю пластичність сталі зменшується. Сталі, що містять понад 1,5 % вуглецю, майже не піддаються куванню. Домішки сірки, кремнію та фосфору знижують пластичність сталей. У легованих сталях хром і вольфрам зменшують, а нікель та ванадій підвищують пластичність сталі.

З підвищенням температури нагріву пластичність металів зростає, а міцність зменшується. Проте у вуглецевих сталях при температурах 100...400 °С пластичність знижується, а міцність підвищується. Цей інтервал температур має назву зони крихкості, або синьоломкості сталі, що пояснюється появою найдрібніших часток карбідів у площинах зсуву при деформації.

Швидкість деформації являє собою зміну ступеня деформації  $\varepsilon$  за одиницю часу (на відміну від швидкості деформування, під якою розуміють швидкість переміщення деформуючого інструмента). З підвищенням швидкості деформації границя міцності зростає, а пластичність зменшується. Для обробки тиском нагрітого металу це можна пояснити впливом двох протилежних процесів: зміцненням при деформації (наклеп) та зменшенням міцності внаслідок рекристалізації.

Рекристалізація – процес зародження нових центрів кристалізації та утворення з них нових рівноважних зерен при нагріванні деформованих металів вище  $0,4\dot{O}_{i\dot{v}}$ , який супроводжується зменшенням міцності, підвищенням пластичності та відновленням інших властивостей.

Загальні принципи пластичної деформації формуються у вигляді законів.

**Закон сталості об'єму:** при пластичній деформації об'єм металу практично не змінюється.

**Закон найменшого опору:** при пластичній деформації метал переміщується завжди у бік найменшого опору.

**Закон напружень зсуву:** пластична деформація настає тільки тоді, коли напруження зсуву у металі перевищують границю його текучості.

**Закон подібності:** необхідні кількості енергії для зміни форм геометрично подібних тіл, які мають однакову внутрішню будову, співвідносяться між собою як їхні маси (об'єми).

## § 4.2. Вплив обробки тиском на структуру та властивості металу

Залежно від температурно-швидкісних умов деформування розрізняють холодну і гарячу деформацію.

Холодна деформація відбувається при температурах, нижчих за температури рекристалізації, і характеризується зміною форми зерен, які витягуються в напрямку найбільш інтенсивної течії металу (рис. 4.1, а).

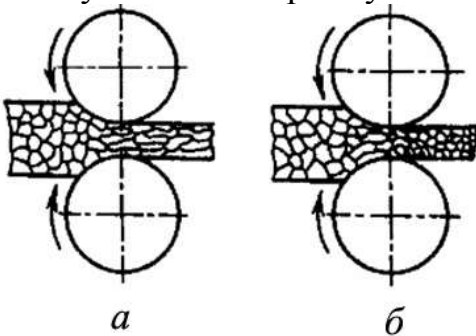


Рис. 4.1. Зміна структури металу при обробці тиском

При холодній деформації формозміна супроводжується зміною механічних і фізико-хімічних властивостей металу. Це явище називають зміцненням – наклепом, воно проявляється в тому, що зі збільшенням деформації в металі підвищуються характеристики міцності, тоді як характеристики пластичності знижуються. Метал стає більш твердим, але менш пластичним. Зміцнення виникає внаслідок повороту площин ковзання та збільшення

перекручувань кристалічних решіток у процесі холодного деформування (нагромадження дислокацій біля границь зерен).

Зміни, що виникли після холодної деформації в структурі й властивостях металу, можуть бути усунуті, наприклад, за допомогою термічної обробки (відпалу). У цьому випадку відбувається внутрішня перебудова, за якої внаслідок додаткової теплової енергії, що збільшує рухливість атомів, у твердому металі без фазових перетворень із безлічі центрів ростуть нові зерна, які замінюють собою витягнуті, деформовані зерна.

Зміни в структурі та властивостях металу також можуть бути усунені рекристалізацією, яка відбувається з певною швидкістю, причому час, необхідний для рекристалізації, тим менший, чим вище температура нагріву деформованої заготовки.

Гаряча деформація виконується при температурі, вищій за температуру рекристалізації, для того щоб отримати повністю рекристалізовану структуру. Співвідношення швидкостей деформування і рекристалізації таке,

що рекристалізація встигає відбутись в усьому об'ємі заготовки, і мікроструктура після обробки тиском є рівноважна, без слідів зміцнення (див. рис. 4.1, б).

Залежно від складу сплаву і швидкості деформації, гарячу деформацію зазвичай виконують при температурах  $(0,7 \dots 0,75)T_{\gamma\delta}$ .

Якщо метал по закінченню деформації має структуру не повністю рекристалізовану, зі слідами зміцнення, то така деформація називається неповною гарячою деформацією. Вона призводить до отримання неоднорідної структури, зниження механічних властивостей і пластичності, тому є небажаною.

Гаряча деформація також спричинює зміцнення – гарячий наклеп, який повністю або частково знімається рекристалізацією, що відбувається за температур обробки і при наступному охолодженні.

У разі гарячої деформації опір деформуванню приблизно в 10 разів менший, ніж при холодній, у процесі обробки тиском він змінюється мало, тому гарячу обробку застосовують для виготовлення великих деталей. Висока пластичність пояснюється тим, що залізо в цьому інтервалі температур має ГЦК решітку, яка найлегше піддається деформації. Проте при гарячій деформації на поверхні утворюється шар окалини, що погіршує якість і точність розмірів поверхні.

### **§ 4.3. Нагрівання металу перед обробкою методом гарячої деформації**

Максимальну температуру нагріву, тобто температуру початку гарячої обробки тиском, призначають такою, щоб не було перепаду або перегріву. В процесі обробки нагрітий метал зазвичай охолоджується, стикаючись з більш холодним інструментом і навколишнім середовищем. Закінчують гарячу обробку тиском за певної температури, нижче якої пластичність внаслідок зміцнення (через те, що рекристалізація не встигає відбутись) знижується, і у виробі можуть утворюватися тріщини. Але при високих температурах закінчувати деформування недоцільно, бо в цьому випадку після деформування зерна встигають вирости, і утворюється крупнозерниста структура, яка характеризується низькими механічними властивостями.

Для вуглецевих сталей температурний інтервал нагріву визначають за діаграмою стану. Температура початку деформування на  $100 \dots 200$  °С нижче температури плавлення, а температура закінчення деформування на  $50 \dots 100$  °С вище температури рекристалізації (див. рис. 4.2).

Заготовки нагрівають у печах, які залежно від джерела енергії поділяються на полум'яні та електричні.

У полум'яних печах тепло утворюється при згорянні рідкого (мазут) або газоподібного (природні гази, пари бензину, керосину тощо) палива. У печах, що працюють на рідкому або газоподібному паливі, його спалювання й нагрівання металу здійснюються в робочому просторі печі.

Знизу цей простір обмежено подом, на якому розташовують заготовки, що нагріваються, з боків – стінками печі, на які опирається склепіння, що замикає верхню частину робочого простору. У стінках печі є одне або два вікна для завантаження холодних і вивантаження нагрітих заготовок.

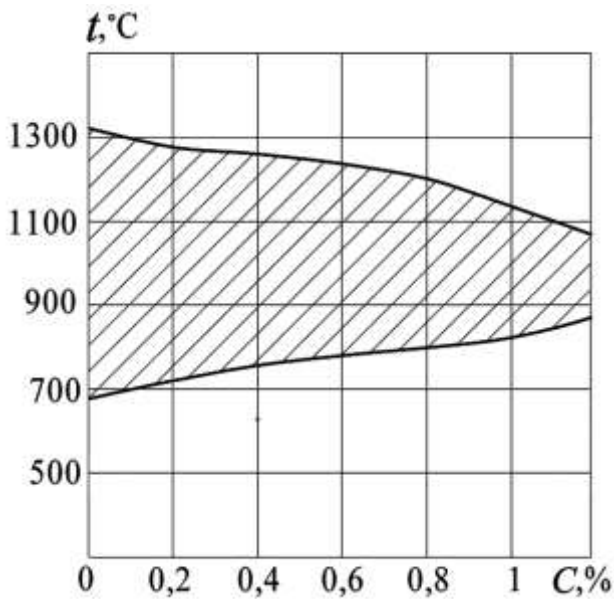


Рис. 4.2. Рекомендований температурний інтервал нагріву вуглецевих сталей перед гарячим деформуванням

Відпрацьовані пічні гази видаляються з робочого простору у витяжну трубу через спеціальні канали – лежень та димохід.

За принципом дії розрізняють печі камерні та методичні.

Камерні печі (див. рис. 4.3, а) мають нагрівальну камеру, футеровану вогнетривкою цеглою. Заготовки 2 розміщуються на поді 1 печі, під час нагріву їх не пересувають по поду печі. Камерні

печі мають однакову температуру у всьому робочому просторі. Нагрівання заготовок здійснюється за допомогою пальників або форсунок 3, через які в піч вприскується і згоряє у ній горючий газ або рідке паливо.

Продукти згоряння виводяться з печі через спеціальні канали 4 і димохід 8. За допомогою піщаного затвора 5 механізми переміщення поду ізолюються від робочого простору печі. Кількість повітря, що подається у піч, регулюється за допомогою спеціальної заслінки – шибера 6.

Печі для нагрівання великих виливків і заготовок для кування й прокатки з метою економії палива працюють із попереднім підігрівом повітря до температури 600...900 °C у регенераторах 7.

Методичні печі (див. рис. 4.3, б) призначені для нагрівання великих заготовок до початку прокатки і кування у великосерійному виробництві. Вони відрізняються значною довжиною (8...22 м) і наявністю двох-трьох зон. Заготовки, поступово переміщуючись за допомогою штовхачів 1 по поду печі назустріч гарячим газам, проходять зону підігріву 2 (600...800 °C), зону максимального нагріву 3 (1350 °C), де відбувається основне згоряння палива за допомогою форсунок, і зону витримки 4, в якій вирівнюється температура по перерізу заготовки. Заготовки вивантажуються під дією штовхачів на рольганг 6, за допомогою якого транспортуються у зону обробки.

Джерелами тепла є торцеві 5 і нижні 7 пальники або форсунок для газоподібного чи рідкого палива. Методичні й невеликі камерні печі обладнають рекуператорами 8 – теплообмінними апаратами з безперервним зустрічним рухом пічних газів, що відходять, і повітря, розділених один від одного стінкою-перегородкою. Холодне повітря підігрівається в рекуператорі



до температури 300...800 °С і подається в піч для спалювання палива. Завдяки підігріву повітря ККД печей підвищується до 40 %. У звичайних печах без підігріву повітря ККД не перевищує 10 %.

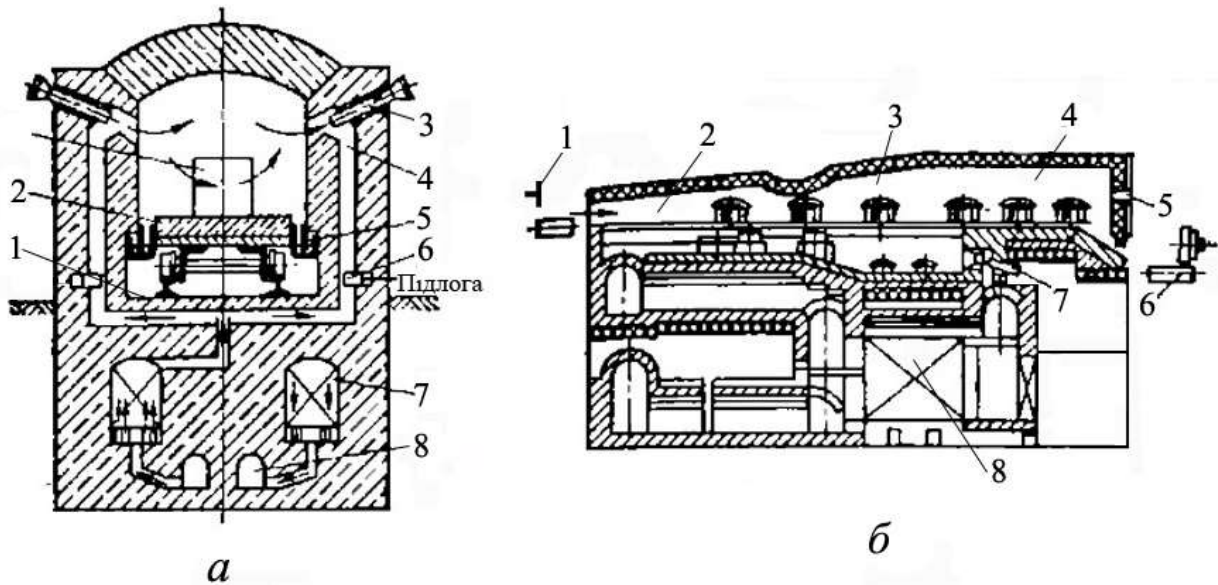


Рис. 4.3. Нагрівальні печі:  
*а* – камерна піч з висувним подом; *б* – методична піч

Для нагрівання дрібних заготовок при ручному куванні застосовується горно, в якому як паливо використовується кам'яне вугілля або кокс.

Крім полум'яних печей для нагрівання невеликих заготовок із чорних і кольорових металів та сплавів застосовують електричні печі.

У електронагрівальних печах теплота виділяється безпосередньо в заготовці при пропусканні через неї струму великої сили або збудженні в ній вихрових струмів у індукційних пристроях.

У промисловості значно поширені установки для індукційного нагріву (див. рис. 4.4, *а*) і контактного нагріву опором (див. рис. 4.4, *б*).

Установка для індукційного нагріву (див. рис. 4.4, *а*) має індуктор 2 у вигляді витків мідної трубки, по якій циркулює вода для охолодження, і генератор 1 для одержання струмів високої або промислової частоти (50...8000 Гц). При пропусканні змінного струму через індуктор навколо його витків виникає змінне електромагнітне поле. Після установки в індуктор заготовки 3 в поверхневих шарах останньої збуджуються вихрові струми, що розігрівають її до потрібної температури.

Установки для контактного нагріву опором (див. рис. 4.4, *б*) застосовують для нагрівання довгих заготовок постійного перерізу діаметром 15...75 мм. Через заготовку 1 за допомогою робочих контактів 2 пропускають великі струми (1000 А і вище), які при проходженні через заготовку розігрівають її до потрібної температури. Джерелом струму є вторинна обмотка 3 знижувального трансформатора, на первинну обмотку 4 якого подається напруга електромережі 220/380 В і частотою 50 Гц.

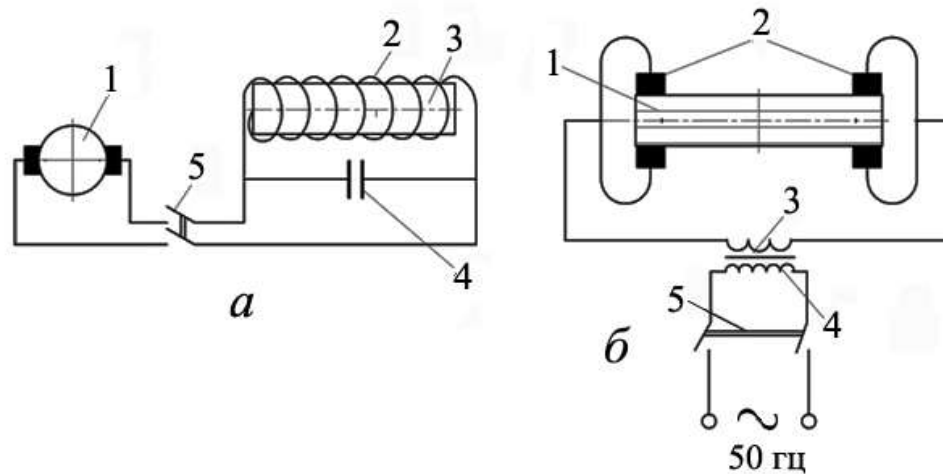


Рис. 4.4. Схеми електронагріву заготовок:  
*a* – індукційний нагрів; *б* – контактний нагрів опором

В електронагрівальних установках швидкість нагріву заготовок у 8...10 разів більша, а вигар металу у 4...5 разів менше, ніж при пічному нагріванні. Практична відсутність окалини на заготовці зменшує зношування штампів і дозволяє виготовляти точні поковки. Електронагрівальні установки у деяких випадках найбільш вигідно застосовувати для нагрівання заготовок під гаряче об'ємне штампування. Електронагрів поліпшує санітарно-гігієнічні умови праці завдяки відсутності випромінювання і газоутворення. Температура в електричних печах підтримується автоматично, відповідно до заданого режиму.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення пластичності металів і сплавів.
2. Що таке обробка тиском?
3. Дайте визначення процесів пружної і пластичної деформації.
4. Що таке рекристалізація? При якій температурі вона починається?
5. Визначить сутність процесів холодної і гарячої деформації.
6. Як призначають температуру гарячої обробки тиском?
7. Які нагрівальні пристрої використовуються для нагрівання заготовок під обробку методом гарячої деформації?
8. Дайте визначення камерної печі і опишіть процес нагрівання заготовок у ній.
9. Дайте визначення методичної печі і опишіть процес нагрівання заготовок у ній.
10. опишіть процес нагрівання заготовок за допомогою індукційних електронагрівальних пристроїв.
11. Як нагрівають заготовки за допомогою електронагрівальних пристроїв електричного опору?

## Глава 5. ОСНОВНІ СПОСОБИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

### § 5.1. Прокатування

У процесі прокатування метал пластично деформується валками, які обертаються. Існує три основні види прокатування: поздовжнє, поперечне і поперечно-гвинтове.

Поздовжнє прокатування (рис. 5.1, *а*): заготовка 2 деформується між двома валками 1, що обертаються перпендикулярно до своїх осей.

Поперечне прокатування (рис. 5.1, *б*): валки 1, обертаючись в одному напрямку, передають обертання заготовці 2 і деформують її.

Поперечно-гвинтове прокатування (рис. 5.1, *в*): валки 1 розташовані під кутом і надають заготовці 2 при деформуванні обертального та поступального руху.

Інструментом для прокатування є валки, які залежно від профілю, що прокатують, можуть бути:

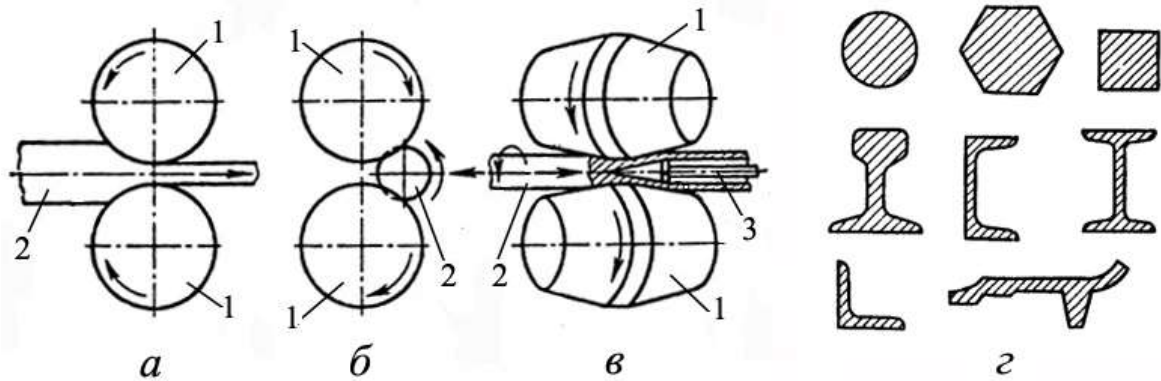


Рис. 5.1. Основні види прокатування і профілі сортового прокату:

*а* – поздовжнє; *б* – поперечне; *в* – поперечно-гвинтове;

*г* – приклад профілів сортового прокату

– гладкими (див. рис. 5.2, *а*), що застосовуються для прокатування листів, стрічок і т. п.;

– ступінчастими, наприклад, для прокатування смугової сталі;

– каліброваними (див. рис. 5.2, *б*) для одержання сортового прокату.

Калібрований виріз на бічній поверхні валка називають ривчаком. Валки складаються з робочої частини – бочки 1, шийок 2 і тревів 3. Шийки валків обертаються в підшипниках, які в одного з валків 5 (див. рис. 5.2, *в*) можуть переміщуватися спеціальним натискним механізмом 4 для зміни відстані між валками й регулювання взаємного розташування їхніх осей. Комплект прокатувальних валків зі станиною називають робочою кліттю, що разом зі шпинделем для приводу валків 6, шестеренною кліттю 7 для передавання обертання з одного на два вали, редуктором 8, муфтами й електродвигуном 9 утворюють робочу лінію прокатувального стану.

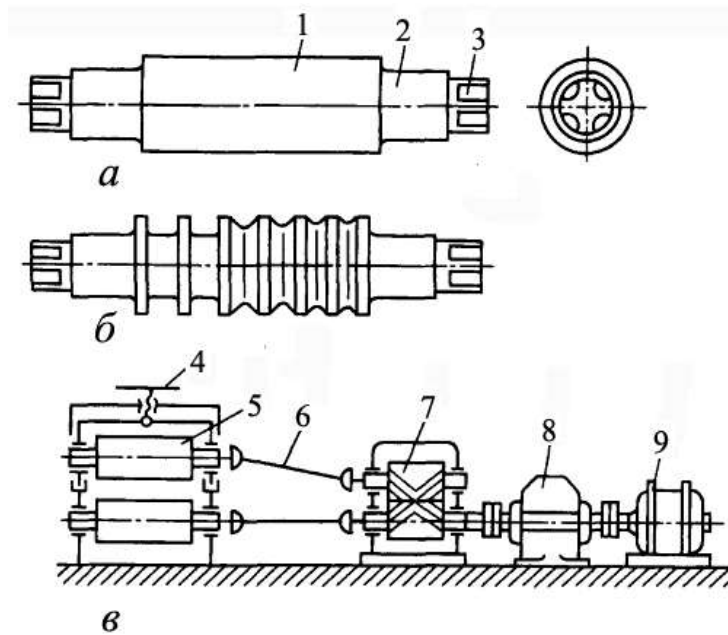


Рис. 5.2. Види прокатувальних валків і схема їх приводу у прокатувальному стані:  
*a* – гладкий валок; *б* – калібрований валок; *в* – схема робочої лінії прокатного стану

Форму поперечного перерізу прокатої смуги називають **профілем**. Сукупність форм і розмірів профілів, отриманих прокатуванням, називається **сортаментом**. Сортамент прокатувальних профілів поділяють на чотири основні групи: сортовий прокат, листовий прокат, труби, спеціальні види прокату.

Сортовий прокат поділяють на профілі простої геометричної форми (квадрат, круг, шестигранник, прямокутник) і фасонні (швелер, рейка, кутовий і тавровий профілі і т. д.). Приклади профілів сортового прокату наведені на рис. 5.1, *г*.

Листовий прокат поділяють на товстолистовий (4...160 мм), тонколистовий (менше 4 мм) та фольгу (менше 0,2 мм).

Труби поділяють на безшовні та зварні.

До спеціальних видів прокату відносять колеса, кільця, кулі, профілі з формою, що періодично змінюється.

## § 5.2. Кування

Кування – це вид гарячої обробки металів тиском, за якого метал деформується за допомогою універсального інструменту. Деформований метал при вільному куванні зазвичай може необмежено текти на всі боки у просторі між бойками або підкладними інструментами.

Заготовку деталі, отриману куванням або штампуванням, називають **поковкою**.

Маса поковок може бути від сотень грамів до сотень тонн. Вихідними заготовками для одержання поковок є виливки або сортовий прокат круглого, квадратного чи прямокутного перерізу. Оскільки розміри поперечного перерізу

сортового прокату обмежені, для одержання поковок великої маси (від декількох сотень кілограмів) використовують виливки.

Як інструмент для кування застосовують плоскі або фігурні (вирізні) бойки, а також різний підкладний універсальний інструмент, придатний для виготовлення різних поковок.

Процес кування складається із виконання певної послідовності основних і допоміжних операцій. Кожна операція визначається характером деформування й застосованим інструментом.

Основними операціями кування є осадка, протягування, прошивка, відрубання, гнуття.

**О с а д к а** – операція зменшення висоти заготовки зі збільшенням площі її поперечного перерізу. Осаджують заготовки між бойками або підкладними плитами. На рис. 5.3, *а* показана осадка у кільцях. Різновидом осадки є висадка, при якій метал осаджують на частині довжини заготовки.

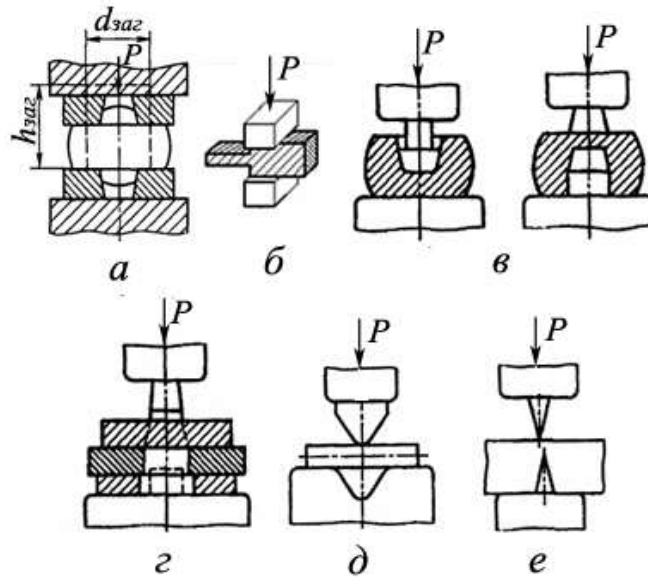


Рис. 5.3. Операції кування:

*а* – осадка у кільцях; *б* – протягування; *в* – двобічна прошивка; *г* – наскрізна прошивка; *д* – гнуття; *е* – відрубання

**П р о т я г у в а н н я** – операція подовження заготовки або її частин шляхом зменшення площі поперечного перерізу (рис. 5.3, *б*). Протягування виконують послідовними ударами або натисканнями на окремі ділянки заготовки, з її подаванням уздовж осі протягування й поворотами її на  $90^\circ$  навколо цієї осі. При кожному натисканні зменшується висота перерізу, збільшуються ширина й довжина заготовки.

**П р о ш и в к а** – операція отримання порожнин в заготовці шляхом витіснення металу. Прошивка може бути двобічною (рис. 5.3, *в*) і наскрізною (рис. 5.3, *г*).

**В і д р у б у в а н н я** – операція відділення частини заготовки по незамкненому контуру за допомогою деформувального інструмента – сокири (рис. 5.3, *е*).

**Гнуття** – операція надання заготовці вигнутої форми за заданим контуром (див. рис. 5.3, д).

Кування може бути ручним і машинним. Кування вручну виконується на ковадлах масою 150 кг і більше. Машинне кування здійснюється на кувальних молотах і пресах. Поковки, виготовлені вільним куванням на молотах і пресах, мають масу від кількох сотень грамів до 200...300 т.

**Молоти** – машини динамічної, ударної дії. Тривалість деформації на них становить тисячні частки секунди. Метал деформується за рахунок енергії, накопиченої рухомими (падаючими) частинами молота до моменту їхнього зіткнення із заготовкою.

Одним з основних типів молотів для кування є пароповітряні молоти (рис. 5.4). Вони приводяться в дію паром або стисненим повітрям 0,7...0,9 МПа.

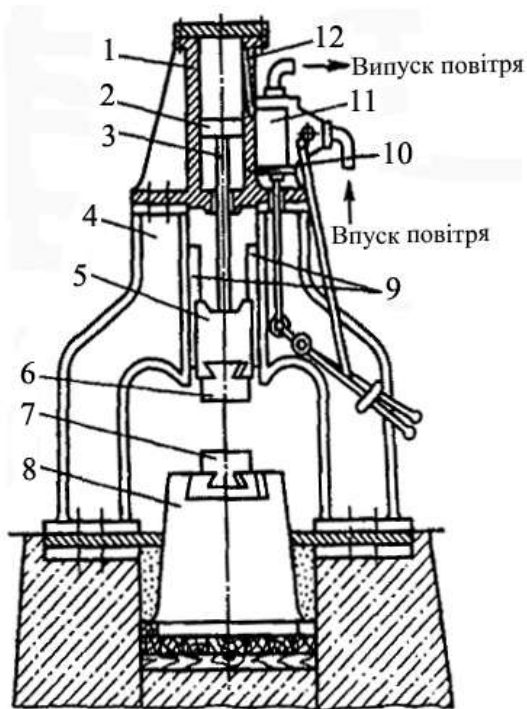


Рис 5.4. Схема пароповітряного молота аркового типу

На станині 4 змонтований робочий циліндр 1 з паророзподільним пристроєм 11. При натисканні педалі або рукоятки керування стисла пара або повітря по каналу 12 надходить у верхню порожнину робочого циліндра і давить на поршень 2, з'єднаний штоком 3 з молотом 5, до якого прикріплений верхній бойок 6. У результаті падаючі частини 2, 3, 5 і 6 переміщуються вниз і вдаряють по заготовці, покладеній на нижній бойок 7, що нерухомо закріплений на масивному шаботі 8. Після подавання стислої пари по каналу 10 у нижню порожнину робочого циліндра падаючі частини піднімаються у верхнє положення. Переміщення молота відбувається в напрямних 9. У кувальних молотах станина і шабот закріплені на фундаменті окремо для зручності маніпулювання заготовками і ковальським інструментом.

### § 5.3. Гаряче об'ємне штампування

**Гаряче об'ємне штампування** – вид обробки металів тиском, при якому формоутворення поковки із нагрітої заготовки здійснюють за допомогою спеціального інструмента – штамп а. Плинність металу обмежується поверхнями порожнин, виготовлених в окремих частинах штамп у, так що в кінцевий момент штампування вони утворюють єдину замкнуту порожнину (рівчак), що відповідає конфігурації поковки. Як заготовки для гарячого об'ємного штампування застосовують прокат круглого, квадратного, прямокутного профілів, а також періодичний прокат, найчастіше розрізаний на окремі (мірні) заготовки.

Порівняно з куванням штампування має низку переваг:

- можна отримати поковки складної конфігурації без напусків;
- припуски на штамповану поковку в 3...4 рази менші, ніж на ковану, внаслідок чого значно скорочується обсяг наступної обробки різанням;
- продуктивність штампування значно вища.

Однак штамп – дорогий інструмент, придатний для виготовлення поковок тільки однієї форми. В зв'язку з цим штампування економічно доцільне лише при виготовленні досить великих партій однакових поковок. В основному штампують поковки масою 20...30 кг і тільки в окремих випадках – масою до 3 т, оскільки для гарячого об'ємного штампування потрібні значно більші, ніж для кування, зусилля деформування.

Залежно від типу штампу розрізняють штампування у відкритих та закритих штампах.

Штампування у відкритих штампах (рис. 5.5, *a*) характеризується змінним зазором  $S$  між рухомою й нерухою частинами штампа. Цей зазор наповнює частина металу – облоя, що закриває вихід із порожнини штампа й змушує інший метал цілком заповнити всю порожнину. У кінцевий момент деформування в облоя вижимаються надлишки металу із порожнини, що дозволяє не висувати високих вимог до точності маси заготовок. Облоя потім обрізується у спеціальних штампах.

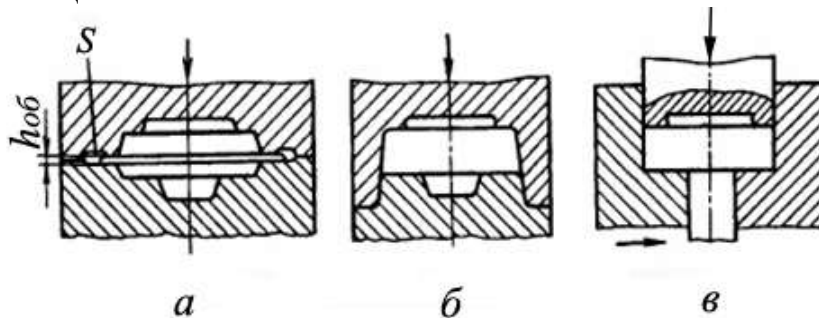


Рис. 5.5. Схеми штампування у відкритих (*a*) і закритих штампах (*б, в*)

Штампуванням у відкритих штампах можна одержувати поковки практично всіх типів.

Штампування в закритих штампах (рис. 5.5, *б*) характеризується тим, що порожнина штампа в процесі деформування залишається закритою. Зазор між рухомою й нерухою частинами штампа при цьому постійний і невеликий, тому утворення облоя в ньому не передбачене. Устрій таких штампів залежить від типу машини, на якій штампують. Наприклад, нижня половина штампа може мати порожнину, а верхня – виступ (на пресах) або навпаки (на молотах). Закритий штамп може мати не одну, а дві взаємно-перпендикулярні площини рознімання, тобто складатися з трьох частин (рис. 5.5, *в*).

При штампуванні в закритих штампах необхідно строго дотримуватись рівності об'ємів заготовки і поковки, інакше, якщо матиме недолік металу – не заповняться кути порожнини штампа, а у разі надлишку – висота поковки буде більше необхідної. Отже, в цьому випадку процес виготовлення заготовки ускладнюється, оскільки відрізати заготовки необхідно з високою точністю.

Істотна перевага штампування в закритих штампах – зменшення витрати металу, оскільки немає відходів на облой. Поковки, отримані в закритих штампах, мають більш якісну структуру, тому що волокна обтікають контур поковки, а не перерізуються в місці виходу металу в облой.

Схема технологічного процесу штампування, головним чином, визначається конфігурацією й розмірами деталі, яку необхідно одержати.

Об'ємне гаряче штампування здійснюють на молотах, гарячештампувальних кривошипних пресах, горизонтально-кувальних машинах, гідравлічних пресах тощо.

Основним видом штампувальних молотів є пароповітряні штампувальні молоти. Принцип їхньої дії той самий, що й у пароповітряних кувальних молотів (див. рис. 5.4), але конструкція інша.

У штампувальних молотів стійки станини встановлюють безпосередньо на шаботі. Ці молоти мають посилені регульовані напрямні для руху молота. Маса шабота штампувальних молотів у 20...30 разів більше маси падаючих частин. Такі конструктивні особливості забезпечують необхідну точність

зіткнення штампів. Пароповітряні штампувальні молоти мають масу падаючих частин 630...25000 кг.

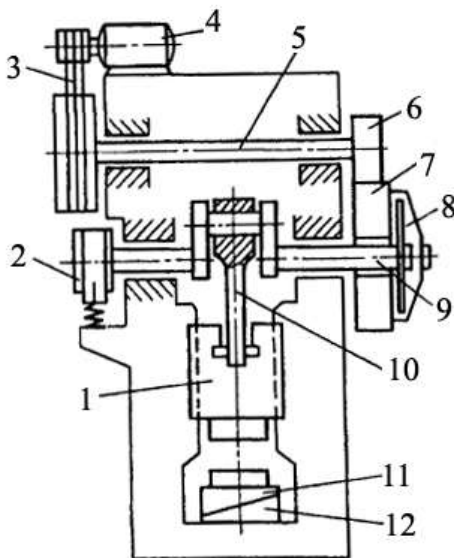


Рис. 5.6. Кінематична схема гарячештампувального кривошипного преса

Кінематична схема гарячештампувального кривошипного преса наведена на рис. 5.6. Електродвигун 4 передає рух клиновидними пасами 3 на шків, встановлений на приймальному (проміжному) валу 5, на іншому кінці якого закріплене мале зубчасте колесо 6. Воно зачеплене з великим зубчастим колесом 7, що вільно обертається на кривошипному валу 9. За допомогою пневматичної фрикційної дискової муфти 8 зубчасте колесо 7 може бути зчеплене із кривошипним валом 9, після чого останній починає обертатись. За допомогою шатуна 10 обертання кривошипного вала перетворюється на зворотно-поступальний

рух повзуна 1. Для зупинки обертання кривошипного вала слугує гальмо 2. Стіл преса 11, встановлений на похилій поверхні, може переміщуватись клином 12 для регулювання висоти штампового простору.

## § 5.4. Холодне штампування

Звичайно під холодним штампуванням розуміють штампування без попереднього нагрівання заготовки. Для металів і сплавів, що застосовують для штампування, такий процес деформування відповідає умовам холодної деформації. Відсутність окисленого шару (окалини) на заготовках при холодному штампуванні забезпечує хорошу якість поверхні деталі й досить



високу точність розмірів. Це зменшує обсяг обробки різанням або навіть виключає її.

Холодне штампування поділяється на об'ємне (рис. 5.7, а) штампування сортового металу і листове (рис. 5.7, б) штампування листового металу.

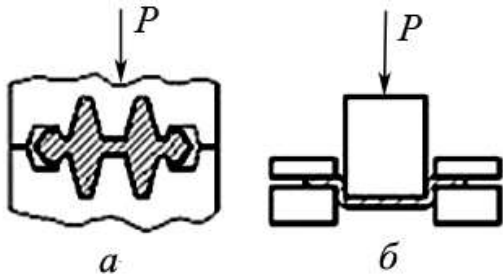


Рис. 5.7. Схеми холодного штампування

Основні різновиди холодного об'ємного штампування – холодне видавлювання, холодна висадка й холодне штампування у відкритому штампі.

При холодному видавлюванні заготовку розміщують у порожнині, з якої метал видавлюють через отвори в робочому інструменті. видавлювання звичайно виконують на кривошипних або

гідравлічних пресах у штампах, робочими частинами яких є пуансон і матриця. Розрізняють пряме, зворотне, бічне й комбіноване видавлювання.

При *прямому* видавлюванні (рис. 5.8, а) метал 2 витікає в отвір, розташований у донній частині матриці 1, у напрямку, що збігається з напрямком руху пуансона 4 відносно матриці. Прямим видавлюванням можна одержувати деталі типу стержнів зі стовщеннями (болти, тарілчасті клапани й т. п.). При цьому зазор між пуансоном і циліндричною частиною 3 матриці, у якій розміщується вихідна заготовка, повинен бути невеликий, щоб метал не потрапив у зазор.

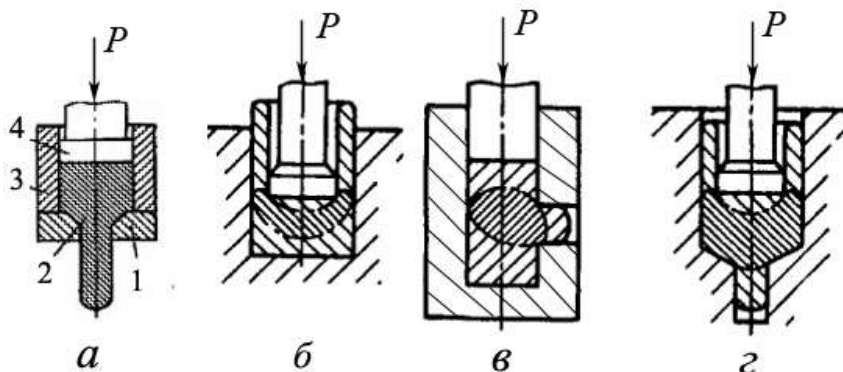


Рис. 5.8. Схеми холодного видавлювання:  
а – пряме; б – зворотне; в – бокове; г – комбіноване

При *зворотному* видавлюванні напрямок плину металу протилежний напрямку руху пуансона. Найбільш поширеною схемою зворотного видавлювання є та, при якій метал може потрапляти в кільцевий зазор між пуансоном і матрицею (рис. 5.8, б). За такою схемою виготовляють порожні деталі типу туб (корпуса тьюбиків), втулки і т. п.

При *бічному* видавлюванні метал заливається в отвір у бічній частині матриці в напрямку, що не співпадає з напрямком руху пуансона (рис. 5.8, в). У такий спосіб можна одержати деталі типу трійників, хрестовин і т. п.

*Комбіноване* видавлювання характеризується одночасним стіканням металу по декількох напрямках. Прикладом такої схеми є виготовлення

зворотним видавлюванням порожньої чашоподібної частини деталі, а прямим видавлюванням – стрижня, що відходить від її донної частини (див. рис. 5.8, з).

Головною перевагою видавлювання є можливість одержання без руйнування заготовки досить великих ступенів деформації, особливо для м'яких, пластичних металів (алюмінієві труби з товщиною стінки 0,1...0,2 мм при діаметрі труби 20...40 мм).

Холодна висадка виконується на спеціальних холодновисадочних автоматах з використанням заготовки з прутка або дроту із чорних і кольорових металів діаметром 0,5...40 мм (болти, гвинти, гвіздки, кульки, ролики, гайки і т. ін.). Назва цих автоматів пов'язана з тим, що основною виконуваною на них операцією є висадка (зменшення довжини частини заготовки з одержанням місцевого збільшення поперечних розмірів).

На початковому етапі процесу холодної висадки прутки подається до упору, поперечним рухом ножа відрізається заготовка необхідної довжини і за допомогою спеціального механізму послідовно переноситься в позиції штампування, на яких із неї одержують деталь.

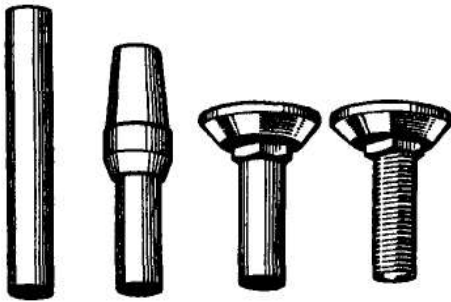


Рис. 5.9. Послідовність виготовлення гвинта з прутка методом холодної висадки

На рис. 5.9 показана послідовність штампування гвинта методом холодної висадки із вихідної заготовки у вигляді прутка.

Штампуванням на холодновисадочних автоматах забезпечуються досить висока точність розмірів і гарна якість поверхні, внаслідок чого деякі деталі не вимагають наступної обробки різанням. Так виготовляють гвинти, болти, шпильки. Їх різьбу одержують на автоматах обробкою тиском – накаткою. Цей вид обробки тиском високопродуктивний: 20...400 деталей за хвилину (більша продуктивність для деталей менших розмірів), при високому коефіцієнті використання металу середнє його значення досягає 95 %.

Холодне штампування у відкритих штампах полягає у наданні заготовці форми деталі шляхом заповнення порожнини штампа металом заготовки. Схема холодної штампування аналогічна до схеми гарячого об'ємного штампування, показаної на рис. 5.5, а.

Для зменшення шкідливого впливу зміцнення й полегшення процесу деформування при холодній штамповці формоутворення деталі зазвичай поділяють на переходи, між якими заготовку піддають рекристалізаційному відпалюванню. Воно знижує питомі сили під час штампування на наступних переходах і підвищує пластичність металу, що зменшує небезпеку руйнування заготовки в процесі деформування й збільшує допустиму ступінь деформації.

Холодне об'ємне штампування зазвичай здійснюють у відкритих штампах, тому що при цьому питомі сили менші, ніж при штампуванні у закритих штампах (можливість витікання металу в облої полегшує деформування). У закритих штампах в умовах холодної деформації штампують рідше, головним чином, деталі з кольорових металів.

Способом холодного об'ємного штампування можна виготовляти просторові деталі складних форм (суцільні і з отворами). Холодне об'ємне штампування дозволяє також одержувати деталі з порівняно високими точністю розмірів і якістю поверхні. Це зменшує обсяг обробки різанням або навіть виключає її, але, зважаючи на високу вартість штампів, холодне штампування застосовують лише у великосерійному та масовому виробництві.

Холодне листове штампування виконують при товщині листа не більше 10 мм і рідко – більше 20 мм. В останньому випадку штампують з нагріванням до кувальних температур (гаряче листове штампування).

Способом листового штампування виготовляють найрізноманітніші плоскі й просторові деталі, маса яких складає частки грама й розміри – десятки частки міліметра (наприклад, секундна стрілка ручних годинників) і деталі, маса яких десятки кілограмів і розміри до кількох метрів (облицювання автомобіля, літака, ракети).

Як правило, при листовому штампуванні пластичні деформації одержує лише частина заготовки. Розрізняють формозмінні операції, у яких заготовка не повинна руйнуватися в процесі деформування, і розділові операції, у яких етап пластичного деформування обов'язково завершується руйнуванням.

Для деталей, одержуваних способом листового штампування, характерне те, що товщина їхніх стінок незначно відрізняється від товщини вихідної заготовки, що обумовлює високі вимоги до пластичності матеріалу заготовки.

У листовому штампуванні найчастіше використовують низьковуглецеву сталь, пластичні леговані сталі, мідь, латунь, що містить більше 60 % міді, алюміній і його сплави, магнієві сплави, титан і ін. Листовим штампуванням одержують плоскі й просторові деталі з листових неметалічних матеріалів: шкіри, целулоїду, органічного скла, фетру, текстоліту, гетинаксу і ін.

Перевагами листової штамповки є такі:

- можливість одержання деталей з мінімальною масою за заданих міцності й твердості;
- достатньо високі точність розмірів і якість поверхні, що дозволяє максимально скоротити оброблювальні операції;
- висока продуктивність (30...40 тис. деталей за зміну з однієї машини);
- гарна пристосовуваність до масштабів виробництва, за якої листове штампування може бути економічно доцільним у масовому дрібносерійному виробництві.

Розрізняють такі операції листового штампування: відрізування, вирубка і пробивка, гнуття, витяжка без стоншення і зі стоншенням, відбортовка, обтиск, формування.

В і д р і з у в а н н я – відділення частини заготовки по незамкнутому контуру на спеціальних машинах – ножицях і в штампах. Відрізування частіше застосовують як заготовочну операцію для поділу листа на смуги заданої ширини. Основні типи устаткування для відрізування: ножиці з поступальним рухом ріжучих кромки ножа (див. рис. 5.10, а) або обертовим рухом ріжучих кромки – дискові ножиці (див. рис. 5.10, б).

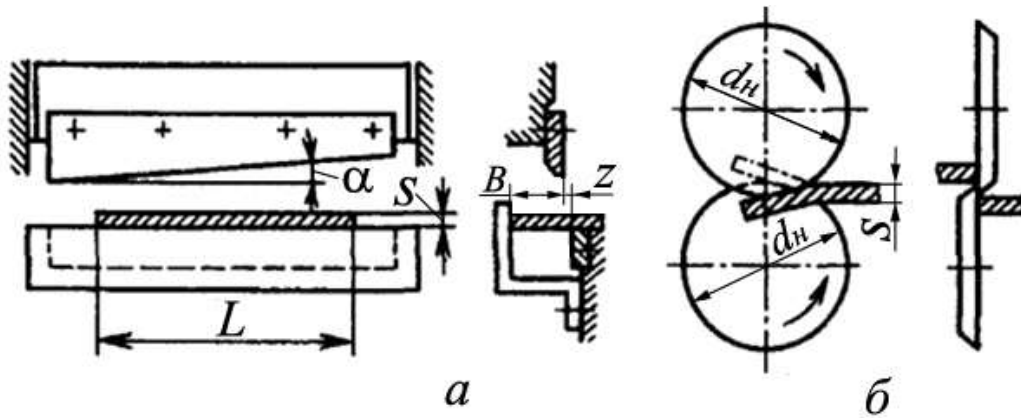


Рис. 5.10. Схеми дії ножиць для різання листового металу:  
а – гільйотинних; б – дискових

Для зменшення сили різання ріжучі кромки в ножицях з поступальним рухом ножа нахилені одна до одної під кутом  $\alpha = 1 \dots 5^\circ$  (гільйотинні ножиці). Лист подають до упору, що визначає ширину  $B$  стрічки, яку відрізають. Довжина  $L$  цієї стрічки не повинна перевищувати довжини ножа.

На дискових ножицях довжина стрічки, яку відрізають, не обмежується інструментом, обертання дискових ножів забезпечує не тільки поділ, але й подачу заготовки під дією сил тертя. Для забезпечення захвату й подачі заготовки діаметр  $d_f$  ножів повинен бути більше товщини заготовки  $S$  у 30...70 разів (збільшуючись зі зменшенням коефіцієнта тертя).

Якість поверхні зрізу залежить від зазору  $z$  між ріжучими кромками ( $z = (0,03 \dots 0,05)S$ , де  $S$  – товщина листа) і ступеня притуплення ріжучих кромки.

При вирубці й пробивці характер деформування заготовки однаковий. Вони відрізняються тільки призначенням. Вирубкою оформляють зовнішній контур деталі, а пробивкою – внутрішній контур (виготовлення отворів).

Вирубку й пробивку звичайно здійснюють металевими пуансоном і матрицею. Пуансон вдавлює частину заготовки в отвір матриці. На початковій стадії деформування відбуваються відрізання ріжучих кромки у заготовку і зсув однієї частини заготовки відносно другої без видимого руйнування.

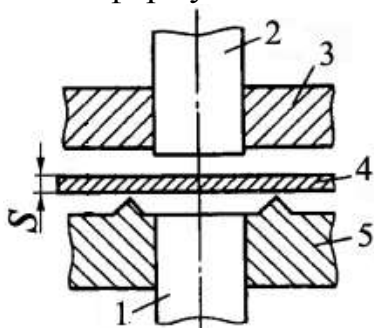


Рис. 5.11. Схема вирубки зі стиском:

1 – пуансон; 2 – контр-пуансон; 3 – матриця; 4 – заготовка; 5 – притискач

На рис. 5.11 наведено схему холодного листового штампування шляхом вирубки зі стиском. Цей метод дозволяє отримати більш якісну поверхню зрізу за рахунок притискання заготовки зі значною силою до торця пуансона й робочої площини матриці.

Збільшення стискаючих напружень у зоні різання підвищує пластичність і зменшує можливість утворення тріщин у ріжучих кромках, що утворюють шорсткуватість поверхні зрізу.

Зазор між пуансоном і матрицею істотно

менший, ніж при звичайній вирубці – 0,005...0,01 мм, тому вирубку зі стиском виконують на спеціалізованих пресах і штампах.

Гнуття – операція, що змінює кривизну заготовки практично без зміни її лінійних розмірів (рис. 5.12). Деталі, вигнуті у більш ніж одній площині, звичайно виготовляють послідовним деформуванням заготовки в декількох штампах. У таких випадках гнуттю може піддаватися просторова заготовка, отримана на попередніх переходах.

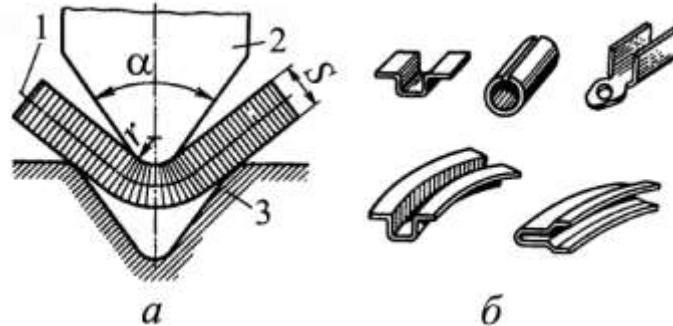


Рис. 5.12. Схема операції гнуття (а) і виробу, які отримують за її допомогою (б):  
1 – нейтральна вісь; 2 – пуансон; 3 – матриця

Витяжка без стоншення стінки перетворює плоску заготовку на порожній просторовий виріб при зменшенні периметра заготовки, що витягується.

Схема першого переходу витяжки без стоншення стінки наведена на рис. 5.13, а.

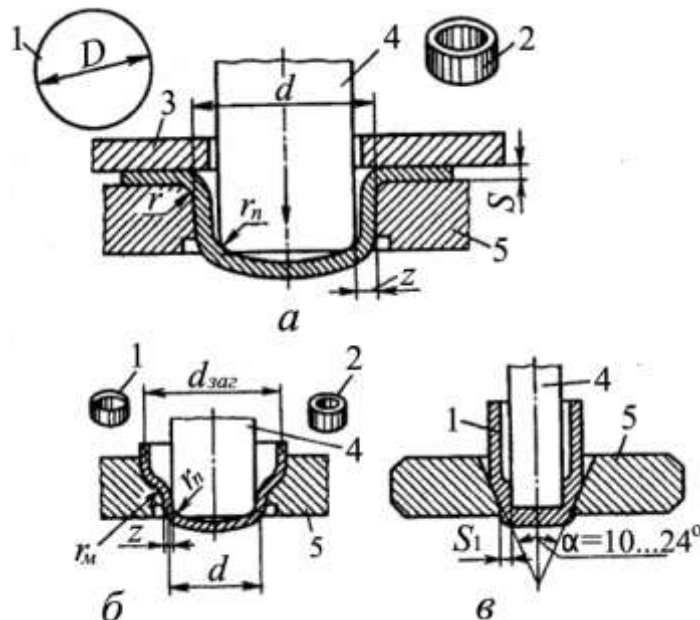


Рис. 5.13. Схеми першого переходу витяжки без стоншення стінки (а), наступної витяжки (б), витяжки зі стоншенням стінки (в):  
1 – заготовка; 2 – виріб; 3 – притискач; 4 – пуансон; 5 – матриця

Вихідну вирублену заготовку укладають на площину матриці. Пуансон натискає на центральну частину заготовки і зміщує її в отвір матриці. Центральна частина заготовки тягне за собою периферійну частину (фланець) заготовки, і остання, зміщуючись у матрицю, утворює стінки витягнутого

виробу. Для запобігання появі складок на заготовці застосовують притискач 3, якій з певним зусиллям притискає фланець заготовки до площини матриці. Другий перехід цієї операції (наступна витяжка) показаний на рис. 5.13, б.

Витяжка зі стоншенням стінки збільшує довжину порожньої заготовки, головним чином, за рахунок зменшення товщини стінок вихідної заготовки (див. рис. 5.13, в). При витяжці зі стоншенням стінки зазор між пуансоном і матрицею повинен бути менше товщини стінки, яка, стискаючись між поверхнями пуансона й матриці, стонщується й одночасно подовжується. Витяжку зі стоншенням стінки застосовують: для одержання деталей з товщиною дна, більшою за товщину стінок; деталей зі стінкою, товщина якої зменшується до краю (у цьому випадку пуансон виконують конічним); тонкостінних деталей, виготовити які витяжкою без стоншення стінки важко у зв'язку з небезпекою складкоутворення.

Застосовуючи витяжку зі стоншенням стінки, її товщину за один перехід можна зменшити у 1,5...2 рази.

Відбортовка – одержання бортів (горловин) шляхом вдавлювання центральної частини заготовки з попередньо пробитим отвором у матрицю (рис. 5.14, а). При відбортовці кільцеві елементи у зоні деформації розтягуються, причому найбільше збільшується діаметр кільцевого елемента, що граничить із отвором.

Обтиск – операція, за якої зменшується діаметр крайової частини порожньої заготовки в результаті зштовхування її в порожнину матриці, яка звужується (рис. 5.14, б). Заготовка, що обтискається, одержує форму робочої порожнини матриці.

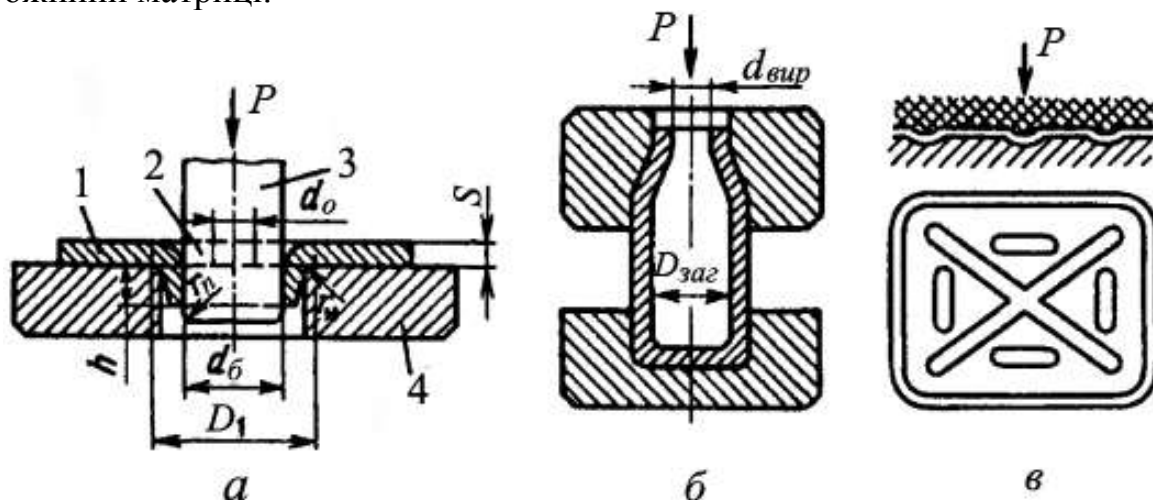


Рис. 5.14. Схеми операцій холодного листового штампування:

а – відбортовка; б – обтиск; в – формування ребер жорсткості  
(1 – заготовка; 2 – виріб; 3 – пуансон)

Допустиме зменшення діаметра при обтиску визначається появою поздовжніх складок в частині, що, обтискається. Зазвичай за один перехід можна одержати  $d_{ад} = (0,7...0,8)D_{сдд}$ . Якщо діаметр крайової частини необхідно зменшити на більшу величину, заготовку обтискають за кілька переходів.

Товщина заготовки у зоні пластичних деформацій збільшується, причому більше товщає крайова частина заготовки.

**Формування** – операція, за якої змінюється форма заготовки в результаті розтягування окремих її ділянок. Товщина заготовки в цих ділянках зменшується. Формуванням одержують місцеві виступи на заготовці, ребра жорсткості (див. рис. 5.14, в) і т. п.

**Штampi для листового штампування.** У великосерійному виробництві (виготовлення великої кількості однакових деталей) застосовують порівняно складні штампи, що складаються зі значного числа деталей і забезпечують хорошу якість виробу, високу стійкість інструмента й достатньо високу продуктивність.

На рис. 5.15 наведена схема штампа послідовної дії, у якому операції виконують у різних позиціях по напрямку подачі: у позиції I відбувається пробивка, а після переміщення смуги на крок подачі (позиція II) – вирубка, у результаті чого одержують вироби у вигляді шайби 12.

Пуансони 2 і 3 закріплюють на верхній плиті штампа, а матриці 4 і 5 – на нижній плиті за допомогою матрицетримача 9. Точний напрямок руху пуансонів щодо матриць забезпечується напрямними втулками 7 і колонками 6, запресованими у верхню і нижню плити штампа. Смуга (або стрічка) подається між напрямними лінійками до упора 1, що обмежує крок подачі. Висічка 11 знімається з пуансонів знімачем 8.

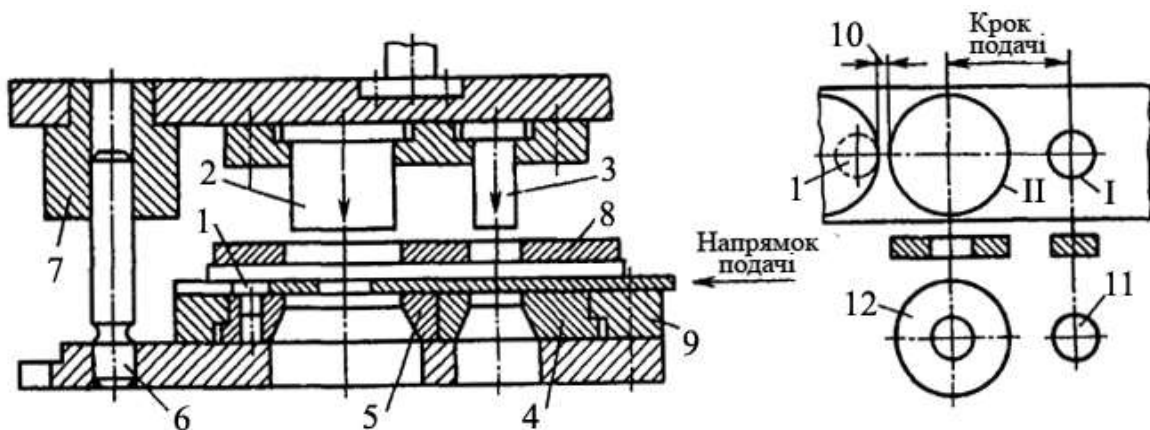


Рис. 5.15. Схема штампа послідовної дії для пробивки і вирубкі

Як обладнання для холодного листового штампування зазвичай застосовують кривошипні преси, подібні до пресів для гарячого об'ємного штампування (див. рис. 5.6).

## § 5.5. Пресування

**Сутність процесу пресування.** Пресування – вид обробки тиском, у результаті якого метал заготовки 2 (див. рис. 5.16, а), що перебуває в контейнері 6, під дією сил, прикладених до нього через прес-штемпель 1 і прес-шайбу 5, витікає через отвір у матриці 3 у вигляді прес-виробу 7, що має набагато більшу довжину, ніж розмір поперечного перерізу заготовки.

У процесі отримання порожніх профілів метал заготовки 2 видавлюється у зазор між матрицею 3 і голкою 4.

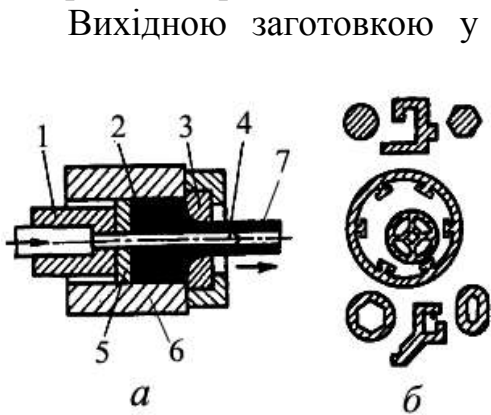


Рис. 5.16. Схема пресування (а) і приклади пресованих профілів (б)

Вихідною заготовкою у пресуванні слугує виливок або прокат. Стан поверхні заготовки значно впливає на її якість і точність пресованих профілів, тому зазвичай заготовку попередньо обточують на верстаті, а після нагрівання її поверхню ретельно очищають від окалини.

Пресуванням виготовляють вироби різного сортаменту з кольорових металів і сплавів, у тому числі прутки діаметром 3...250 мм, труби діаметром 20...400 мм з товщиною стінки 1,5...12 мм та інші профілі (рис. 5.16, б). З вуглецевих сталей 20...50, легованих конструкційних 30ХГСА, 40ХН, корозійностійких 12Х18Н10Т й інших високолегованих сталей пресують труби із внутрішнім діаметром 30...160 мм та товщиною стінки 2...10 мм, профілі з полицею товщиною 2...2,5 мм і лінійними розмірами поперечних перерізів до 200 мм.

Пресуванням одержують профілі складних форм, які не можуть бути отримані з використанням інших видів обробки металів тиском (зокрема, прокатки). Точність пресованих профілів вище, ніж прокатаних.

До недоліків пресування варто віднести більші відходи металу: весь метал не може бути видавлений з контейнера, і в ньому залишається так званий прес-залишок, який після закінчення пресування відрізається від видавленого профілю. Маса прес-залишку може досягати 40 % маси вихідної заготовки (при пресуванні труб великого діаметра).

Інструмент для пресування виготовляють із високоякісних інструментальних сталей і жароміцних сплавів. Для зменшення спрацювання інструменту застосовують спеціальні мастильні матеріали.

Основним устаткуванням для пресування є вертикальні або горизонтальні гідравлічні преси.

**Методи пресування.** Існуючі методи пресування можна поділити на дві основні групи: із прямим витіканням металу – пряме пресування (див. рис. 5.17, а, б) і зі зворотним витіканням металу – зворотне пресування (див. рис. 5.17, в, г).

При прямиому методі пресування напрямок витікання металу співпадає з напрямком переміщення прес-штемпеля.

У випадку зворотного пресування метал витікає в напрямку, протилежному напрямку переміщення прес-штемпеля. Процес сполученого пресування (див. рис. 5.17, д) передбачає витікання металу в прямому і зворотному напрямках. Пресування з бічним витіканням металу (див. рис. 5.17, е, ж), пресування із сорочкою (див. рис. 5.17, з) і гідропресування (див. рис. 5.17, и) є різновидами прямого пресування.



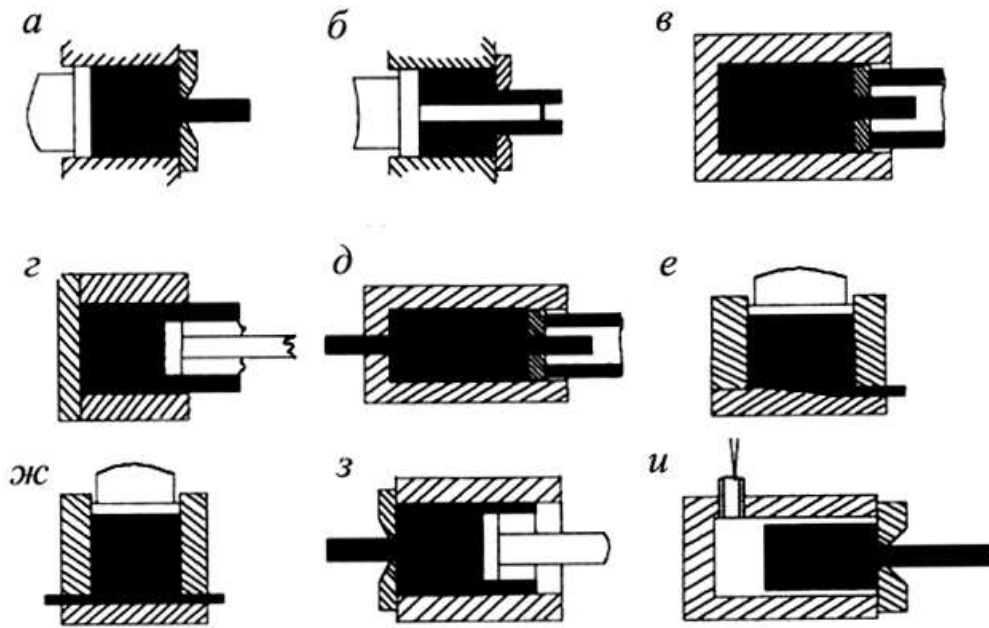


Рис. 5.17. Методи пресування металів:

*a* – із прямим витіканням прутка; *б* – із прямим витіканням труби; *в* – зі зворотним витіканням прутка; *г* – зі зворотним витіканням труби; *д* – із прямим і зворотним витіканням прутка; *е* – з бічним витіканням прутка; *жс* – із двостороннім бічним витіканням прутків; *з* – пресування із сорочкою; *и* – гідропресування

**Прогресивні технології пресування.** Для пресування потрібні великі витрати енергії, обумовлені тертям металу по інструменту. Виключенням є лише гідропресування, при якому рідинний характер тертя по стінках контейнера й внутрішній поверхні матриці дозволяє знизити витрати енергії на подолання дії сил тертя, отже, знизити зусилля пресування, особливо при зворотному пресуванні. Для останнього методу пресування необхідне зусилля пресування в 1,5...2 рази менше, ніж для прямого методу.

Всі розглянуті вище методи пресування не є безперервними й дозволяють одержувати вироби лише обмеженої довжини. Крім того, зазначені методи не забезпечують максимальну продуктивність процесу пресування. Існують методи, що дозволяють пресувати безперервно або хоча б максимально наблизитися до безперервного пресування, забезпечуючи при цьому максимальну продуктивність. Зупинимося на деяких з них більш детально.

В окремих випадках сили тертя можуть сприяти пресуванню. Перспективними вважаються схеми пресування з активною дією сил тертя, що дозволяє істотно знизити зусилля пресування, анізотропію властивостей готового виробу, поліпшити якість поверхні виробів.

Прикладами пресування із застосуванням активного тертя є: бічне пресування через матрицю, утворену торцевою плитою тертя й калібрувальною кромкою контейнера (див. рис. 5.18, *a*); пряме пресування через валкову матрицю (див. рис. 5.18, *б*) із примусовим обертанням; схеми прямого пресування з поперечним обертанням суцільної матриці, прес-шайби й матриці в різні сторони; схеми прямого й зворотного пресування з пересуванням контейнера, матриці й прес-штемпеля (див. рис. 5.18, *в, г*).

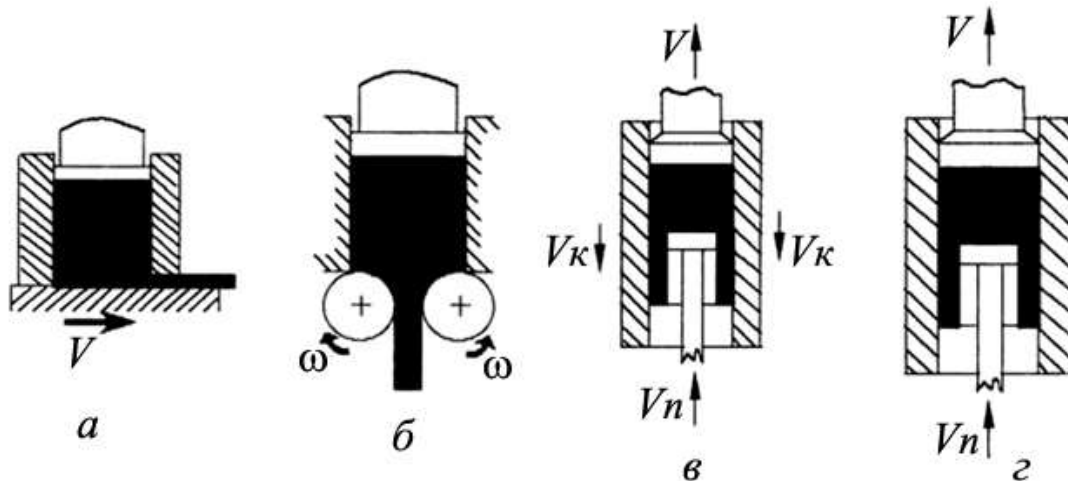


Рис. 5.18. Пресування із застосуванням активних сил тертя

У процесі нагрівання металу для обробки на ньому утворюється плівка оксидів, при потраплянні якої в готовий виріб погіршується його якість. Для запобігання цьому використовується метод пресування з “сорочкою”, за якого всі дефекти поверхні заготовки залишаються в сорочці. Пресуванням з “сорочкою” виготовляють лише вироби з металів порівняно невисокої в’язкості, наприклад, латунь ЛС59, бронзи Бр.АЖМЦ 10-3-1-5, Бр.АЖН 10-4-4 та деякі інші сплави.

Найбільш продуктивними є методи напівбезперервного та безперервного пресування.

Суть процесу напівбезперервного пресування полягає у тому, що кожна наступна заготовка завантажується в контейнер після того, як попередня відпресовується на 2/3 своєї довжини, а 1/3 її залишається в контейнері. При цьому заготовки зварюються по торцях. Недоліком такого способу пресування є невисока міцність зварювання частин прес-виробу внаслідок наявності різних забруднень, що залишаються у прес-залишку. Проте напівбезперервне пресування сьогодні є однією з основних схем у виробництві прес-виробів з алюмінієвих сплавів.

Основними способами безперервного пресування є Конформ, Лайнекс і Екстроллінг.

Серед зазначених способів особливе місце належить Конформу, запропонованому Д. Гріном у 1970 р. Цей спосіб заснований на застосуванні нерухливого інструмента, називаного башмаком, і рухливого обертового інструмента типу колеса з канавкою по периферії, причому в торці башмака встановлена матриця, що перекидає канавку колеса.

Як заготовка використовується пруток 7 (див. рис. 5.19), що подається в рівчак 2, виконаний на робочому колесі 1 у вигляді кільцевої канавки. Рівчак 2 із зовнішньої сторони закритий притискним башмаком 3, на внутрішній поверхні якого виконаний рівчак 4, що охоплює заготовку 7. У башмаку 3 закріплений блок інструмента із пресовою матрицею 6, що має вставку 5.

Після подавання пруткової заготовки у зазор між башмаком і колесом вона просувається в камеру пресування, утворену поверхнями башмака й канавки, під дією сил тертя по поверхні контакту з обертовим колесом і досягає матриці. У зоні безпосередньо перед матрицею заготовка піддається

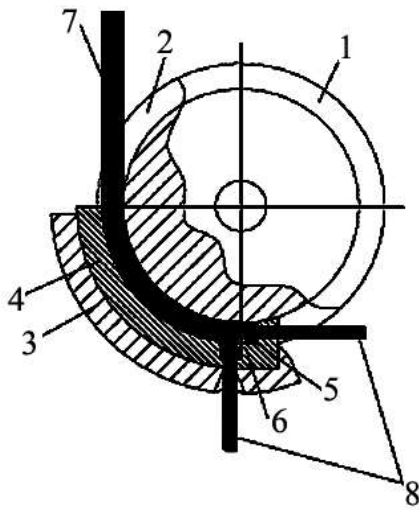


Рис. 5.19. Принципова схема процесу безперервного пресування за способом Конформ

інтенсивному пластичному деформуванню і заповнює весь переріз канавки, що сприяє збільшенню сил тертя між поверхнею канавки й заготовкою. У міру повороту колеса сили стиску, прикладені до заготовки, зростають і досягають значень, необхідних для видавлювання матеріалу заготовки через отвір у матриці, тобто починається процес пресування виробу 8.

Як заготовка використовується звичайний дріт, причому процес його деформування – втягування в камеру пресування у міру повороту колеса, попереднє профілювання й заповнення рівчачка в колесі, створення робочого зусилля й, нарешті, пресування – триває безупинно, тобто реалізується технологія

безперервного видавлювання. Даний спосіб дозволяє видавлювати прес-вироби не тільки в напрямку обертання робочого колеса, а й у напрямках, перпендикулярних осі робочого колеса, у тому числі й радіальному.

Особливістю способу Лайнекс (рис. 5.20), запропонованого фахівцями фірми Western Elektrik C<sup>o</sup> (USA), є те, що тиск, необхідний для реалізації процесу, створюється за рахунок використання активних сил тертя, які виникають між плоскими поверхнями ланок нескінченних ланцюгів і верхньою та нижньою площинами заготовки, яка має прямокутний поперечний переріз.

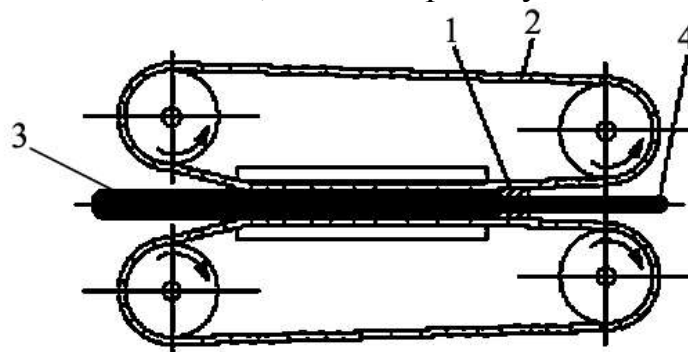


Рис. 5.20. Схема процесу безперервного пресування способом Лайнекс:  
1 – матриця; 2 – привідні ланцюги; 3 – заготовка; 4 – виріб

При цьому величина тиску пресування виявляється залежною від співвідношення (різниці) сил тертя на незмащених і змащених площинах заготовки. Цей спосіб застосовують для виробництва алюмінієвих шин і дроту на заводах фірми Venscuck (USA).

Процес Екстроллінгу являє собою спосіб сполучення процесів прокатки й пресування в одній зоні деформації. Він характеризується тим, що за рахунок активних сил контактної тертя між валками й заготовкою видавлювання здійснюють через пресову матрицю.

Для здійснення процесу вихідна заготовка 1 (рис. 5.21) робочими валками 2 безперервно подається в калібр 3, обжимається в ньому, що повністю відповідає стадії прокатки, й видавлюється в калібрувальний отвір матриці 4, установленій на виході з калібру. Форма і розміри прес-виробу 5 визначаються формою калібрувального отвору матриці.

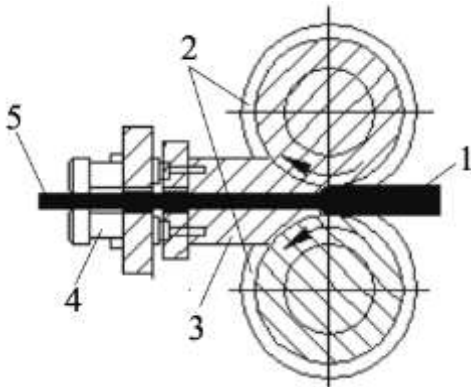


Рис. 5.21. Схема пристрою для здійснення Екстроллінгу

Даний спосіб є дієвим як для холодного стану матеріалу, так і за підвищених температур. Розглянутий процес сполучає у собі низькі втрати на тертя й малу тривалість обробки, характерні для прокатки, і великі ступені деформації, можливі при пресуванні. Однак процес Екстроллінгу не знайшов належного застосування в промисловості, тому що запропоноване технічне рішення (використання відкритого калібру, розташування вхідного отвору калібру на загальній вертикальній осі валків і т. д.) не

забезпечували стійкого перебігу процесу й створення необхідних для екструзії металу тисків.

Із всіх процесів безперервного пресування найбільш доведеним до промислового впровадження виявився спосіб Конформ, установки на основі якого виготовляють і розповсюджують в усьому світі фірми Babcock Wire Equipment та Holton Machinery LTD.

## § 5.6. Волочіння

**Суть процесу волочіння.** Заготовку протягують через отвір в інструменті (волоці), що поступово звужується. Волочіння, як правило, здійснюють в холодному стані. Вихідними заготовками слугують прокатані або пресовані прутки і труби із сталі, кольорових металів і їх сплавів. Волочіння труб можна виконувати без оправки (для зменшення зовнішнього діаметра) і з оправкою (для зменшення зовнішнього діаметра й товщини стінки). Розрізняють волочіння чорнове (заготівельне) і чистове (заключна операція для надання виробу необхідної форми, розмірів і якості); одно- і багаторазове (декілька переходів волочіння однієї заготовки); одно- і багатониткове (за кількістю заготовок, що протягаються одночасно) й ін.

На рис. 5.22, а показана схема волочіння труби 1 на короткій оправці. У цьому випадку профіль отриманої труби визначається зазором між волокою 2 і оправкою 3. Зазвичай для одержання необхідних профілів потрібна деформація, що перевищує допустиму за один прохід, тому застосовують волочіння через ряд послідовних отворів, діаметри яких поступово зменшуються.

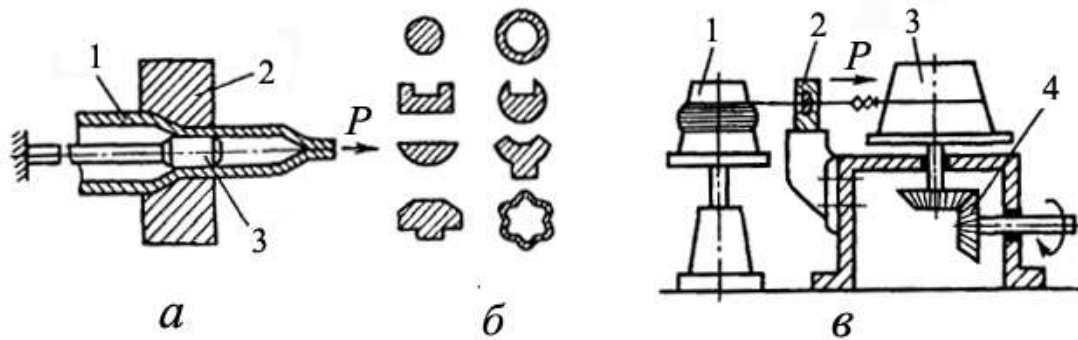


Рис. 5.22. Схема процесу волочіння:  
*a* – схема волочіння труби; *б* – приклади профілів, що отримують волочінням;  
*в* – схема волочильного стану барабанного типу

Оскільки волочіння здійснюють в умовах холодної деформації, метал зміцнюється. Для відновлення пластичності зміцнений волочінням метал піддають проміжному відпалу.

Волочінням обробляють різні марки сталі, кольорові метали і їхні сплави. Сортамент виробів, виготовлених волочінням, різноманітний: дріт діаметром 0,002...5 мм і фасонні профілі, приклади яких показані на рис. 5.22, *б* (призматичні й фасонні напрямні; сегментні, призматичні й фасонні шпонки; шліцьові валики; опорні призми, ножі й т. д.). Волочінням калібрують сталеві труби, діаметри яких від капілярних до 200 мм, сталеві прутки діаметрами 3...150 мм.

Волоку виготовляють з інструментальних сталей, металокерамічних сплавів і технічних алмазів (для волочіння дроту діаметром менше 0,2 мм).

Волочіння виконують на барабанному й ланцюговому волочильному стані. Барабанні стани (рис. 5.22, *в*) слугують для волочіння дроту, труб невеликого діаметра, намотуваних у бунти. Вихідну заготовку у вигляді бунта укладають на барабан 1. Попередньо загострений кінець дроту пропускають через отвір волоки 2 і закріплюють на приймальному барабані 3, обертання якому надає електродвигун через редуктор і зубчасту передачу 4.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Поясніть суть обробки методом прокатки. Які види прокатки ви знаєте?
2. Опишіть інструмент і обладнання, яке застосовується для прокатки.
4. Дайте визначення виробам, отриманим методом прокатки: сортаменту, сортового прокату, листового прокату.
5. Що таке прокатний стан? Опишіть схему його роботи.
6. Опишіть суть процесу обробки металів методом кування.
7. Що таке поковка?
8. Дайте визначення основним операціям кування.
9. Опишіть устрій і принцип дії пароповітряного кувального молота.
10. Що таке гаряче об'ємне штампування?
11. Як побудований штамп?
12. Наведіть різницю між штампуванням у відкритому і закритому штампах.
13. Як працює гарячештампувальний кривошипний прес?
16. Які різновиди холодного штампування застосовуються у машинобудуванні?
17. Що таке холодне видавлювання? Назвіть види холодного видавлювання.

18. Опишіть коротко суть прямого, зворотного, бокового і комбінованого видавлювання.
19. Схарактеризуйте процес холодної висадки.
20. Коротко опишіть суть процесу холодного листового штампування.
21. Що таке операція відрізування при листовому штампуванні? Яке обладнання використовується для виконання відрізування?
22. Для чого при холодному листовому штампуванні використовуються операції вирубки і пробивки?
23. Для чого застосовуються операції холодного листового штампування: відбортовка, обтиск, формування у відкритому штампі?
24. Опишіть конструкцію і роботу штампу послідовної дії для листового штампування.
25. Поясніть суть процесу пресування. Які профілі і з яких матеріалів виготовляються методом пресування?
26. Назвіть і поясніть основні схеми пресування.
27. Поясніть суть прогресивних способів пресування:
  - пресування із застосуванням активних сил тертя;
  - безперервне пресування за способом Конформ;
  - безперервне пресування за способом Лайнекс;
  - безперервне пресування за способом Екстроллінг.
28. Суть процесу волочіння, інструменти для нього. Які деталі отримують методом волочіння?
29. Які профілі використовують як заготовки для волочіння?
30. Опишіть будову і принцип дії волочильного стану.

## Розділ III. ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ

### Глава 6. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

**Призначення і сутність процесу зварювання.** Зварювання широко використовується у виготовленні нерознімних з'єднань металевих виробів і конструкцій, для з'єднання деяких неметалевих матеріалів (пластмас, скла, гірських порід, смол), а також металів з неметалевими матеріалами – керамікою, графітом, склом та ін. Проте найважливіше значення має зварювання металів, що широко застосовується в сучасному машинобудуванні і в будівництві.

**Зварювання** – технологічний процес отримання нерознімних з'єднань матеріалів за рахунок створення міжатомних і міжмолекулярних зв'язків між частками, які зварюються, під час їх місцевого (загального) нагрівання, пластичного деформування або спільної дії того та іншого.

Важливою умовою отримання якісного зварного з'єднання є достатній ступінь зварюваності матеріалів, що складають з'єднання.

**Зварюваність** – властивість одного або декількох металів утворювати за певної технології зварювання з'єднання, що відповідають конструкційним і експлуатаційним вимогам, які встановлені для зварного виробу. Зварюваність оцінюють за ступенем відповідності властивостей зварного з'єднання властивостям основного металу та наявністю дефектів зварного шва – тріщин, пор, шлакових включень тощо. За цими ознаками матеріали поділяють на чотири категорії: добре, задовільно, обмежено і погано зварювані.

**Класифікація методів зварювання.** Найбільш поширені методи зварювання плавленням, коли кромки зварюваних деталей (основний метал) нагрівають до розплавленого стану, утворюючи загальну зварювальну ванну. Після видалення джерела тепла метал ванни охолоджується і твердне, утворюючи зварний шов, який з'єднує зварювані поверхні.

При зварюванні тиском зварне з'єднання утворюється нагріванням зварюваних поверхонь до пластичного стану або початку плавлення і додатковим прикладанням механічних зусиль стиску.

Зварювання поділяють на три класи, залежно від виду енергії, яка використовується для отримання зварного з'єднання:

- **термічний клас**, до якого відносять види зварювання плавленням з використанням теплової енергії (дугове, плазмове, електрошлакове, електронно-променеве, лазерне, газове та ін.);

- **термомеханічний клас**, до якого відносять види зварювання за рахунок сумісної дії теплової енергії та енергії тиску (контактне, дифузійне та ін.);

- **механічний клас**, до якого відносять види зварювання тільки за рахунок механічної енергії (ультразвукове, вибухом, тертям та ін.).

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення процесу зварювання металів і сплавів.
2. З яких матеріалів можуть створюватися зварні з'єднання?
3. Що таке зварюваність матеріалів?
4. Як оцінюють зварюваність матеріалів?
5. На які категорії поділяють матеріали, залежно від ступеня їх зварюваності?
6. У чому фізична суть процесу зварювання плавленням і тиском?
7. На які класи поділяють зварювання, залежно від джерела енергії, що використовують?
8. Які види енергії використовують для термічних, термомеханічних, механічних видів зварювання?

## Глава 7. ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ ПЛАВЛЕННЯМ

### § 7.1. Сутність процесу дугового зварювання і його види

Електричне дугове зварювання, при якому як джерело теплоти використовувалась електрична дуга, вперше було застосовано в Росії у 1882 році винахідником М. М. Бернадосом. Електричну дугу в 1802 році відкрив В. В. Петров для зварювання металів вугляним електродом, а у 1888 році М. С. Славянов запропонував спосіб дугового зварювання металевим електродом. Залежно від способу введення до зварювального ланцюга основного та присадного металу і характеру дії на них зварювальної дуги, розрізняють чотири основні способи дугового зварювання.

1. Неплавким вугляним або вольфрамовим електродом 1 (рис. 7.1, *a*) дугою прямої дії 2 (спосіб Бернадоса) постійним струмом на прямій полярності (електрод підключений до негативного полюса джерела струму – катод, а деталь – до позитивного полюса – анод). За такого способу з'єднання виконується шляхом плавлення тільки основного матеріалу 3 або із застосуванням присадного матеріалу 4.

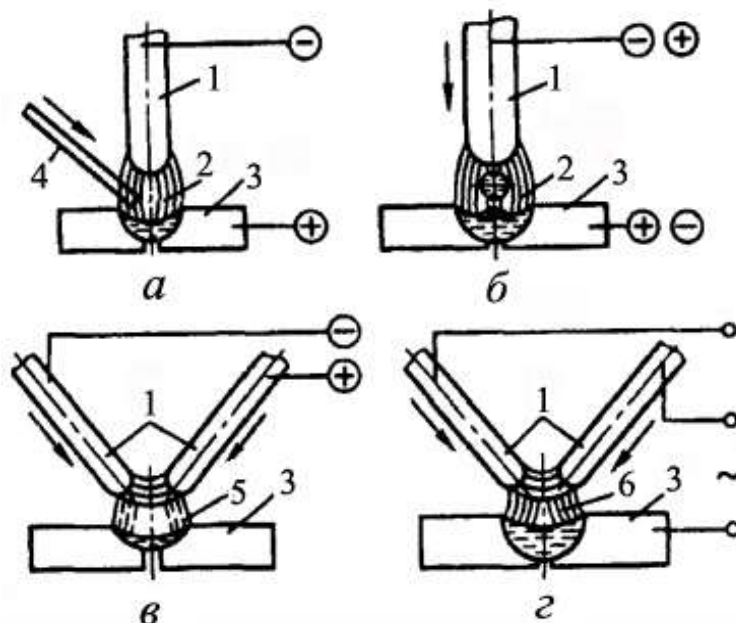




Рис. 7.1. Схеми основних видів дугового зварювання

2. Плавким металевим електродом 1 (рис. 7.1, б) дугою прямої дії 2 постійним струмом на прямій або зворотній (електрод підключений до позитивного полюса – анод, а деталь – до негативного полюса – катод) полярності (спосіб Славянова). При цьому одночасно плавиться основний метал 3 і метал електрода, який поповнює зварювальну ванну.

3. Непрямою дугою 5, що горить між двома, частіш за все неплавкими, електродами 1 (рис. 7.1, в) постійним струмом. При цьому основний метал 3 розплавляється за рахунок теплоти дуги і створює зварний шов.

4. Плавкими металевими електродами 1 з використанням трифазної дуги (рис. 7.1, г) змінного струму.

Електрична дуга – потужний стабільний розряд електрики в іонізованій атмосфері газів і парів металу.

До основних параметрів, які характеризують електричні властивості дуги, належать напруга, струм і довжина дуги. Залежність між напругою і струмом у стаціонарному стані дуги називається її статичною вольт-амперною характеристикою (ВАХ). Вона зображена на рис. 7.2.

Статична ВАХ зварювальної дуги складається з трьох ділянок:

- спадна характеристика (ділянка I);
- жорстка характеристика (ділянка II);
- зростаюча характеристика (ділянка III).

Найчастіше застосовують дугу з жорсткою характеристикою, при якій напруга дуги не залежить від сили зварювального струму.

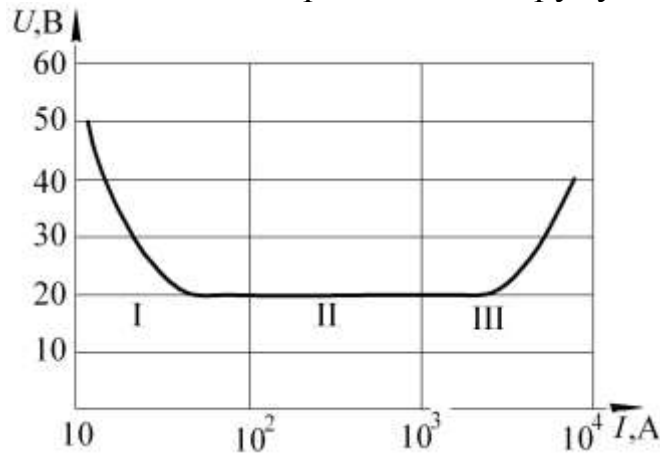


Рис. 7.2. Статична ВАХ зварювальної дуги

Для дуги з жорсткою характеристикою напруга  $U_{\dot{A}}$  пропорційна її довжині:

$$U_{\dot{A}} = \alpha + \beta L_{\dot{A}}, \quad (7.1)$$

де  $L_{\dot{A}}$  – довжина дуги, зазвичай:  $0 < L_{\dot{A}} \leq 8$  мм;  $\alpha$  і  $\beta$  – емпіричні коефіцієнти, які залежать від металу, який зварюється, газового середовища та інших факторів; для сталевих електродів при зварюванні у повітрі  $\alpha = 10$  В,  $\beta = 2$  В/мм.

Очевидно, що для постійності напруги необхідно підтримувати стале значення довжини дуги.

Для дугового зварювання застосовують як постійний, так і змінний струм.

## § 7.2. Джерела струму для дугового зварювання

Джерела зварювального струму повинні забезпечувати легке запалювання і стійке горіння дуги, обмежувати струм короткого замикання і бути безпечними в роботі, що забезпечується їх спеціальною зовнішньою характеристикою.

Зовнішня вольт-амперна характеристика джерела зварювального струму – це залежність напруги на його вихідних клеммах від струму в електричному ланцюзі. Зовнішні характеристики бувають спадними 1, полого спадними 2, жорсткими 3, зростаючими 4 (рис. 7.3, а).

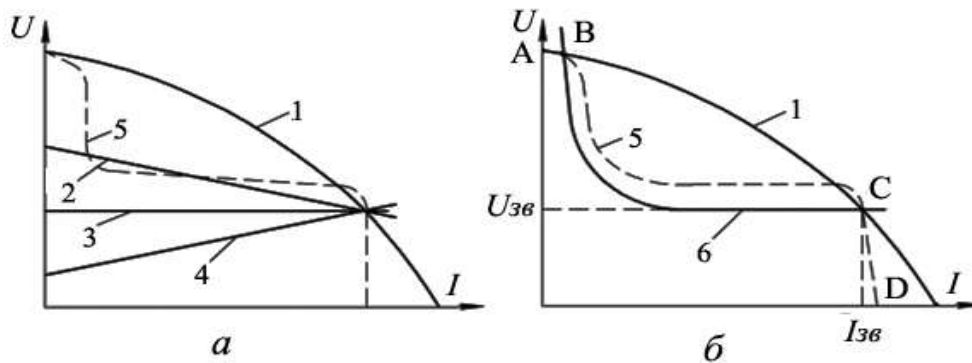


Рис. 7.3. Типи зовнішніх ВАХ джерел зварювального струму і їх співставлення з характеристикою зварювальної дуги

Для живлення дуги з жорсткою характеристикою найбільш придатними є джерела струму із спадною і полого спадною зовнішніми характеристиками.

Напруга, що потрібна для запалювання дуги, яку називають напругою холостого ходу джерела зварювального струму, з міркувань безпеки становить близько 60...80 В (рис. 7.3, б, точка А).

Точка С відповідає режиму сталого горіння дуги і визначається перетином ВАХ 6 дуги із спадною зовнішньою ВАХ 1 джерела струму. Для стійкого горіння відкритої дуги в більшості випадків достатньо напруги  $U_A = 18...30$  В.

Точка D відповідає режиму короткого замикання і характеризується малою напругою ( $U_A \rightarrow 0$ ) та підвищеним, але обмеженим струмом. Обмеження струму короткого замикання досягається завдяки спадній зовнішній ВАХ, відповідно до якої зі збільшенням струму навантаження напруга на затискачах джерела струму знижується.

Найкраще всім вимогам до горіння газової дуги (легке запалювання, стале горіння, мале коливання довжини дуги і напруги, обмеження струму короткого замикання) відповідає джерело струму з так званою ідеалізованою ВАХ 5 (рис. 7.3 а, б).

Зварювальні трансформатори (див. рис. 7.4, а, б) застосовують для зниження високої напруги мережі (220 або 380 В) до напруги холостого ходу трансформатора (60...80 В).

Крім того, трансформатор створює на дузі спадну зовнішню характеристику. Для цього послідовно з дугою і вторинною обмоткою II трансформатора вмикають дросельну, тобто реактивну обмотку III. При проходженні зварювального струму у витках дросельної обмотки індукується ЕРС (електрорушійна сила) сила самоіндукції, яка має напрям, протилежний напрямку основної ЕРС трансформатора. Це спричинює зниження напруги дуги від значення  $U_A = 60 \dots 80$  В холостого ходу до  $U_N = 8 \dots 30$  В сталого горіння і майже до нуля ( $U_A \rightarrow 0$ ) при короткому замиканні.

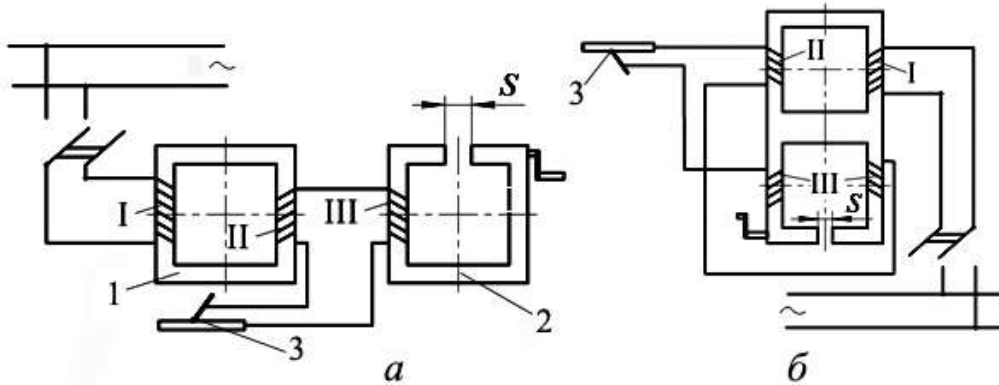


Рис. 7.4. Схеми зварювальних трансформаторів:

*a* – з окремими осердями; *б* – з одним осердям;

(1 – осердя з робочими обмотками; 2 – осердя з реактивною обмоткою;

3 – зварювальна дуга)

Застосовують дві схеми дросельної обмотки: на окремих осердях (рис. 7.4, *a*) і на одному осерді (рис. 7.4, *б*). Струм у трансформаторах регулюється збільшенням або зменшенням повітряного зазору  $S$  між рухомою і нерухомою частинами його осердь.

Зварювальні генератори постійного струму (рис. 7.5) мають спадну зовнішню характеристику, яка утворюється безпосередньо в самому генераторі, що працює за принципом намагнічувальної дії паралельної і розмагнічувальної дії послідовної обмоток збудження.

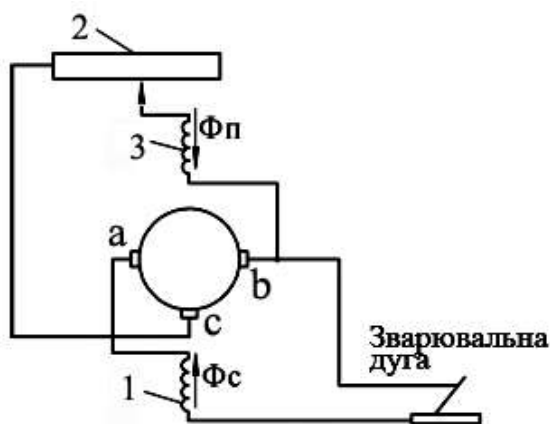


Рис. 7.5. Схема зварювального генератора постійного струму

Генератор має обмотку 3, що підключена до головної щітки  $b$  і допоміжної щітки  $c$ , і обмотку 1, яка підключається до головних щіток  $a$  і  $b$ , від яких живиться зварювальна дуга.

Напруга між щітками  $b$  і  $c$  на холостому ході і всіх режимах навантаження залишається сталою. Тому сталим є і магнітний потік  $\hat{O}_i$ , що створюється обмоткою 3, яка підключається до цих щіток (генератор з самозбудженням).

Під час холостого ходу ЕРС генератора і напруга на головних щітках  $a$ ,  $b$  і на дузі залежатимуть тільки від

магнітного потоку паралельної обмотки 3. При горінні дуги зварювальний струм проходить через послідовну (серієсну) обмотку 1, увімкнену так, що її магнітний потік  $\hat{O}_n$  направлений проти магнітного потоку  $\hat{O}_i$  і знижує його. Тому ЕРС генератора, яка індукується в обмотці якоря генератора результирующим магнітним потоком, також знизиться, і це зумовить зниження напруги на дузі. При короткому замиканні потік  $\hat{O}_n$  буде майже дорівнювати потоку  $\hat{O}_i$ . У цьому випадку результируючий магнітний потік і напруга на головних щітках  $a$  і  $b$  та на дузі також знизяться майже до нуля.

Зварювальний струм у генераторах цього типу регулюється зміною струму збудження паралельної обмотки за допомогою реостата 2 або зміною числа витків паралельної і серієсної обмоток.

Зварювальні випрямлячі застосовують за необхідності зварювання постійним струмом. Вони складаються з трансформатора і напівпровідникового випрямляча. Всі випрямлячі мають високий ККД і невеликі розміри, дають змогу плавно регулювати струм і забезпечують стійке горіння дуги.

### § 7.3. Технологія ручного електродугового зварювання

**Схема процесу.** Ручне дугове зварювання виконують зварювальними електродами, які вручну подають у дугу й переміщують уздовж заготовки. У процесі зварювання металевим покритим електродом (рис. 7.6) дуга 8 горить між стержнем електрода 7 і основним металом 1. Стержень електрода плавиться, і розплавлений метал краплями стікає у зварювальну ванну 9. Разом зі стержнем плавиться покриття електрода 6, створюючи захисну газову атмосферу 5 навколо дуги й рідку шлакову ванну 4 на поверхні розплавленого металу. У міру руху дуги зварювальна ванна твердне і формується зварний шов 3. Рідкі шлаки після остигання утворюють тверду шлакову корку 2.

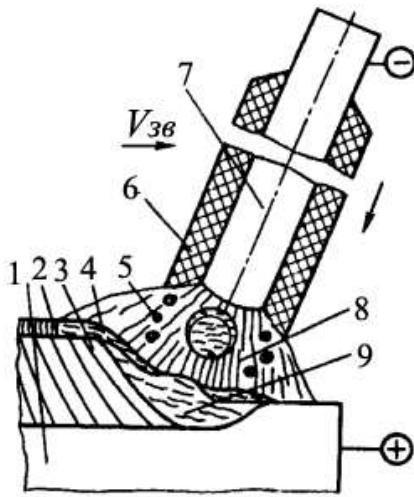


Рис. 7.6. Схема процесу ручного дугового зварювання

сила зварювального струму.

Діаметр електрода  $d_e$  вибирають залежно від товщини зварюваного металу, шару шва і положення шва у просторі. Для сталевих електродів зазвичай використовують емпіричну залежність

$$d_a = \left( \frac{\delta}{2} + 1 \right) \text{мм}, \quad (7.2)$$

де  $\delta$  – товщина зварюваного металу, мм.

**Вибір режиму зварювання.** Основними параметрами режиму ручного дугового зварювання є діаметр електрода і

Сила зварювального струму в основному залежить від діаметра електрода. Для електродів діаметром 3...6 мм:

$$I_{\text{за}} = kd, \quad (7.3)$$

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

**Види зварних з'єднань.** Основними видами з'єднань, що виконують ручним дуговим зварюванням, є стикові, таврові, торцеві, прорізні, кутові, внапуск, з накладками, пробкові (рис. 7.7).

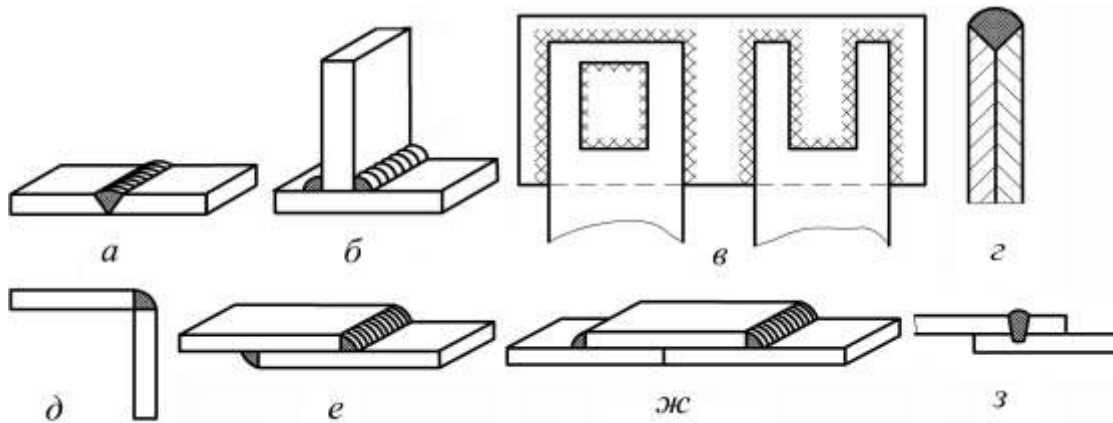


Рис. 7.7. Види зварних з'єднань:

$a$  – стикові;  $b$  – таврові;  $v$  – торцеві;  $z$  – прорізні;  $d$  – кутові;  $e$  – внапуск;  
 $zh$  – з накладками;  $z$  – пробкові

Найбільша товщина металу, який зварюють за один прохід – 6 мм, а при зварюванні з двох сторін – до 8 мм. При зварюванні листів більшої товщини кромки одного чи обох листів попередньо скошують під кутом 54...60°. Скошування кромки може бути як однобічним, так і двобічним. Щоб забезпечити проварювання по всьому перерізу зварюваних листів, між кромками залишають зазор, який залежно від товщини металу дорівнює 0...4 мм.

Для запобігання пропалюванню гострі кромки листів притупляють на 1...3 мм.

**Основні види зварних швів за положенням у просторі.** За положенням у просторі шви бувають:

- нижні (див. рис. 7.8,  $a$ ), які зварювати найзручніше;
- вертикальні (див. рис. 7.8,  $b$ ), які виконують дуже короткою дугою і електродами, діаметр яких не більший за 5 мм;
- горизонтальні (див. рис. 7.8,  $v$ );
- стельові (див. рис. 7.8,  $z$ ) – зварюють найкоротшою дугою і електродами діаметром, не більшим за 4 мм.

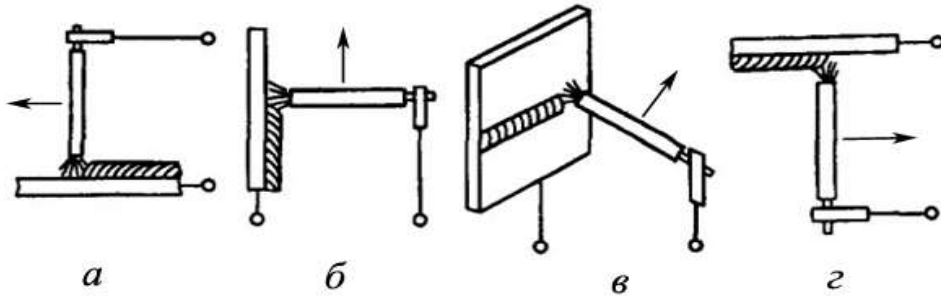


Рис. 7.8. Схеми просторового розміщення шва

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Поясніть сутність процесу електродугового зварювання. Які способи електродугового зварювання використовуються у машинобудуванні?
2. Дайте визначення електричної дуги.
3. Що таке статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги?
4. Назвіть параметри електричної зварювальної дуги.
5. Дайте визначення зовнішньої вольт-амперної характеристики джерела зварювального струму.
6. Як забезпечуються обмеження величини струму у зварювальній дузі?
7. Назвіть основні пристрої, які використовуються як джерела зварювального струму.
8. Назвіть основні види зварних з'єднань.
9. Як поділяють зварювальні шви за їх положенням у просторі?
10. Назвіть основні параметри режиму ручного електродугового зварювання. Як визначаються вказані параметри?

## Глава 8. АВТОМАТИЧНЕ ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

### § 8.1. Автоматичне зварювання під шаром флюсу

У автоматичному дуговому зварюванні використовують непокритий електродний дріт і порошковидний флюс для захисту зварювальної ванни від дії атмосфери. Подавання й переміщення електродного дроту автоматизовані. Також автоматизовані процеси запалювання дуги й заварювання кратера наприкінці шва.

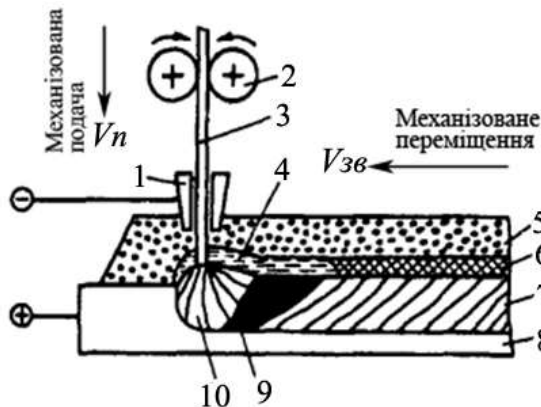


Рис. 8.1. Схема автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу

У процесі автоматичного зварювання під флюсом (рис. 8.1) дуга 10 горить між дротом 3 і основним металом 8. Стовп дуги й ванна рідкого металу 9 з усіх боків щільно закриті шаром флюсу 5 товщиною 30...50 мм.

Частина флюсу розплавляється, у результаті чого навколо дуги утворюється газова порожнина, а на поверхні розплавленого металу – ванна рідких шлаків 4. Для зварювання під флюсом характерне глибоке проплавлення основного металу. Під

дією потужної дуги й досить швидкого руху електрода уздовж заготовки відбувається витискування розплавленого металу у сторону, протилежну напрямку зварювання. У міру поступального руху електрода металева й шлакова ванни тверднуть з утворенням зварного шва 7, покритого твердою шлаковою кіркою 6.

Дріт подають у дугу й переміщують його уздовж шва за допомогою механізмів подавання 2 і переміщення. Струм до електродів надходить через струмопровід 1.

Основні переваги автоматичного зварювання під флюсом, порівняно з ручним дуговим зварюванням, полягають у підвищенні продуктивності процесу зварювання в 5...20 разів, підвищенні якості зварних з'єднань і зменшенні собівартості зварного шва. Підвищення продуктивності досягається за рахунок використання великих зварювальних струмів (до 2000 А) і безперервності процесу зварювання. Застосування непокритого дроту дозволяє наблизити струмопровід на відстань 30...50 мм від дуги й тим самим усунути небезпечний розігрів електрода при великому струмі. Щільний флюсовий захист зварювальної ванни запобігає розбризкуванню й вигоранню розплавленого металу. При цьому більш повно використовується теплова потужність дуги (ККД дуги зростає до 0,9...0,95).

Збільшення струму дозволяє зварювати метал значної товщини (до 20 мм) за один прохід без оброблення кромки, що дає істотну економію наплавленого металу, порівняно зі зварюванням з обробленням кромки.

## § 8.2. Автоматичне дугове зварювання в захисних газах

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

А р г о н о д у г о в е з в а р ю в а н н я можна виконувати як плавкими, так і неплавкими електродами.

Зварювання неплавким вольфрамовим електродом ( $T_{i\bar{e}} = 3370$  °С) застосовують, як правило, для металу товщиною 0,8...6 мм. При цьому можливе зварювання з розплавленням тільки основного металу або основного і присадного металу (прутка або дроту) одночасно. Пруток подають у дугу й переміщують пальник вручну (див. рис. 8.2, а). Для дроту зазвичай використовують подавальний механізм (див. рис. 8.2, б).

З використанням такого механізму зварювання може бути механізоване, виконуване за допомогою напівавтоматів, або автоматичне, відповідно з переміщенням пальника вручну або механізмом переміщення. Зварювання плавким електродом виконують автоматичним або механізованим за допомогою напівавтоматів способами, схеми яких наведені на рис. 8.2, в, г.

Нормальний перебіг процесу зварювання й добра якість шва забезпечуються при високій густині струму ( $100 \text{ А/мм}^2$  і більше), що забезпечує перенесення електродного металу в шов і глибоке проплавлення основного металу.

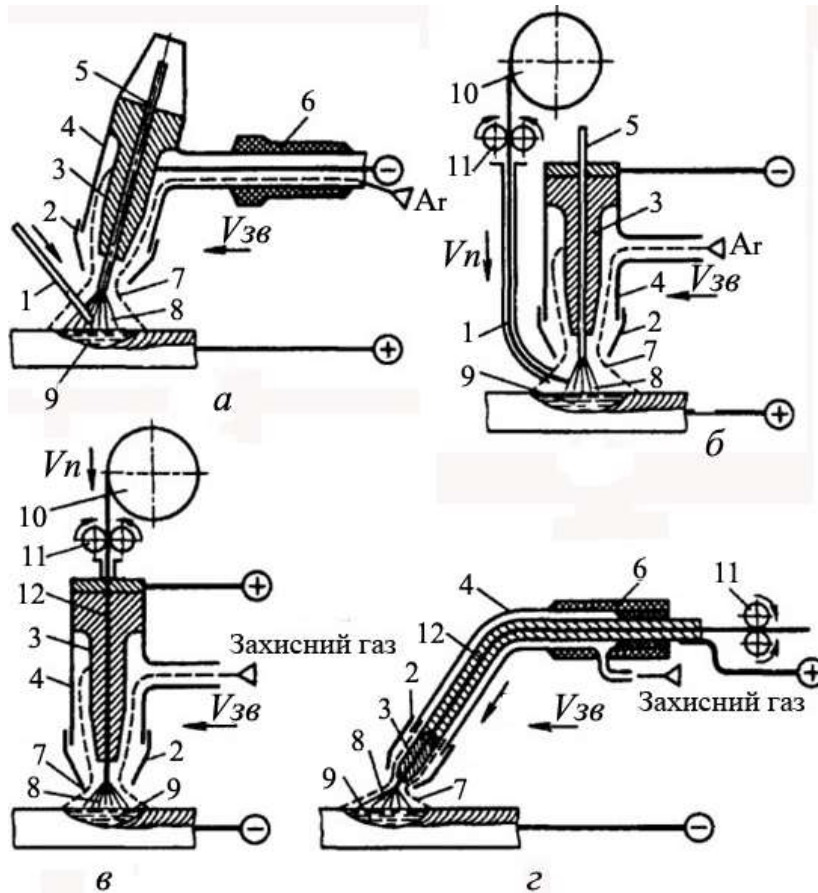


Рис. 8.2. Види зварювання в захисних газах:

- 1 – присадний пруток або дріт; 2 – сопло; 3 – струмопідвідний мундштук;  
 4 – корпус пальника; 5 – вольфрамовий неплавкий електрод; 6 – рукоятка пальника;  
 7 – атмосфера захисного газу; 8 – зварювальна дуга; 9 – ванна розплавленого металу;  
 10 – касета із дротом; 11 – подавальний механізм; 12 – металевий плавкий електрод (зварювальний дріт)

Як захисні гази використовують інертні гази (аргон і гелій), які не взаємодіють з розплавленим металом, і активні гази (вуглекислий газ, водень, азот, а також їх суміші), які частково взаємодіють з розплавленим металом. У нашій країні найпоширенішим є застосування аргону і вуглекислого газу.

Активні гази використовують у тому випадку, коли задані властивості металу можна забезпечити металургійною обробкою, наприклад, відновленням або окисленням.

### § 8.3. Режим зварювання і його вплив на параметри шва

**Параметри режиму зварювання.** Основними параметрами режиму автоматичного дугового зварювання є такі:

- величина, густина і полярність зварювального струму;
- напруга дуги;



- швидкість зварювання;
- площа перерізу (діаметр) дроту (електрода).

Додаткові параметри:

- товщина й склад електродного покриття;
- виліт зварювального дроту;
- положення електрода й виробу при зварюванні;
- розмір зерен зварювального флюсу і його склад.

Від цих параметрів залежать форма й розміри шва, його хімічний склад.

На форму й розміри шва також впливає техніка зварювання.

З підвищенням зварювального струму зростає глибина провару, а ширина шва практично не змінюється (рис. 8.3).

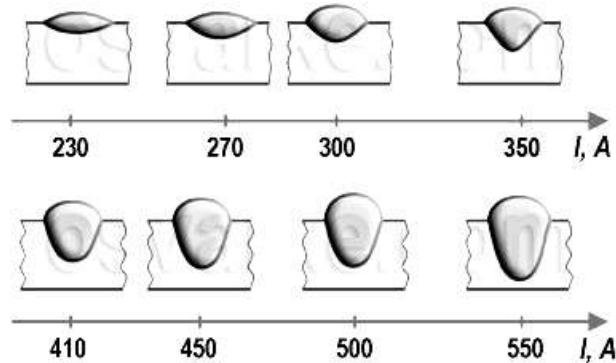


Рис. 8.3. Вплив зварювального струму на форму й розміри зварного шва

Зі збільшенням напруги дуги ширина шва різко зростає, глибина провару зменшується (рис. 8.4). Також знижується й опуклість (висота посилення) шва. При зварюванні постійним струмом (особливо зворотної полярності) ширина шва буде набагато більшою, ніж при зварюванні на змінному струмі з таким самим значенням напруги.

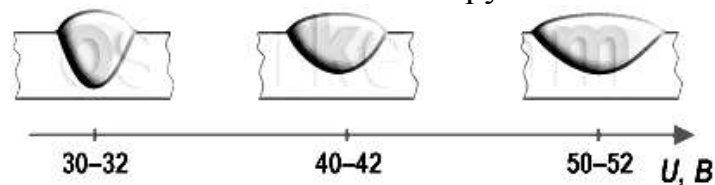


Рис. 8.4. Вплив напруги дуги на форму й розміри зварного шва

Зі зростанням швидкості зварювання ширина шва зменшується, а глибина провару спочатку збільшується (до швидкості 40...50 м/год), а потім зменшується. При швидкості зварювання понад 70...80 м/год можливі підрізи по обох сторонах шва через недостатній прогрів основного металу (див. рис. 8.5).

Зі зменшенням діаметра електродного дроту (за інших рівних умов) зростає густина струму в електроді, що спричинює збільшення глибини провару й опуклості шва, але при цьому знижується його ширина. Таким чином, при зменшенні діаметра дроту можна одержати глибший провар за незмінної сили струму або такий самий провар за меншої сили струму.

При збільшенні вильоту дроту діаметром не більше 3 мм із струмопідвідного мундштука знижується глибина провару, що може призвести до виникнення крайових наплавів у шві. Збільшення вильоту дроту діаметром 5 мм з 60 до 150 мм не впливає на форму зварного шва.

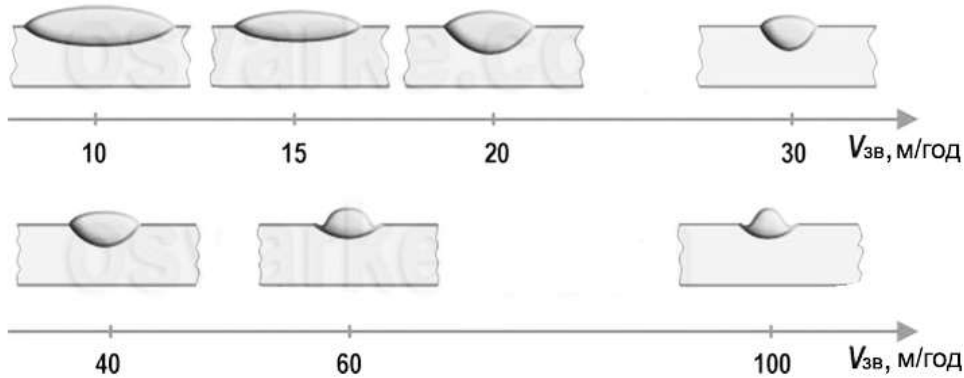


Рис. 8.5. Вплив швидкості зварювання на форму й розміри шва

**Вибір і розрахунок параметрів режиму зварювання.** Розглянемо послідовність розрахунку основних параметрів режиму зварювання.

Діаметр електрода  $d_e$ , мм вибирають залежно від товщини зварюваних деталей за співвідношенням (7.2), як для ручного зварювання.

Виходячи із допустимої густини струму  $j$ , за  $d_e$  з табл. 8.1 призначають величину струму і вибирають коефіцієнт  $B$ , що визначає  $V_{\hat{c}\hat{a}}$ .

Таблиця 8.1.

Параметри режиму зварювання

Параметри	Діаметр електрода $d_e$ , мм				
	2	3	4	5	6
$j$ , А/мм <sup>2</sup>	65...200	45...90	35...60	30...50	25...45
$B$ , А · м/год	8...12	12...16	16...20	20...25	25...300

Надалі параметри розраховують у такій послідовності.

Зварювальний струм, А:

$$I_{\hat{c}\hat{a}} = j \cdot \frac{\pi d_e^2}{4}. \quad (8.1)$$

Оптимальна напруга дуги, В:

$$U_{\hat{A}} = 20 + 50 \cdot 10^{-3} \frac{I_{\hat{c}\hat{a}}}{d_e^{0.5}} \pm 1. \quad (8.2)$$

Швидкість зварювання, см/с:

$$V_{\hat{c}\hat{a}} = 27,7 \frac{\hat{A}}{I_{\hat{c}\hat{a}}}. \quad (8.3)$$

## § 8.4. Способи регулювання довжини зварювальної дуги

Найбільш складною операцією автоматичного дугового зварювання є автоматичне підтримання сталої довжини зварювальної дуги, яка визначає стабільність процесу зварювання. В автоматах для дугового зварювання використовують два способи підтримання сталої довжини зварювальної дуги:

- автоматичне примусове регулювання довжини дуги;
- саморегулювання довжини дуги при постійній незалежній швидкості подавання електродного дроту.

**Примусове регулювання довжини зварювальної дуги.** У зварювальних головках автоматичного дугового зварювання для підтримки сталості довжини дуги використовується взаємозв'язок між довжиною дуги  $L$ , напругою дуги  $U$  і швидкістю  $V_d$  подавання електродного дроту. Оскільки  $U \sim L$ , регулювання сталості напруги дуги еквівалентне регулюванню сталості її довжини, тому що  $U = \text{const}$ , якщо  $L = \text{const}$ . З цієї причини у зварювальній головці як регульована величина використовується напруга дуги, а регулюючою величиною є швидкість подавання електродного дроту. У цьому способі регулювання тимчасове порушення сталості довжини дуги, отже й напруги, автоматично усувається встановленням відповідної швидкості подавання електродного дроту. Сучасні автомати підтримують задану напругу дуги з точністю  $\pm 0,5$  В, що відповідає точності підтримки довжини дуги  $\pm 0,2 \dots 0,3$  мм.

Схема автоматичної зварювальної головки із примусовим регулюванням довжини дуги представлена на рис. 8.6.

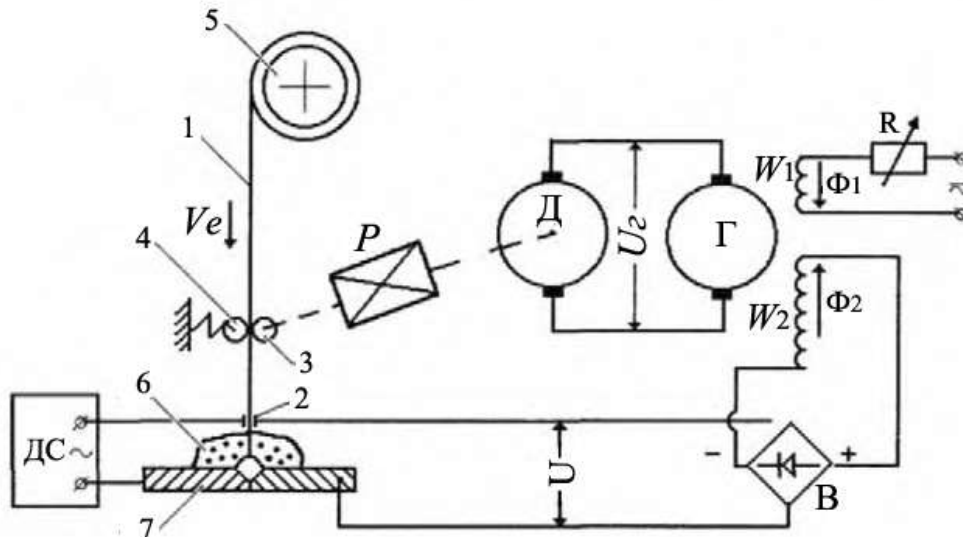


Рис. 8.6. Схема автоматичної зварювальної головки із примусовим регулюванням довжини дуги

Головка працює в такий спосіб. Двигун подавання електродного дроту Д через знизувальний редуктор Р обертає подавальний ролик 3. Електродний дріт 1 притискається до ролика 3 іншим роликом 4 і за рахунок сил тертя подається з касети 5 у зону горіння дуги через струмопідвідний мідний

мундштук з ковзним контактом 2. Під шаром флюсу 6 електрод торкається виробу 7, збуджується дуга, починається процес зварювання.

Зварювальна головка має систему зворотного зв'язку, що корегує швидкість подавання електродного дроту  $V_a$  залежно від напруги дуги  $U$ . Дійсно, відповідно до представленої схеми, двигун подавання електродного дроту Д живиться постійним струмом від спеціального генератора Г, що має дві зустрічно включені обмотки збудження  $W_1$  і  $W_2$ . Обмотка  $W_1$  живиться від стороннього незалежного джерела постійного струму. Струм у цій обмотці й створюваний ним магнітний потік  $\hat{O}_1$  установлюються за допомогою реостата  $R$ . Обмотка  $W_2$  через селеновий випрямляч В живиться від затискачів зварювальної дуги й створює магнітний потік  $\hat{O}_2$ , протилежний за напрямком магнітному потоку  $\hat{O}_1$  обмотки незалежного збудження  $W_1$ .

Результуючий магнітний потік  $\hat{O}_\delta = \hat{O}_2 - \hat{O}_1$  визначає величину напруги  $U_a$  і полярність на клеммах генератора Г, отже, частоту й напрямок обертання вала двигуна Д. Наприклад, при вкороченні дуги її напруга  $U$  стає менше свого номінального значення  $U_0$ . Внаслідок цього зменшуються магнітний потік  $\hat{O}_a$ , результуючий магнітний потік  $\hat{O}_\delta$  і напруга генератора  $U_a$ . Зменшення напруги на якорі двигуна головки Д зменшить частоту його обертання, подавання електродного дроту сповільниться, довжина дуги відновиться. Отже, всі зміни довжини дуги позначаються на режимі роботи генератора Г і двигуна Д таким чином, що швидкість подавання електродного дроту  $V_e$  виявляється рівною швидкості її плавлення  $V_{i\bar{e}}$ .

Автоматичні головки із примусовим регулюванням довжини дуги внаслідок складності електричної схеми й труднощів експлуатації доцільно використовувати для невеликої густини струму ( $15...25 \text{ А/мм}^2$ ) при швидкості плавлення електродного дроту  $V_{i\bar{e}} = 0,5...1 \text{ м/хв}$ .

**Саморегулювання довжини дуги.** Такий спосіб регулювання реалізовано у автоматичній зварювальній головці з незалежною (постійною) швидкістю подавання електродного дроту.

Для забезпечення хорошої динаміки відновлення номінального значення довжини дуги (режиму зварювання) у головках застосовують підвищену густину струму (більше  $25 \text{ А/мм}^2$ ) і джерела живлення дуги з полого спадною зовнішньою характеристикою (див. рис. 7.3, а).

Саморегулювання дуги – це регулювання одного параметра (напруги або струму дуги) або двох параметрів (напруги й струму дуги) одночасним впливом на дві величини. Для розуміння сутності явища саморегулювання довжини дуги необхідно в системі координат напруга-струм зобразити полого спадну зовнішню характеристику джерела струму й три вольт-амперні статичні характеристики дуги, що відповідають трьом різним довжинам дуг:  $L_1, L_2, L_3$  (див. рис. 8.7), причому  $L_3 < L_1 < L_2$ .

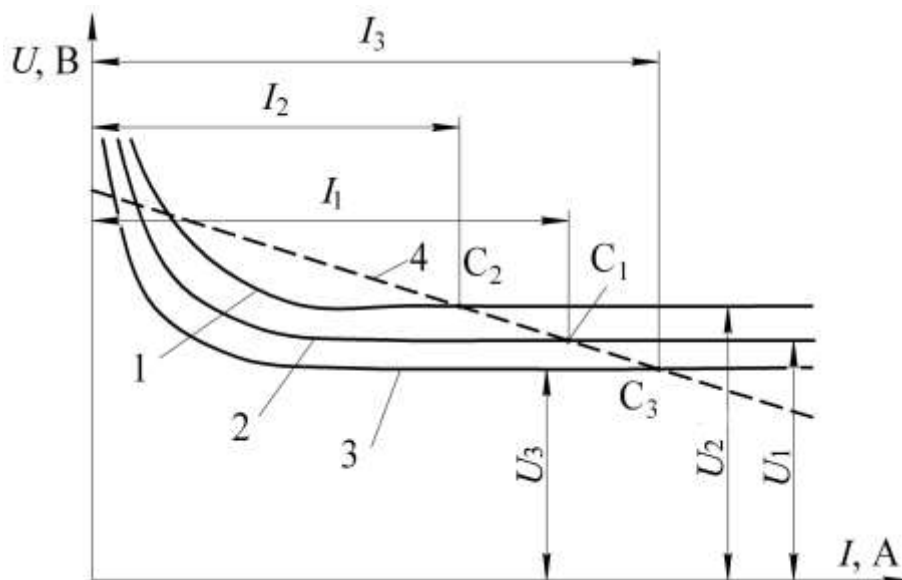


Рис. 8.7. Вибір ВАХ при саморегулюванні довжини дуги:  
1, 2, 3 – ВАХ зварювальної дуги; 4 – полого спадна зовнішня ВАХ джерела зварювального струму

Точки  $C_1(U_1, I_1)$ ,  $C_2(U_2, I_2)$ ,  $C_3(U_3, I_3)$  перетину характеристик відображають відповідні режими зварювання за напругою і зварювальним струмом. Для номінального режиму зварювання з метою одержання шва заданої форми й розмірів:  $L = L_1$ ;  $U = U_1$ ;  $I = I_1$ .

У розглянутому випадку система зворотного зв'язку для регулювання швидкості подавання електродного дроту не потрібна, тому електрична схема й конструкція зварювальної головки набагато спрощуються, стають більш компактними й надійними.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Назвіть основні відмінності автоматичного дугового зварювання від ручного.
2. Як здійснюється автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу?
3. Поясніть суть автоматичного дугового зварювання у захисних газах.
4. Як здійснюється автоматичне дугове зварювання у захисних газах з використанням непрямої та прямої електричної дуги?
5. Які електроди використовуються для зварювання непрямою та прямою дугою?
6. Які присадні матеріали використовуються у автоматичному дуговому зварюванні?
7. Назвіть основні параметри режиму автоматичного дугового зварювання.
8. Наведіть послідовність визначення режиму зварювання.
9. Яким чином параметри режиму зварювання впливають на параметри зварного шва?
10. Наведіть та коротко схарактеризуйте основні схеми регулювання довжини зварювальної дуги.

## Глава 9. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

### § 9.1. Сутність контактного зварювання

Контактне зварювання є видом зварювання з короткочасним нагріванням місця з'єднання без оплавлення або з оплавленням і з наступною осадкою розігрітих заготовок, в результаті якого формується зварне з'єднання. Місце з'єднання розігрівається електричним струмом, що проходить по металу, причому максимальна кількість теплоти виділяється в місці зварювального контакту.

Повний електричний опір зварювального контуру  $R$  (рис. 9.1) складається з електроопору  $R_{\text{сдд}}$  виступаючих кінців  $L$  заготовок, що зварюються; електроопору  $R_{\text{е}}$  зварювального контакту; електроопору  $R_{\text{дд}}$  між електродами і заготовками:

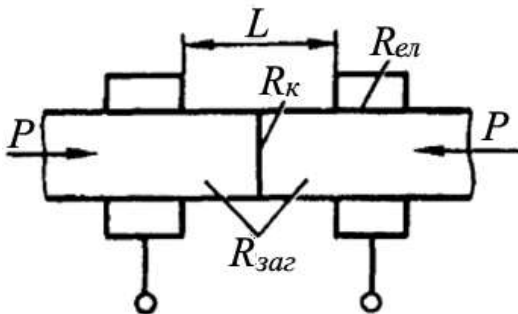


Рис. 9.1. Схема контактної зварювання

$$R = R_{\text{сдд}} + R_{\text{е}} + R_{\text{дд}}. \quad (9.1)$$

Електроопір  $R_{\text{е}}$  має найбільше значення, тому що через нерівності поверхні стику, навіть після ретельної обробки, заготовки стикаються тільки в окремих точках. У зв'язку із цим дійсна площа перерізу металу, через який проходить струм, різко зменшується. Крім того, на поверхні металу є плівки оксидів і забруднення з малою електропровідністю,

які також збільшують електроопір контакту. У результаті в точках контакту метал нагрівається до термопластичного стану або до оплавлення.

При безперервному здавлюванні нагрітих заготовок пластичний метал у місцях контакту деформується, поверхневі оксидні плівки руйнуються і видаляються до периферії стику. У зіткненні вступають зовсім чисті шари металу, що утворюють зварне з'єднання.

### § 9.2. Контактне стикове зварювання

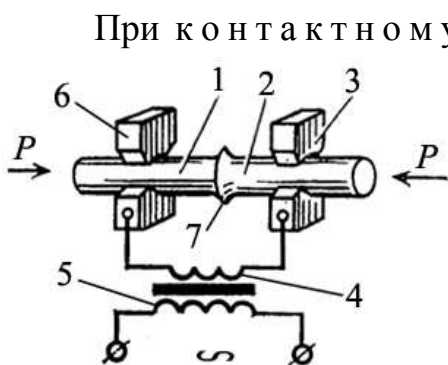


Рис. 9.2. Схема контактної стикової зварювання

При контактному стиковому зварюванні (рис. 9.2) деталі 1, 2 (стержні, штаби, рейки, труби) закріплюють у мідних затискачах 3 і 6 зварювальної установки. Затискач 3 встановлено на рухомій плиті, що переміщується по напрямних станини, а затискач 6 – на нерухомій плиті. Вторинна обмотка 4 зварювального трансформатора з'єднана з плити мідними гнучкими шинами. Первинну обмотку 5 трансформатора ввімкнено в мережу змінного струму. Для регулювання потужності трансформатора і зміни сили

зварювального струму слугує перемикач ступенів, який вмикає або вимикає додаткові секції обмоток трансформатора.

Основні види стикового зварювання: зварювання методом опору і методом оплавлення.

При зварюванні опоро м деталі з ретельно підготовленими торцями під невеликим тиском доводять до щільного стикання, а потім вмикають зварювальний струм, який розігріває метал до пластичного стану. Після цього до деталей прикладають зусилля  $P$  осадження і разом з цим вимикають струм, створюючи зварний шов 7.

Зварювання опором застосовують для з'єднання виробів з низьковуглецевих сталей і кольорових металів, площа перерізу яких до  $300 \text{ мм}^2$ .

При зварюванні оплавленням на затиснуті в установці деталі подається напруга вторинної обмотки, а потім їх зближують до стикання. Спочатку стикання зварювальних поверхонь відбувається лише в тих місцях, де є мікроступи. Тут виникає струм великої густини, метал швидко нагрівається до розплавлення і випаровується. Коли вся поверхня зварювальних торців оплавиться і покриється шаром рідкого металу, до виробів прикладається зусилля осадження з одночасним вимиканням струму, що спричинює осадку деталей і утворення зварного шва 7.

Зварювання оплавленням має переваги перед зварюванням опором. У процесі оплавлення усуваються всі нерівності стику, а оксиди й 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 (швидкорізальну і вуглецеву сталі, мідь, алюміній і т. д.).

Найпоширенішими виробами, виготовленими стиковим зварюванням, є елементи трубчастих конструкцій, колеса й кільця, інструмент, рейки й т. п.

### § 9.3. Контактне точкове зварювання

Контактне точкове зварювання – різновид контактного зварювання, при якому заготовки з'єднуються в окремих точках. Точкове зварювання застосовують для з'єднання листових конструкцій, в яких треба забезпечити потрібну міцність, а забезпечення щільності не є обов'язковим.

Сумарна товщина зварюваних листів не перевищує  $10 \dots 12 \text{ мм}$ .

При точковому зварюванні (рис. 9.3) складені внапусток деталі 1 і 2 затискають між мідними електродами 3 і 4, до яких підводиться струм від зварювального трансформатора 5 через затискачі 6. Затиснувши виріб, вмикають трансформатор і починають нагрів, під час якого поверхні заготовки, що стикаються з електродами, нагріваються повільніше, ніж їхні внутрішні шари.

Нагрів продовжують до переходу в

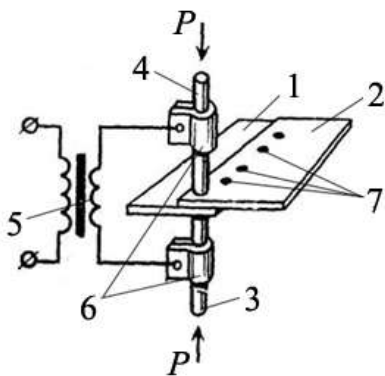


Рис. 9.3. Схема точкового зварювання

пластичний стан зовнішніх і розплавлення внутрішніх шарів заготовок, після чого вимикають струм, дещо збільшують, а потім знімають силу осадки  $P$ . У результаті отримують литу зварну точку. Сукупність таких точок створює точковий зварний шов 7.

### § 9.4. Шовне (роликowe) зварювання

Шовне зварювання є різновидом контактного зварювання, при якому між заготовками, що зварюються, утворюється міцне й щільне з'єднання. Електроди виконують у вигляді плоских роликів, між якими пропускають заготовки під час зварювання. Шовне або роликowe зварювання застосовують для того, щоб мати міцні і щільні шви при виготовленні тонкостінних посудин, призначених для зберігання і транспортування рідин, газів. Також його застосовують у виробництві тонкостінних труб.

Для шовного зварювання заготовки 1 і 2 (рис. 9.4) складають внапусток і потім затискають з певним зусиллям між мідними роликами 3, до яких підводять електричний струм від зварювального трансформатора 4. Після ввімкнення струму і початку обертання роликів відбувається переміщення зварюваних виробів і нагрівання до розплавлення їх поверхонь у місцях контакту з роликами. При цьому утворюються зварні точки, що перекривають одна одну, у результаті чого виходить суцільний герметичний шов.

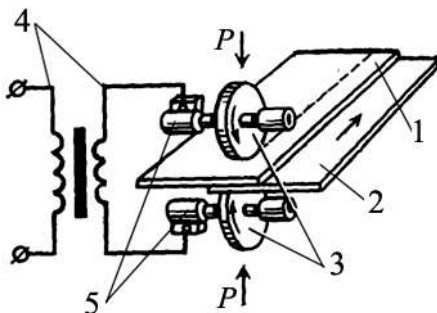


Рис. 9.4. Схема шовного зварювання

Шовне контактне зварювання – дуже високопродуктивний процес, швидкість утворення зварного шва може досягати 10 м/хв. Особливо ефективно його застосування у масовому виробництві листових конструкцій для одержання міцних і герметичних швів, наприклад, при виготовленні ємностей. Допустима товщина заготовок, що зварюються, 0,3...3 мм.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. У чому полягає суть контактного зварювання?
2. З чого складається повний електричний опір зварювального контуру при контактному зварюванні?
3. Опишіть процеси: контактного стикового зварювання, контактного точкового зварювання, контактного шовного зварювання.
4. Як забезпечується повздовжнє переміщення зварюваних заготовок при контактному шовному зварюванні?
5. На які види поділяється контактне стикове зварювання?
6. У чому відмінність контактного зварювання опором від зварювання плавленням?
7. Який вид контактного зварювання забезпечує герметичність зварного шва?
8. Які джерела зварювального струму застосовують при контактному зварюванні?



## Глава 10. ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ І РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

### § 10.1. Газове зварювання

При виготовленні зварного з'єднання газовим зварюванням кромки основного металу 1 (рис. 10.1) і присадний метал 2 нагрівають до розплавленого стану полум'ям 4 горючих газів, які спалюють за допомогою спеціального зварювального пальника 3 у суміші з технічно чистим киснем. Як горючий газ найчастіше застосовують ацетилен, природний газ, водень.

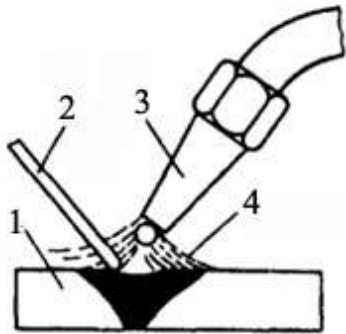


Рис. 10.1. Схема газового зварювання

**Обладнання для газового зварювання.** У промислових масштабах кисень отримують переважно з повітря, де його міститься близько 21 %. Транспортують і зберігають газоподібний кисень в кисневих балонах.

Найпоширенішими є балони місткістю 40 л, в яких під тиском 15 МПа вміщується 6000 л кисню. Кисневий балон (рис. 10.2) являє собою сталевий циліндр зі сферичними днищем 6 і горловиною 4 для кріплення запірнього вентиля 2. На нижню частину балона насаджують башмак 5, що дозволяє ставити балон вертикально.

На горловині є кільце 3 з різьбою для нагвинчення захисного ковпака 1. Кисневі балони фарбують у блакитний колір із чорним написом "Кисень".

Для зниження високого тиску зберігання до значення робочого тиску і для підтримання його постійної величини, незалежно від витрати газу з балону, призначені газові редуктори. Найбільш поширеною є конструкція кисневого редуктора, наведена на рис. 10.3.

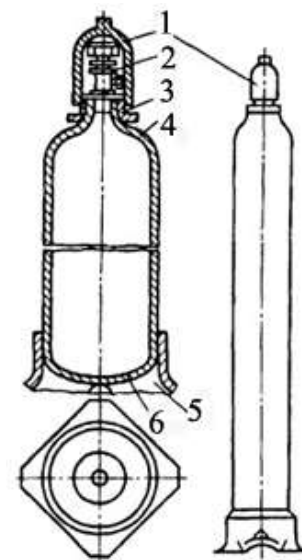


Рис. 10.2. Конструкція кисневого балона

Кисневі редуктори знижують тиск від 15 до 0,2...0,4 МПа при зварюванні і до 1,2...1,4 МПа при різанні.

Застосовують також ацетиленові редуктори, які знижують тиск під час подавання ацетилену з балону в зону зварювання від 1,6 до 0,02 МПа.

Редуктори, застосовувані у зварювальній техніці, зазвичай мають два манометри, один із яких вимірює тиск газу до входу в редуктор, другий — на виході з нього. Корпус редуктора фарбують у певний колір: блакитний — для кисню, білий — для ацетилену й т. д.

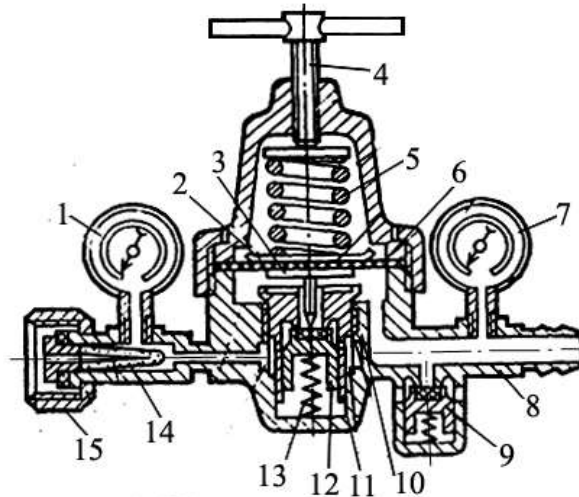


Рис. 10.3. Конструкція кисневого редуктора:

- 1 – манометр контролю тиску у балоні; 2 – натискний диск; 3 – штовхач; 4 – регулювальний гвинт; 5 – натискна пружина; 6 – мембрана; 7 – манометр контролю робочого тиску; 8 – ніпель; 9 – запобіжний клапан; 10 – сідло клапана; 11 і 14 – фільтри; 12 – клапан; 13 – пружина; 15 – накидна гайка

До зварювального пальника кисень від редуктора подають через спеціальні гумові шланги.

Апарати, в яких шляхом хімічної взаємодії карбіду кальцію і води виробляють технічний ацетилен, що використовується у газовому зварюванні, називаються ацетиленовими генераторами. Схема ацетиленового генератора, якій працює по схемі “вода на карбід”, наведено на рис. 10.4.

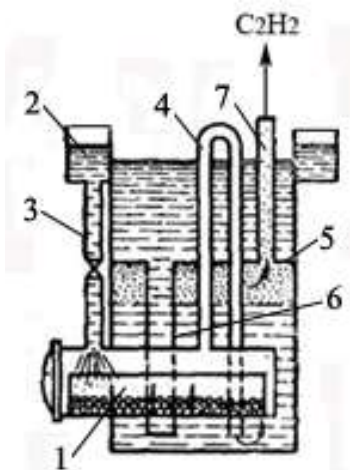


Рис. 10.4. Схема ацетиленового генератора

Карбід кальція завантажують у одну або дві реторти 1, в які з окремого резервуара 2 трубою 3 подається вода. Ацетилен, що утворюється при розкладанні карбіду кальцію, з реторти по трубі 4 надходить в нижню частину генератора, де збирається під перегородкою 5. Вода, що знаходиться під тиском ацетилену, витискається по циркуляційній трубі 6 у верхню частину корпуса генератора. Ацетилен з генератора відводиться по трубі 7. Генератори цієї системи мають невелику продуктивність, низький тиск, здебільшого їх виготовляють переносними.

Якщо пальник забивається і перегрівається (коли швидкість витікання газової суміші стає менш ніж швидкість її горіння), виникає зворотній удар полум'я. При цьому воно поширюється по шлангові та проникає у генератор, після чого відбувається вибух. Для захисту ацетиленових генераторів від вибуху у випадку зворотних ударів полум'я на них встановлюють запобіжні затвори. Із них найпоширенішими є водяні затвори (див. рис. 10.5).

При нормальній роботі обладнання (рис. 10.5, а) ацетилен по газопідвідній трубці 1 надходить у затвор, наповнений водою до рівня контрольного крана 3, і, пройшовши через шар води, виходить через кран 2 до пальників. Різниця рівнів у відкритій зверху запобіжній трубці 4 і затворі визначає робочий тиск газу, що живить пальник.

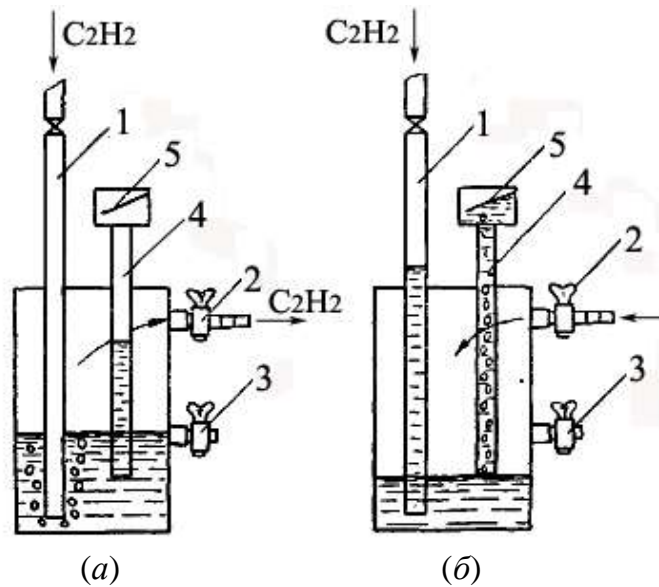


Рис. 10.5. Схема водяного затвору

У разі зворотного удару (рис. 10.5, б) газова суміш спрямовується назад, надходить у затвор через кран 2 і відтискує воду в газопідвідну трубку 1 і запобіжну трубку 4. Внаслідок зниження рівня води в затворі нижній кінець запобіжної трубки оголюється і газ виходить в атмосферу. Водяна пробка, що утворюється в газопідвідній трубці, не допускає проникнення вибухової хвилі в генератор. Щиток 5 відбиває воду, що викидається із затвора, і повертає її назад у затвор, зменшуючи втрату води при зворотних ударах.

Зварювальний пальник є основним інструментом газозварника. Він призначений для змішування у потрібних пропорціях горючого газу з киснем і для створення зварювального полум'я потрібної потужності, розмірів і форми.

Розрізняють пальники інжекторні (низького тиску) і безінжекторні (рівного тиску).

У промисловості частіше використовують інжекторний пальник як найбільш безпечний у роботі на низькому й середньому тисках (див. рис. 10.6). В інжекторному пальнику кисень під тиском 0,1...0,4 МПа через регулювальний вентиль 6 подається до інжектора 5. Виходячи з великою швидкістю з вузького каналу інжекторного конуса, кисень створює значне розрідження в камері 4 і засмоктує горючий газ, що надходить через вентиль 7 в ацетиленові канали 8 пальника і далі в камеру змішування 3, де утворюється горюча суміш.

Готова горюча суміш надходить по наконечнику 2 до мундштука 1, на виході з якого після її запалювання утвориться зварювальне полум'я.

Пальники цього типу мають змінні наконечники з різними діаметрами вихідних отворів інжектора і мундштука, що дозволяє регулювати потужність ацетиленокисневого полум'я. Звичайно пальники комплектують сьома номерами змінних наконечників.

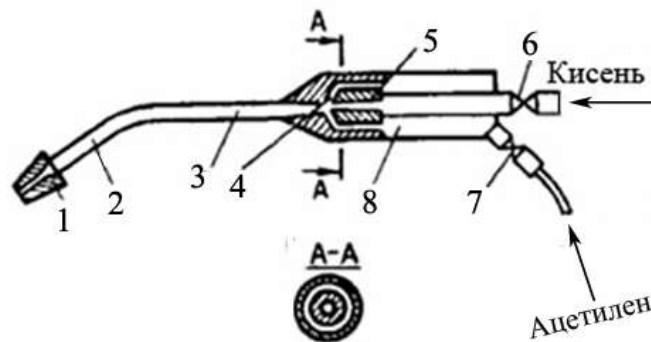


Рис. 10.6. Схема зварювального інжекторного пальника

**Структура і властивості ацетиленокисневого полум'я.** Зварювальне ацетиленокисневе полум'я складається із трьох зон: ядра 1, полум'я середньої зони 2 і факела 3 (рис. 10.7).

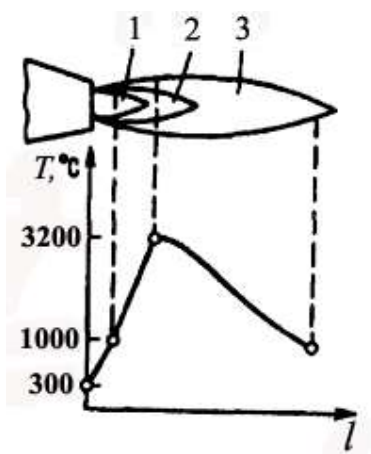


Рис. 10.7. Структура ацетиленокисневого полум'я

У зоні 1 відбувається поступове нагрівання до температури займання газової суміші (близько 1000 °С), що надходить із мундштука. У зоні 2 – перша стадія горіння ацетилену за рахунок кисню, що надходить із балона. Ця зона має найвищу температуру (близько 3050...3150 °С) та відновні властивості і називається зварювальною або робочою зоною. У зоні 3 (факелі) відбувається друга стадія горіння ацетилену за рахунок атмосферного кисню за температури близько 1200 °С. Водяна пара і  $CO_2$  при високих температурах окислює метал, тому цю зону називають окисною.

Зварювальне полум'я називають нормальним, коли для нього виконується співвідношення  $\frac{O_2}{C_2H_2} \approx 1,1$ .

Нормальним полум'ям зварюють більшість сталей. При збільшенні вмісту кисню  $\left(\frac{O_2}{C_2H_2} > 1,1\right)$  полум'я набуває блакитнуватою відтінку і має загострену форму ядра. Таке полум'я є окислювальним і може бути використано тільки для зварювання латуні. У цьому випадку надлишковий кисень утворює із цинком, що міститься у латуні, тугоплавкі оксиди, плівка яких запобігає подальшому випаровуванню цинку.

При збільшенні вмісту ацетилену  $\left(\frac{O_2}{C_2H_2} < 1,1\right)$  полум'я стає на вуглецьовувальним і застосовується для зварювання чавуну і

кольорових металів, тому що в цьому випадку компенсується вигорання вуглецю і відновлюються оксиди кольорових металів.

У більшості випадків для газового зварювання застосовують нормальне полум'я, коли на одну об'ємну частину ацетилену припадає на 10...20 % більше кисню.

**Способи газового зварювання.** Розрізняють два основні способи зварювання: лівий і правий (рис. 10.8).

При лівому способі (рис. 10.8, а) полум'я пальника переміщується справа наліво і спрямоване на незварені кромки, а при правому способі (рис. 10.8, б) – зліва направо і спрямоване в бік утвореного зварного шва.

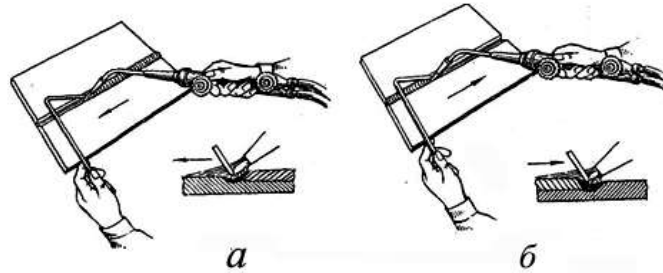


Рис. 10.8. Основні способи газового зварювання

Лівий спосіб застосовують при зварюванні листів завтовшки до 5 мм і легкоплавких металів, для яких не потрібне зосередження великої кількості теплоти в місці зварювання.

Правий спосіб забезпечує більш глибоке проварювання, тому його застосовують при газовому зварюванні металу завтовшки понад 5 мм.

## § 10.2. Газокисневе різання металів

Газокисневе різання ґрунтується на здатності металу, підігрітого газокисневим полум'ям до температури займання, згоряти в струмені чистого, так званого різального кисню. Для початку горіння метал підігрівають до температури його запалювання у кисні (наприклад, сталь до 1000...1200 °С).

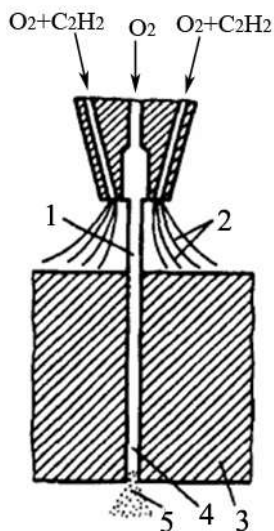


Рис. 10.9. Схема

газокисневого різання

На рис. 10.9 показаний процес газокисневого різання. Метал 3 нагрівається в початковій точці різання підігрівальним полум'ям 2, потім струмінь ріжучого кисню 1 спрямовується на нагрітий метал, який починає горіти. Горіння металу супроводжується виділенням теплоти, що разом з підігрівальним полум'ям розігріває нижні шари на всю товщину. Оксиди 5, що утворюються, розплавляються і видувуються струменем ріжучого кисню із різання 4. Траєкторія переміщення струменю відповідає заданій формі виробу, що вирізують.

Для забезпечення нормального процесу різання метал повинен мати такі властивості:

- температура займання металу повинна бути нижчою, ніж температура його плавлення;
- температура плавлення оксидів металу повинна бути нижчою, ніж температура плавлення самого металу;
- при горінні металу повинна виділятися достатня кількість теплоти, потрібної для нагрівання шарів, що лежать нижче, до температури займання;
- теплопровідність металу не повинна бути надто великою;
- оксиди металу, що утворюються в процесі різання, мають бути достатньо рідкотекучими і легко видуватись із порожнини різання.

Цим вимогам найбільше відповідають вуглецеві і низьколеговані сталі, що містять до 0,7 % вуглецю.

Інструмент для газокисневого різання – ручний інжекторний ацетиленокисневий різак – являє собою комбінацію зварювального пальника з окремою магістраллю, призначеною для подавання різального струменя кисню (рис.10.10). Його конструктивною особливістю, порівняно з газовим пальником, є наявність елементів для створення струменя ріжучого кисню: трубки підводу 14, вентиля 13, трубки подавання 12 і внутрішнього мундштука 11.

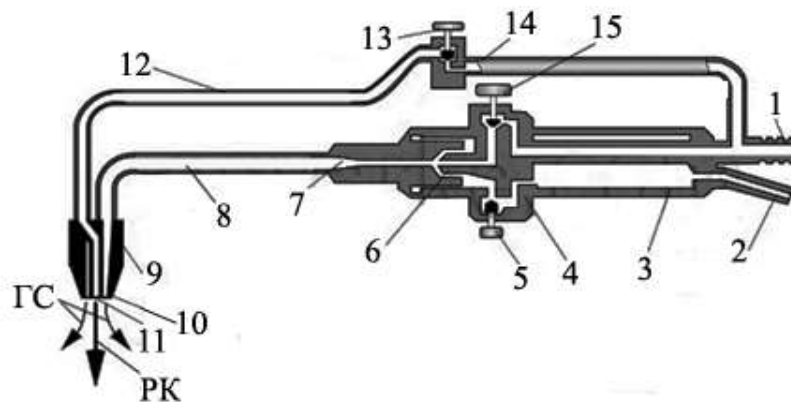


Рис. 10.10. Інжекторний газовий різак:

- 1 – кисневий ніпель; 2 – ацетиленовий ніпель; 3 – рукоятка; 4 – корпус;  
5 – ацетиленовий вентиль; 6 – інжектор; 7 – камера змішування; 8 – трубка подавання горючої суміші; 9 – головка різачка; 10 – зовнішній мундштук; 11 – внутрішній мундштук;

12 – трубка подавання ріжучого кисню; 13 – вентиль ріжучого кисню; 14 – трубка ріжучого кисню; 15 – вентиль підігрівального кисню; РК – ріжучий кисень; ГС – горюча суміш

За характером і спрямованістю кисневого струменя розрізняють такі два способи різання.

**Роздільне різання** – ріжучий струмінь спрямований нормально до поверхні металу і прорізає його на всю товщину. Роздільне різання використовують для розкрою листів, розрізування профілів, вирізування косинок, кілець, фланців і т. п.

**Поверхнєве різання** – ріжучий струмінь спрямований під дуже малим кутом до поверхні металу (майже паралельно їй) і забезпечує грубе його обдирання, наприклад, для видалення поверхневих дефектів виливків.

Звичайним кисневим різанням розрізають метали товщиною 5...300 мм. Для різання металу товщиною більше 300 мм застосовують спеціальні різачки.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Опишіть суть газового зварювання і область його застосування.
2. Яке обладнання застосовується для газового зварювання?
3. Які гази застосовують при газовому зварюванні?
4. Як отримують ацетилен для газового зварювання?
5. Опишіть роботу ацетиленового генератора.
6. Для чого призначені при газовому зварюванні кисневий редуктор і водяний затвор?
7. Як працює інжекторний газовий пальник?
8. Які типи газового полум'я, залежно від співвідношення в ньому кисню і ацетилену, застосовуються при зварюванні?
9. Коротко опишіть суть газового різання металу.
10. Назвіть основні вимоги до матеріалу заготовок при газокисневому різанні.
11. Опишіть конструкцію ацетиленокисневого інжекторного різачка. В чому його відмінність від газового пальника для зварювання?
12. Який робочий тиск кисню і ацетилену при газокисневому зварюванні інжекторним пальником?

## **Глава 11. СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ**

### **§ 11.1. Передумови створення нових способів зварювання**

Розглянуті вище традиційні способи зварювання значно поширені у різних галузях промисловості. Наприклад, ручне дугове зварювання практично безальтернативно застосовується в будівництві, ремонті й монтажних роботах, а також у прокладуванні магістральних газо- і нафтопроводів. Автоматичне зварювання під флюсом виявилось незамінним при зварюванні суцільнометалевих виробів, а саме: резервуарів, суднових корпусів і магістральних трубопроводів. Зварювання в середовищі вуглекислого газу стало основним способом з'єднання металоконструкцій у машинобудуванні, будівництві, монтажних роботах при товщині деталей 1...10 мм. Електрошлакове зварювання міцно втримує свої позиції в машинобудуванні

при зварюванні виробів товщиною 10...2000 мм. Газополум'яне зварювання виявилось незамінним у зварюванні технологічних трубопроводів і їхньому ремонті. Контактне зварювання масово застосовується у автомобілебудуванні й приладобудуванні.

Однак широке впровадження зварювання в сучасні галузі промисловості, що використовують технології без участі людей, 100 % комп'ютеризацію і комунікацію з допомогою глобальної мережі Інтернет, можливе тільки за умови високої швидкості зварювання, мінімізації об'єму зварного шва, екологічності, мінімальних витрат енергоресурсів. Зазначені традиційні способи зварювання не відповідають таким вимогам.

Виявилось, що в газополум'яному зварюванні майже немає резерву: потужність і концентрація полум'я знаходяться на межі, а сам процес газополум'яного зварювання віднесено до категорії вибухонебезпечних.

Очевидними є недоліки електричної дуги як основного джерела нагрівання при всіх різновидах і способах зварювання. На зварника здійснюється небезпечний вплив електромагнітного випромінювання дуги й джерела живлення, шкідливий вплив флюсового пилу й аерозолів (залізо, марганець, хром та ін.), а також інфрачервоних і ультрафіолетових випромінювань. Беззаперечно встановлено, що ніякі надсучасні зварювальні засоби захисту не рятують зварника від професійних захворювань: хронічного бронхіту, інтоксикацій і ризику розвитку лейкозів і злоякісних новоутворень. Цими обставинами пояснюється нагальна потреба в створенні нових високоефективних, високопродуктивних, а головне, безпечних способів зварювання.

Поява спеціальних способів зварювання пов'язана з великими успіхами у галузях фізики й хімії, що дозволили розробити концентровані джерела енергії. Відмінною рисою групи спеціальних способів зварювання є можливість одержання з'єднання без значного розплавлення або значної залишкової деформації за будь-яких сполучень матеріалів і їх товщин.

Спеціальні способи зварювання поділяють на дві підгрупи:

– зварювання плавленням, до якого відносять лазерне, плазмове і електронно-променеве зварювання, в основу яких покладено використання концентрованого пучка енергії потужністю  $10^6 \dots 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup> при мінімальному розплавленні металу для формування зварного шва;

– зварювання тиском, до якого відносять зварювання тертям, дифузійне, ультразвукове, холодне, вибухом, магнітно-імпульсне. Сутність цих способів у забезпеченні мінімальної вимушеної деформації деталі.

Нижче коротко розглянемо сутність, основні характеристики, параметри і застосування зазначених спеціальних способів зварювання.

## § 11. 2. Плазмове зварювання

Плазмове зварювання або зварювання стиснутою дугою – це зварювання плавленням, при якому нагрівання здійснюється спрямованим плазмовим струменем.



Плазма – іонізований газ із достатньо високою концентрацією заряджених часток, що містить практично однакові кількості негативних і позитивних зарядів. Плазму, одержувану нагріванням газу електричним дуговим розрядом у спеціальних генераторах плазми – плазмотронах, прийнято називати стиснутою дугою.

Плазмовий струмінь, що застосовується для зварювання, одержують у плазмових пальниках, пропускаючи газ через стовп стиснутої дуги. Дуга горить у вузькому каналі сопла пальника, через який продувають газ. При цьому стовп дуги стискується, що спричинює підвищення в ньому густини енергії й температури. Газ, який проходить через стовп дуги, нагрівається, іонізується й виходить із сопла у вигляді високотемпературного плазмового струменя, який являє собою спрямований потік частково або повністю іонізованого газу і має температуру 10 000...20 000 °С.

Як плазмоутворюючі гази застосовують азот, аргон, водень, гелій, повітря і їхні суміші. Газ вибирають залежно від процесу обробки й виду оброблюваного матеріалу.

Застосовують два основні плазмові джерела нагрівання: плазмовий струмінь, виділений зі стовпа непрямої дуги, і плазмову дугу, у якій дуга прямої дії сполучена із плазмовим струменем. Відповідно застосовують дві схеми плазмових пальників.

У пальниках для одержання плазмового струменя (рис. 11.1, а) дуга 1 горить між вольфрамовим електродом 2 і соплом 4, до якого підключений позитивний полюс джерела струму.

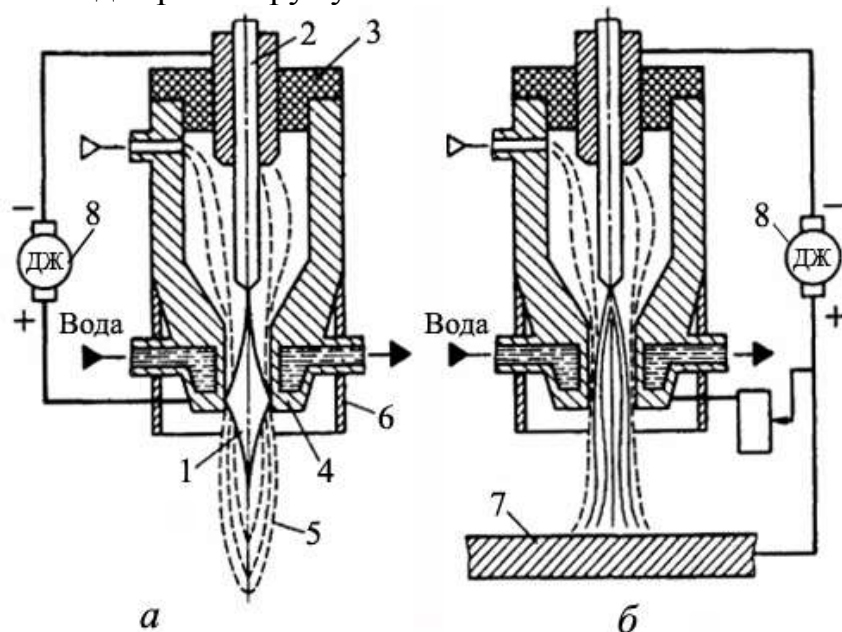


Рис. 11.1. Схеми зварювання незалежним плазмовим струменем (а)  
і плазмовою дугою (б):

1 – дуга; 2 – неплавкий електрод; 3 – керамічний ізолятор; 4 – сопло; 5 – плазмовий струмінь; 6 – сопло для подавання захисного газу; 7 – заготовка; 8 – джерело живлення дуги

Електрод ізольований від корпусу пальника керамічною прокладкою 3. Із сопла пальника, яке інтенсивно охолоджується водою, виходить яскравий

світний плазмовий струмінь 5. Пальник живиться постійним струмом від джерела енергії 8 із спадною характеристикою. Плазмовий струмінь є незалежним джерелом теплоти, що дозволяє в широких межах змінювати ступінь нагрівання і глибину проплавлення поверхні заготовок. Дугу запалюють за допомогою осцилятора. Теплова потужність плазмового струменя обмежена, тому її застосовують для зварювання і різання тонких металевих листів та неелектропровідних матеріалів, а також для напилювання тугоплавких матеріалів на поверхню заготовок. Пальники, призначені для зварювання, оснащені другим концентричним соплом 6, через яке за необхідності подається захисний газ.

Устрій пальників для одержання плазмової дуги (рис. 11.1, б) принципово не відрізняється від устрою пальників першого типу, за виключенням того, що дуга горить між електродом і заготовкою 7. Для полегшення запалювання дуги спочатку збуджується малопотужна допоміжна дуга між електродом і соплом. Для цього до сопла підключений струмопровід від позитивного полюса джерела струму. При виникненні плазмового струменя і дотику його до поверхні деталі 7, запалюється основна дуга, а допоміжна вимикається.

Плазмова дуга, що має велику теплову потужність, порівняно із плазмовим струменем, має більш широке застосування у обробці матеріалів. Її використовують для зварювання високолегованої сталі, сплавів титана, нікелю, молібдену, вольфраму й інших матеріалів. Плазмову дугу застосовують для різання матеріалів, особливо тих, різання яких іншими способами утруднене, наприклад, міді, алюмінію та ін. За допомогою плазмової дуги наплавляють тугоплавкі матеріали на поверхні заготовок.

Порівняно з аргонодуговим зварюванням вольфрамовим електродом плазмова дуга має низку переваг. По-перше, вона є більш концентрованим джерелом теплоти і внаслідок цього має більшу проплавляючу здатність. Плазмовою дугою можна зварювати метал товщиною до 10 мм без оброблення кромки і застосування присадного матеріалу. При цьому знижується тепловий вплив дуги на зварюваний метал і зменшуються зварювальні деформації.

По-друге, плазмова дуга має більш високу стабільність горіння, що забезпечує підвищену якість зварних швів. Це дозволяє виконувати так зване мікроплазмове зварювання металу товщиною 0,025...0,8 мм струмами 0,5...10 А.

По-третє, збільшуючи струм і витрату газу, можна одержати проникаючу плазмову дугу. У цьому випадку різко зростають теплова потужність дуги, швидкість витікання і тиск плазми. Така дуга дає наскрізне проплавлення і видуває розплавлений метал (процес різання). Недолік плазмового зварювання – недовговічність пальників внаслідок частого виходу з ладу сопел і електродів.

На практиці частіш за все застосовують зварювання постійним струмом прямої полярності, що забезпечує більш високу стійкість неплавкого електрода. Крім того, така дуга передає деталі найбільшу потужність, тому представляється можливість зварювати леговані сталі, титанові сплави, мідь.

При зварюванні алюмінієвих сплавів стиснуту дугу прямої полярності не використовують, тому що при цьому не забезпечується руйнування тугоплавкої оксидної плівки. Алюмінієві сплави успішно зварюють стиснутою дугою

зворотної полярності в аргоні. Однак при цьому спостерігаються низька ефективність передавання теплоти і високе теплове навантаження на електрод плазмотрона – анод. Допустимий струм на електрод у цьому випадку в 20 разів менше, ніж при прямій полярності. Підвищують стійкість електродів, застосовуючи плазмотрони з інтенсивним охолодженням електрода.

Проміжне положення за своїми параметрами займає зварювання дугою змінного струму. Оскільки у цьому випадку електрод є поперемінно катодом і анодом, стійкість електрода завжди забезпечується. Руйнування оксидної плівки в напівперіод зворотної полярності відбувається досить інтенсивно, що забезпечує гарну якість зварного з'єднання. Головний недолік дуги змінного струму – низька усталеність повторних запалювань при зміні полярності. Це найбільшою мірою проявляється в стиснутій дузі, тому що її стовп інтенсивно охолоджує плазмоутворюючий газ. Щоб підвищити усталеність дуги, необхідна або висока напруга джерела живлення, або складні спеціальні стабілізатори. Реалізувати переваги плазмового зварювання алюмінію дозволяє можливість застосування асиметричного змінного зварювального струму прямокутної форми. Схема такого процесу показана на рис. 11.2.

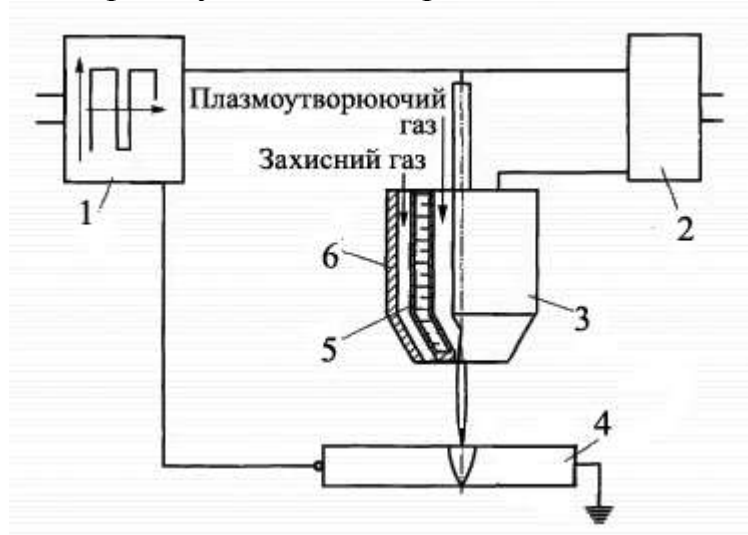


Рис. 11.2. Схема установки для зварювання алюмінієвих сплавів асиметричним струмом прямокутної форми:

1 – основне джерело живлення; 2 – джерело живлення “чергової” дуги; 3 – плазмотрон; 4 – заготовка; 5 – плазмоутворююче сопло; 6 – сопло для спрямування захисного газу

При цьому тривалість протікання струму при зворотній полярності вибирається мінімальною, але достатньою для катодного очищення кромки, що зварюється, і присадного металу, що знижує тепловиділення на електроді.

Встановлено, що при переході на зворотну полярність відбувається багаторазове зниження припустимого струму. Тому найбільш розумним рішенням є використання мідних сферичних анодів з водяним охолодженням. Це забезпечує можливість зміни зварювального струму в широких межах (до 300 А) при збереженні високої (більше 10 год) тривалості роботи.

Прямокутна форма зварювального струму дозволяє забезпечити стабільне горіння зварювальної дуги при зміні полярності завдяки мінімальному часу встановлення робочого значення струму. Для цього виду плазмового

зварювання створене спеціальне джерело живлення і плазмотрони з силою струму до 300 А.

Плазмове зварювання асиметричним змінним струмом може бути рекомендоване для виготовлення вузлів і конструкцій з високоміцних алюмінієвих сплавів, здатних до знеміцнення, у яких можуть утворюватися пористості й включення оксидних плівок.

Даний спосіб є найбільш перспективним для швидкісного зварювання полотнищ, стрінгерних панелей, труб різних геометричних розмірів і різного призначення.

Різновидом плазмового зварювання змінним струмом є зварювання стиснутою трифазною дугою. У плазмотроні для трифазної стиснутої дуги (див. рис. 11.3) установлюють два неплавкі електроди. “Черговою” дугою є дуга між цими електродами, а сопло залишається електрично нейтральним. Дуга живиться від фаз основного джерела живлення.

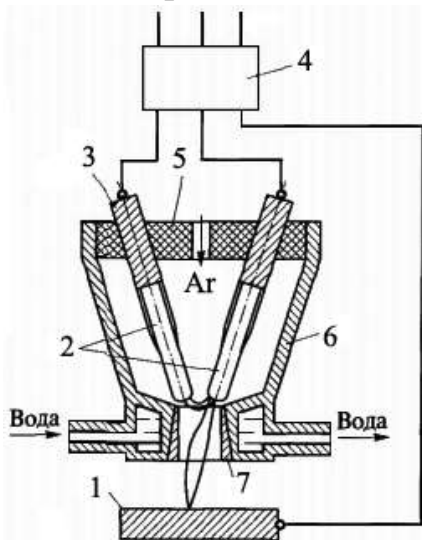


Рис. 11.3. Схема плазмотрона для отримання трифазної стиснутої дуги:

- 1 – деталь; 2 – неплавкі електроди;
- 3 – струмопроводи-електротримачі;
- 4 – джерело трифазного струму;
- 5 – ізолятор; 6 – корпус плазмотрона;
- 7 – тугоплавка вставка-сопло

Коли дуги між електродами і деталлю ще не збуджені, сила струму міжелектродної дуги невелика, але достатня для запалювання основних дуг. При запалюванні робочої дуги електроди – заготовка легко одержати відношення струму  $I_a$  в деталі до струму  $I_a$  в електроді  $K_D = \frac{I_a}{I_a} = 1,73$ . Це

дає можливість застосовувати менший діаметр електродів і дозволяє знизити габаритні розміри і масу плазмотрона.

Інша перевага стиснутої трифазної дуги – підвищення стабільності повторних запалювань у моменти зміни полярності, тому що міжелектродна дуга постійно іонізує дуговий проміжок електроди – заготовка.

Завдяки цьому за стійкістю трифазна дуга близька до дуги постійного струму.

### § 11.3. Електронно-променеве зварювання

Електронний промінь являє собою стиснутий потік електронів, що витрачається на нагрівання певного тіла. Температура в місці зіткнення може досягати 5 000...6 000 °С. Електронний промінь утворюється за рахунок емісії електронів з нагрітого у вакуумі ( $133 \cdot (10^{-4} \dots 10^{-5})$  Па) катода і за допомогою електростатичних і електромагнітних лінз фокусується на поверхні зварюваних заготовок (рис 11.4).

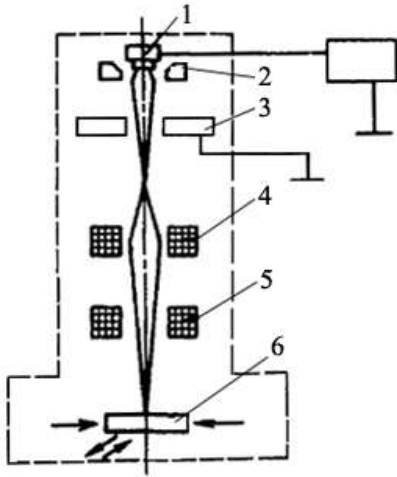


Рис. 11.4. Схема установки для електронно-променевого зварювання

кВт/м<sup>2</sup> і вище). Струм електронного променя невеликий – від декількох міліамперів до декількох амперів.

При переміщенні заготовки під нерухомим променем утвориться зварний шов. Іноді при зварюванні переміщують сам промінь уздовж нерухомих кромek за допомогою відхиляючих систем. Відхиляючі системи використовують також і для коливань електронного променя поперек і уздовж шва, що дозволяє зварювати із застосуванням присадного металу й регулювати тепловий вплив на шов.

У сучасних установках для зварювання, свердління, різання або фрезерування електронний промінь фокусується на площі діаметром менш 0,1 мм, що дозволяє одержати велику питому потужність.

При зварюванні електронним променем теплота виділяється безпосередньо в самому металі, що, частково випаровуючись, відтискує розплави у сторону, протилежну напрямку зварювання. Форма шва здобуває обрис 1 названого “кинджальним” проплавленням (рис. 11.5, а).

Відношення глибини проплавлення до ширини може досягати 10:1 і більше.

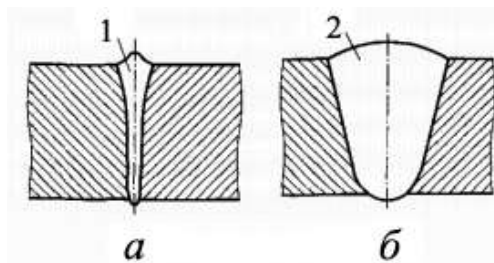


Рис. 11.5. Типова форма поперечного перерізу зварного шва, виконаного електронно-променевим (а)

і аргондуговим (б) зварюванням

При зварюванні менш концентрованими джерелами нагрівання (дуговому, газовому та ін.), коли нагрівання і розплавлення металу відбуваються, головним чином, за рахунок теплопровідних процесів, цей коефіцієнт звичайно дорівнює 1:1 або 1:2, а форма зварного шва в перетині наближається до криволінійної трапеції 2 (рис. 11.5, б).

Висока концентрація теплоти в плямі нагрівання дозволяє випаровувати такі матеріали, як сапфір, рубін, алмаз, скло, утворюючи в них отвори. Незначна ширина шва і нагрітої зони основного

металу сприяє різкому зниженню деформацій зварного з'єднання. Крім того, зварювання у вакуумі забезпечує дзеркально-чисту поверхню шва й дегазацію розплавленого металу.

Електронно-променевим зварюванням виготовляють деталі з тугоплавких хімічно активних металів і їхніх сплавів (вольфрамових, танталових, ніобієвих, цирконієвих, молібденових і т. п.), а також з алюмінієвих і титанових сплавів і високолегованих сталей. Метали й сплави можна зварювати в однорідних і різнорідних сполученнях, зі значною різницею товщин, температур плавлення й інших теплофізичних властивостей. Мінімальна товщина заготовок, що зварюють, становить 0,02 мм, максимальна – до 100 мм.

Електронно-променевим зварюванням можна з'єднувати малогабаритні вироби, що застосовуються в електроніці і приладобудуванні, та великогабаритні вироби довжиною і діаметром кілька метрів.

## § 11.4. Лазерне зварювання

Відповідно до хвильової теорії, стрибкоподібні переходи електрона  $e^-$  в атомі з верхнього енергетичного рівня  $E_2$  на нижній  $E_1$  (рис.11.6) з випромінюванням енергії можуть відбуватися під впливом зовнішнього електромагнітного поля. Таке випромінювання є вимушеним або індукованим.

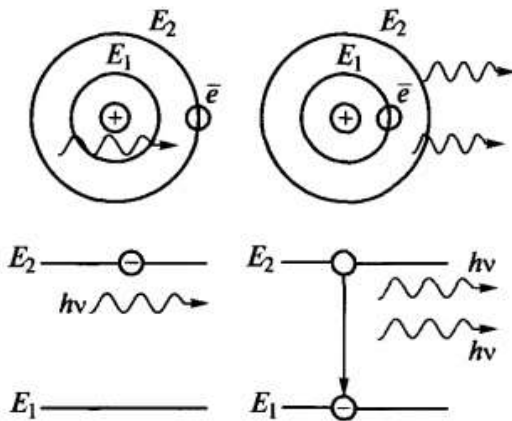


Рис. 11.6. Схема вимушеного (індукованого) коливання

Імовірність індукованого випромінювання різко зростає у разі збігу частоти електромагнітного поля із власною частотою випромінювання збудженого атома. У результаті взаємодії збудженого атома з фотоном випромінюються два однакових за енергією й напрямком руху фотони-близнюки. При цьому атом випромінює електромагнітну хвилю, однакову за напрямком поширення, частотою, фазою й поляризацією з тією, що змусила атом випромінювати.

Особливістю індукованого випромінювання є те, що воно монохроматичне (електромагнітне випромінювання, що характеризується дуже малим розкидом частот, в ідеалі – однією частотою) і когерентне (амплітуда, частота, фаза, напрямок поширення й поляризація електромагнітної хвилі постійні або змінюються, але не хаотично, а упорядковано). Ця властивість когерентного випромінювання покладена в основу будови лазерів.

Пристрої для генерації випромінювання в діапазоні ультракоротких радіохвиль назвали мазерами. Пристрої, що працюють в оптичному

діапазоні, називають л а з е р а м и (оптичними квантовими генераторами або ОКГ).

Таким чином, застосований для розплавлення металу при лазерному зварюванні лазерний промінь являє собою вимушене монохроматичне випромінювання, довжина хвилі якого залежить від природи робочого тіла лазера – випромінювача і може бути в діапазоні 0,1...1000 мкм. При цьому збуджений атом віддає енергію у вигляді фотонів із частотою, властивою матеріалу застосовуваного робочого тіла. Випромінювання світла можна ініціювати впливом зовнішнього фотона, що має енергію, яка відповідає різниці енергій атомів у збудженому і нормальному станах.

Одночасно може відбуватися і зворотний перехід. Тому для одержання помітної генерації вимушеного випромінювання необхідно домагатися такого стану робочих тіл, за якого превалювали б переходи з виникненням нових фотонів. Цього стану штучно досягають впливом різних джерел енергії – світлової, тліючого електричного розряду, хімічних процесів та ін., за допомогою яких роблять так зване “накачування” робочих тіл.

У твердотільних лазерах (робоче тіло – рубін, скло з неодимом та ін.) накачування, як правило, здійснюється спеціальними джерелами випромінювання 3, спрямованими на робоче тіло 1 відбивачем 4 (рис. 11.7).

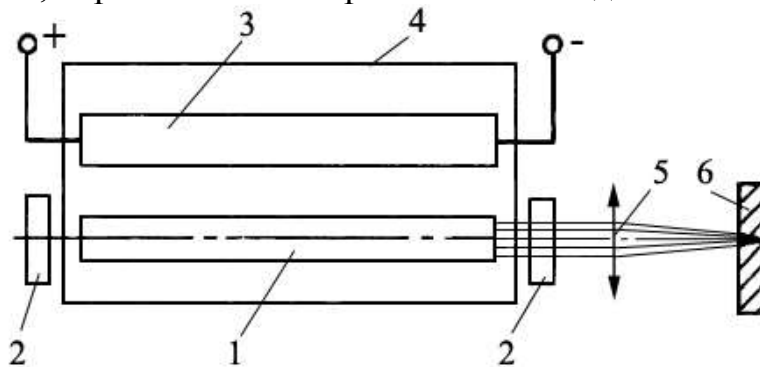


Рис. 11.7. Будова випромінювача твердотільного лазера

Для спрямування випромінювання і посилення генерації активний елемент поміщають між двома точно встановленими дзеркалами-відбивачами – резонаторами 2, один із яких з метою виведення випромінювання з лазера виконують напівпрозорим. Випромінювання, що вийшло з лазера, фокусується спеціальною оптичною системою 5 і у вигляді променя направляється на оброблюваний об’єкт 6.

Найбільш часто використовувані на практиці лазери мають такі довжини хвиль: гелій-неоновий – 0,6328 мкм, рубіновий – 0,6943 мкм, скло з ніодимом – 1,06 мкм, CO<sub>2</sub>-лазери – 10,6 мкм. Чим менше довжина хвилі лазерного випромінювання, тим більше його здатність безперешкодно проходити через речовину.

Завдяки своїм властивостям лазерний промінь може бути сфокусований у пляму розміром від десятків мікрометрів до одного міліметра, що дозволяє одержувати густину потужності до 10<sup>8</sup> Вт/см<sup>2</sup>.

Твердотільні лазери звичайно мають відносно невелику потужність: при роботі в безперервному режимі – 250...500 Вт, в імпульсно-періодичному або імпульсному режимах – до 300 Вт. Однак енергія одиночного імпульсу може досягати 100 Дж і більше, що забезпечує густину потужності у фокусі понад  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup>.

Для одержання безперервного випромінювання великої потужності (5...10 кВт і більше) застосовують газові лазери. Робочою речовиною в них найчастіше є СО<sub>2</sub>, що у суміші з аргонем та гелієм спеціальними насосами проганяється через розрядну камеру із тліючим електричним розрядом. У камері відбувається збудження молекул СО<sub>2</sub>. У резонаторній камері енергія збуджених часток формується у світловий потік великої потужності, що виводиться назовні, фокусується і направляється на оброблювану поверхню матеріалу. Лазерний промінь при зустрічі із перешкодою (оброблюваним матеріалом) частково відбивається від її поверхні, частково нею поглинається, переходячи в теплоту.

Основними параметрами режимів лазерної обробки є потужність випромінювання, діаметр плями фокусування, швидкість переміщення оброблюваного матеріалу відносно променя.

Перевагами лазерного зварювання є: можливість вести процес з великими швидкостями – до 500 м/год, вузький (“нитковий”, “кінджальний”) шов, надзвичайно мала зона розігріву, надзвичайно мала деформація виробу після зварювання.

Для здійснення процесу зварювання потрібна густина потужності лазерного випромінювання в зоні обробки порядку  $10^5...10^7$  Вт/см<sup>2</sup> при тривалості впливу  $10^{-3}...10^{-2}$  с. Зварювання можна проводити в безперервному, імпульсному й квазібезперервному (імпульсно-періодичному з високою частотою проходження імпульсів) режимах та у різних просторових положеннях. Застосовують зварювання із присадкою й без присадки. Розрізняють зварювання деталей малої товщини (глибина проплавлення до 1 мм) і зварювання із глибоким проплавленням.

Зварювання деталей малої товщини здійснюють як у безперервному, так і в імпульсному режимах. При густині потужності в зоні впливу  $10^5...10^6$  Вт/см<sup>2</sup>, потрібної для здійснення цього процесу, відбувається тільки плавлення матеріалу без його істотного випаровування. У безперервному режимі проводять шовне зварювання, а в імпульсному – шовне і точкове, причому шов у цьому випадку утворюється у вигляді сукупності зварних точок.

Процес лазерного зварювання деталей малої товщини здійснюють із застосуванням як твердотільних, так і СО<sub>2</sub>-лазерів, в автоматичному і ручному режимах.

Лазерне зварювання деталей малої товщини широко застосовують в електронній і радіотехнічній промисловості для зварювання проводів, елементів мікросхем, пружин і т. п. деталей, у виробництві й ремонті вакуумних приладів (кінескопів, електронно-променевої трубок і т. д.), герметизації корпусів різних приладів і пристроїв та в багатьох інших процесах.

Зварювання із глибоким проплавленням здійснюють при густині потужності випромінювання порядку  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>. Якщо для зварювання



деталей малої товщини необхідна концентрація енергії в одній точці (гостре фокусування випромінювання), то при зварюванні із глибоким проплавленням потрібна висока густина потужності на значній поздовжній ділянці пучка. Для досягнення необхідної високої густини потужності в зоні обробки застосовують більш потужні лазери з вихідною потужністю декілька кіловат. Зварювання із глибоким проплавленням здійснюють у безперервному і у квазібезперервному режимах, головним чином, потужними безперервними CO<sub>2</sub>-лазерами або імпульсно-періодичними твердотільними лазерами.

Лазерне зварювання із глибоким проплавленням може бути з наскрізним проплавленням (наприклад, зварювання листових ненавантажених конструкцій) і з ненаскрізним проплавленням (наприклад, при з'єднанні тонких деталей з масивними).

Зварювання із глибоким проплавленням виконується тільки в автоматичному режимі. Для контролю за процесом використовують калориметричні і фотоелектричні датчики, зв'язані із системою автоматичного керування параметрами випромінювання, положенням оброблюваної деталі, швидкістю обробки.

Лазерне зварювання із глибоким проплавленням широко використовують у виробництві великогабаритних корпусних деталей двигунів, валів і осей, що працюють в умовах знакозмінних навантажень; для обшивання літаків, автомобілів і судів; при виготовленні деталей механізмів і машин, що складаються з різних матеріалів (наприклад, з легованих сталей і більш дешевих матеріалів); для зварювання труб, арматурних конструкцій і у деяких інших виробництвах. Переваги лазерного зварювання особливо проявляються при зварюванні вуглецевих і легованих сталей, алюмінієвих, магнієвих, титанових і нікелевих сплавів.

Велика густина потужності в гостросфокусованому лазерному промені (значно вище, ніж у зварювальній дузі, і на порядок вище, ніж в електронному промені) дозволяє одержувати особливі ефекти при обробці матеріалів. Наприклад, можна досягти швидкість нагрівання декілька десятків і навіть сотень тисяч градусів за секунду. Метал у цих умовах може інтенсивно випаровуватися. Такі режими використовуються для прошивання отворів або при різанні. Разом з тим розфокусований лазерний промінь може бути і дуже "м'яким", що дозволяє його використовувати як універсальне джерело нагрівання для зварювання, різання, наплавлення, термообробки й ін.

### **§ 11.5. Зварювання тертям**

Зварювання тертям відбувається у твердому стані зварюваних матеріалів під впливом теплоти, що виникає при терті зварюваних поверхонь.

Тертя поверхонь здійснюється обертанням або зворотно-поступальним переміщенням притиснутих одна до одної заготовок (рис. 11.8). У результаті нагрівання й стискування відбувається спільна пластична деформація.

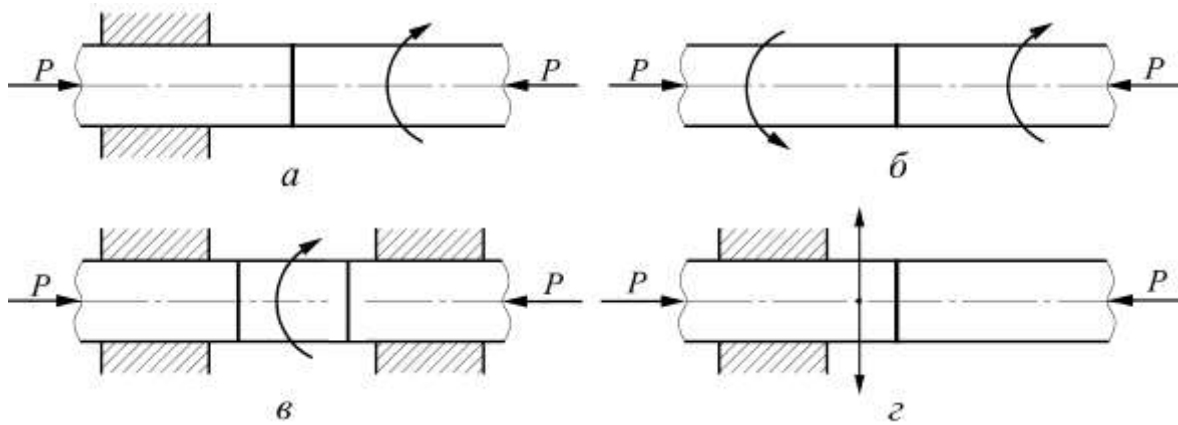


Рис. 11.8. Основні схеми зварювання тертям:

*a* – з обертанням однієї деталі; *б* – з обертанням обох деталей; *в* – з обертовою вставкою; *г* – зі зворотно-поступальним рухом однієї деталі

Зварне з'єднання утворюється внаслідок виникнення металевих зв'язків між чистими контактуючими поверхнями заготовок. Оксидні плівки на з'єднуваних поверхнях руйнуються в результаті тертя і видаляються в радіальних напрямках за рахунок пластичної деформації.

На рис. 11.9 представлені основні фази процесу. Під час першої фази  $t_1$  встановлюється номінальна частота обертання. Ця фаза характеризується малими значеннями коефіцієнта тертя внаслідок переходу від твердого до рідкого тертя. Відбуваються нагрівання і скріплювання окремих точок контактуючих поверхонь.

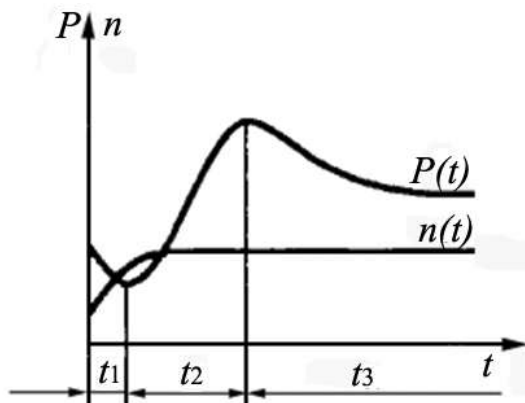


Рис. 11.9. Графіки зміни споживаної потужності  $P$  і частоти обертання  $n$  на різних стадіях процесу зварювання тертям

Під час другої фази  $t_2$  відбувається швидке зростання споживаної потужності і температури в контакт; у тертя вступає вся поверхня стику.

Найбільш тривалою є третя фаза  $t_3$ , під час якої виділяється основна частина теплоти і відбувається вирівнювання температури по стику. Це супроводжується спадом споживаної потужності, що пояснюється зниженням міцності металу в стику у зв'язку з підвищенням температури.

Основні параметри зварювання тертям: швидкість відносного переміщення зварюваних поверхонь, тривалість нагрівання, сила стиску, величина пластичної деформації (осадки). Необхідний для зварювання нагрів обумовлений швидкістю обертання, осьювою силою і часом обертання. Для одержання якісного з'єднання наприкінці процесу необхідні швидке припинення руху і додавання осадкового здавлювання. Параметри режиму зварювання тертям залежать від властивостей зварюваного металу, площі перетину, конфігурації виробу. Зварюванням тертям з'єднують однорідні і різнорідні метали та сплави з різними властивостями, наприклад, мідь зі

сталлю, алюміній з титаном і ін. На рис. 11.10 показані основні типи з'єднань, отриманих за допомогою зварювання тертям.

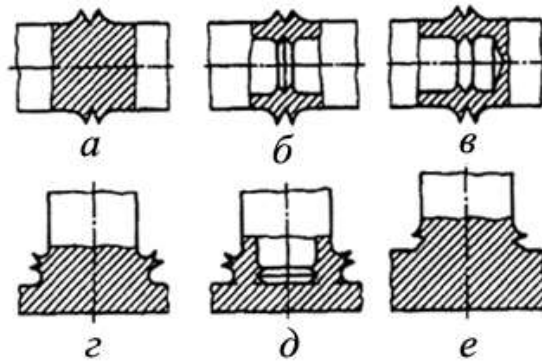


Рис. 11.10. Типи зварних з'єднань, що отримуються зварюванням тертям:  
*a* – стикове зварювання стержнів; *б* – стикове зварювання труб; *в* – стикове зварювання стержня з трубою; *г* – приварювання стержня до листа; *д* – приварювання труби до листа; *е* – приварювання стержня до масивної деталі

Прикладом одного з нових різновидів зварювання тертям є ротаційне зварювання – технологічний процес, запропонований у 1991 р. Британським інститутом зварювання.

Особливість ротаційного зварювання тертям полягає в тім, що процес з'єднання металів відбувається за рахунок теплоти, яка виникає в стику деталей при обертанні (ротації) пуансона (рис. 11.11), притиснутого до поверхні стику деталей, і його одночасного переміщення вздовж стику. Внаслідок високої швидкості обертання пуансона виділяється теплота, і на контактній поверхні з'єднуваних деталей метал нагрівається до температури надпластичного стану. На рисунку стрілками показані напрямки: *a, b* – фіксації деталей у пристрої; *с* – підтискування пуансона до стику деталей; *д* – обертання пуансона; *е* – руху пуансона вздовж зварюваних кромки.

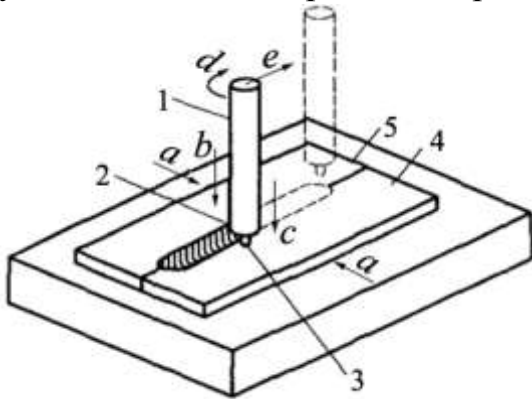


Рис. 11.11. Схема ротаційного зварювання тертям:  
 1 – обертовий пуансон; 2 – опорна частина пуансона; 3 – виступ (шип) пуансона; 4, 5 – зварювані листи

Цьому сприяє виступаюча центральна циліндрична частина пуансона меншого діаметра, називаного шипом. При обертанні пуансона створюється тонкий шар металу у надпластичному стані. Шар металу, замикаючись за шипом у міру просування пуансона, утворює монолітну структуру шва. У такий спосіб відбувається процес зварного з'єднання, коли зварювані кромки деталей за рахунок деформації і надпластичності металу утворюють монолітну структуру, що перевищує за своїми міцнісними і експлуатаційними характеристиками структуру, одержувану при зварюванні плавленням.

Ще однією перевагою ротаційного зварювання тертям є висока продуктивність без якої-небудь додаткової обробки кромки виробу. Однією з основних позитивних якостей зварних вузлів і конструкцій, отриманих

ротаційним зварюванням тертям, є їхня готовність до застосування відразу ж після зварювання. Відпадає необхідність у трудомістких післязварювальних роботах, таких як зачищення від шлаків і бризів, механічна обробка, посилення шва, виправлення й рихтування. Для кожного матеріалу і його товщини розраховане оптимальне співвідношення частоти обертання пуансона й швидкості його переміщення.

У промисловості зварювання тертям застосовують при виготовленні різального інструменту, валів різного призначення, штоків з поршнями, пуансонів і т. п. При зварюванні тертям, порівняно з контактним стиковим зварюванням, знижуються в 5...10 разів витрати енергії.

### § 11.6. Дифузійне зварювання

При дифузійному зварюванні з'єднання утворюється в результаті взаємної дифузії атомів у поверхневих шарах контактуючих заготовок, що знаходяться у твердому стані. Дифузійні процеси відбуваються досить активно при нагріванні до температур рекристалізації ( $0,4T_{r\bar{z}}$ ) і під тиском, необхідним для пластичного деформування мікровиступів та їхнього зминання з метою забезпечення фізичного контакту по всій поверхні.

Дифузійне зварювання частіш за все виконують у вакуумі, однак, воно можливе і в атмосфері інертних та захисних газів. Зварювані заготовки 2 (рис. 11.12) установлюють усередині охолоджуваної металевої камери 1. За допомогою системи вакуумування 4 тиск у камері знижують до залишкового, що дорівнює  $133 \cdot (10^{-3} \dots 10^{-5})$  Па. Всі вводи в камеру ретельно герметизуються. Потім для стиску й зварювання деталей включають гідросистему 6 і високочастотний генератор 5 з індуктором 3.

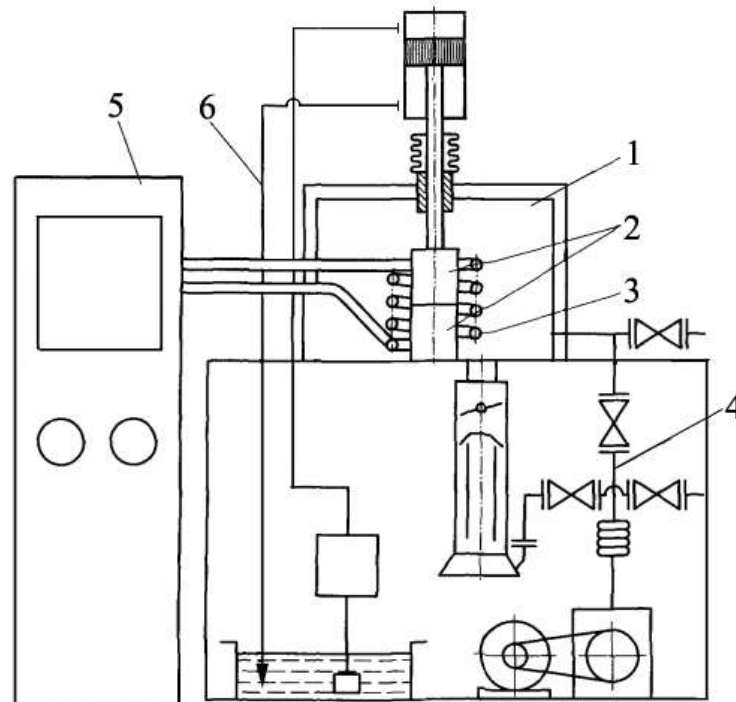


Рис. 11.12. Схема дифузійного зварювання у вакуумі

При постійному відкачуванні вакуумної камери виконують нагрівання зварюваних заготовок. Після досягнення необхідної температури заготовки піддають за допомогою механічного, гідравлічного (на рис. 11.12) або пневматичного пристрою невеликому стискуванню (1...20 МПа) протягом 5...20 хв (ізотермічне витримування). Після зварювання деталі охолоджують у вакуумній камері в стиснутому стані до заданої температури.

Після розгерметизації камери і зняття зусилля стиску деталей процес зварювання закінчений. На рис. 11.13 представлена циклограма всіх операцій дифузійного зварювання.

З метою прискорення процесу в камеру може бути введений електронний промінь, що дозволяє нагрівати заготовки з більш високими швидкостями, ніж при використанні струмів високої частоти. Зазвичай таке нагрівання застосовують при дифузійному зварюванні тугоплавких металів і сплавів. Термомеханічний вплив та розходження в коефіцієнтах термічного розширення у випадку зварювання різномірних матеріалів полегшують руйнування малопластичних поверхневих плівок.

Мікронерівності пластично деформуються; у результаті явища повзучості площа фізичного контакту під час витримування зростає до 90...95 %. Завершення процесу утворення контакту відбувається в результаті дифузійного заростання несучільностей. Для одержання якісного з'єднання нагрівання заготовок по всьому перетину повинно бути рівномірним, а їхні поверхні попередньо очищені від оксидів і забруднень.

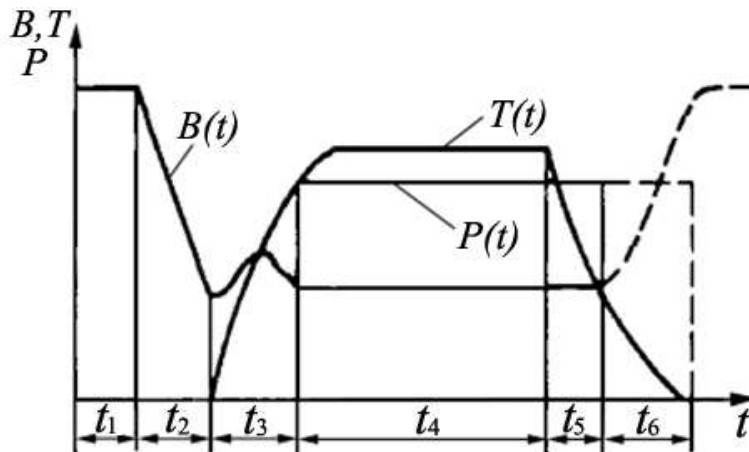


Рис. 11.13. Циклограма дифузійного зварювання:

$B$  – вакуум;  $P$  – стискувоча сила;  $T$  – температура;  $t_1$  – час завантаження і герметизації;  
 $t_2$  – час початкового відкачування;  $t_3$  – час нагріву;  $t_4$  – час зварювання;  $t_5$  – час охолодження;  
 $t_6$  – час розгерметизації і вивантаження

При нагріванні у вакуумі найтонші адсорбовані та масляні плівки випаровуються і не перешкоджають утворенню з'єднання.

Дифузійним зварюванням можна з'єднувати метали й сплави, керамічні матеріали в однорідних і різномірних сполученнях, незалежно від їх термомеханічних властивостей і взаємного змочування, одержуючи при цьому

міцні з'єднання без будь-якої зміни фізико-механічних властивостей. Отримані з'єднання після зварювання, як правило, не потребують наступної механічної обробки.

Дифузійне зварювання застосовують у космічній техніці і радіоелектроніці, у літакобудуванні, приладобудуванні, у харчовій промисловості та інших галузях. Цей спосіб використовують для зварювання деталей і вузлів вакуумних приладів, високотемпературних нагрівачів, у виробництві інструменту і т. д.

Установки для дифузійного зварювання випускають для одиничного виробництва, зі звичайним ручним керуванням і для серійного поточно-масового виробництва, з напівавтоматичним або автоматичним програмним керуванням.

### § 11.7. Ультразвукове зварювання

Ультразвукове зварювання відноситься до процесів, у яких використовують тиск і взаємне тертя зварюваних поверхонь. Сили тертя виникають у результаті дії на заготовки, притиснуті одна до одної із силою  $P$ , механічних коливань ультразвукової частоти. Для одержання механічних коливань високої частоти частіш за все використовують два ефекти.

1. Магнітострикційний ефект, заснований на зміні розмірів деяких матеріалів під дією змінного магнітного поля. Зміни розмірів магнітострикційних матеріалів дуже незначні, тому для збільшення амплітуди  $S$  і концентрації енергії коливань, а також для передавання механічних коливань до місця зварювання найчастіше використовують хвилеводи, форма яких звужується.

2. Зворотний п'єзоелектричний ефект, заснований на виникненні пружних механічних деформацій під дією електричного поля на поляризований п'єзоелектрик. При ультразвуковому зварюванні з використанням магнітострикційного ефекту (рис. 11.14) зварюються заготовки 5, які розміщуються на опорі 6.

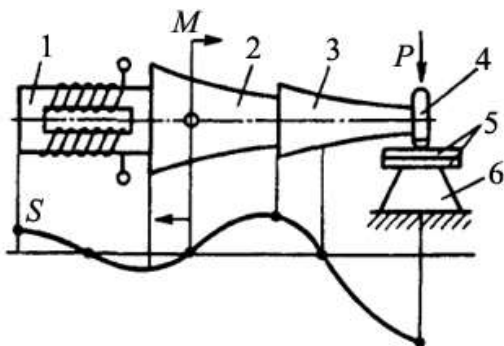


Рис. 11.14. Схема ультразвукового зварювання

Наконечник 4 робочого інструмента 3 з'єднаний з магнітострикційним перетворювачем 1 через трансформатор 2 поздовжніх пружних коливань. Трансформатор поздовжніх пружних коливань разом з робочим інструментом являють собою хвилевід. Нормальна стискаюча сила  $P$  створюється моментом  $M$  у вузлі коливань з амплітудою  $S$ .

У результаті ультразвукових коливань у тонких шарах контактуючих поверхонь утворюються деформації зсуву, що руйнують поверхневі плівки. Тонкі поверхневі шари металу нагріваються, метал у цих шарах помірно розм'якшується і під дією сили  $P$  пластично

деформується. При зближенні поверхонь на відстань дії міжатомних сил між ними виникає міцний зв'язок.

Порівняно невеликий тепловий вплив на зварювані матеріали забезпечує мінімальні зміни їх структури, механічних та інших властивостей. Наприклад, при зварюванні міді температура в зоні контакту не перевищує 600 °С, а при зварюванні алюмінію вона дорівнює 200...300 °С. Це особливо важливо у разі зварювання хімічно активних металів.

Джерела ультразвуку (перетворювачі). Магнітострикційні перетворювачі залежно від конструкції, габаритних розмірів і матеріалу мають різні резонансні і енергетичні властивості. Для їх виготовлення у наш час частіше застосовують нікель, ферити й пермендюр.

Найбільш раціональним матеріалом для виготовлення перетворювача є пермендюр 49К2Ф – сплав заліза (47...50 %) з кобальтом (48...50 %) і невеликим додаванням ванадію (1,5...2 %). Пермендюр відрізняється сильно вираженим магнітострикційним ефектом, тобто дозволяє одержувати значні потужності при відносно невеликих розмірах вібратора. На практиці для виготовлення перетворювача використовують листовий нікель або пермендюр товщиною 0,05...0,15 мм, які штампують в однаковий розмір, піддають термообробці й складають у пакети за спеціальною технологією.

Магнітострикційний перетворювач із навитою на нього обмоткою й припаяним хвилеводом (акустичним трансформатором) поміщають у водоохолоджуваній кожух. Випромінюючий торець захищають пористою гумою і герметизують. Створену в такий спосіб конструкцію називають ультразвуковою головкою (рис. 11.15, а).

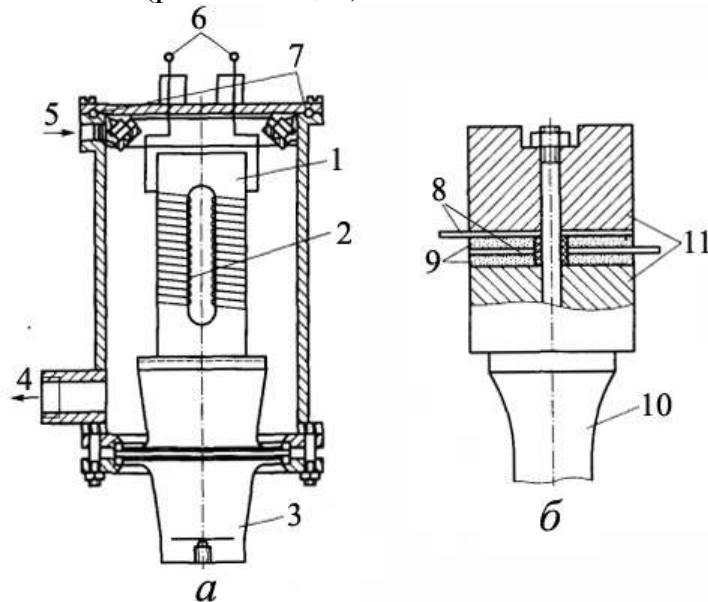


Рис. 11.15. Конструкції генераторів ультразвукових коливань:

- а – головка з магнітострикційним перетворювачем (1 – магнітострикційний перетворювач; 2 – обмотка; 3 – концентратор; 4 – отвір для зливу охолоджуючої рідини; 5 – отвір для заливки охолоджуючої рідини; 6 – виводи обмотки; 7 – розпилювачі охолоджуючої рідини);  
 б – п'єзоелектричний перетворювач (8 – струмопроводи; 9 – п'єзокерамічні пластини; 10 – хвилевід; 11 – накладки-пластини)

П'єзоелектричні перетворювачі виготовляють із кристалів кварцу, турмаліну, кераміки титанату барію  $\text{BaTiO}_3$ , а також цирконат-титанату свинцю (ЦТС)  $\text{Pb}(\text{ZiTi})\text{O}_3$  і його похідних. П'єзоактивні елементи перетворювачів виготовляють у вигляді круглих або прямокутних пластин. Для цього зі здрібненої суміші сировинних матеріалів пресують заготовки потрібного розміру і форми, які відпалюють при температурі 1230...1330 °С.

Після відпалу отримані заготовки шліфують і піддають поляризації в постійному електричному полі.

Перетворювач складається із двох пасивних металевих (сталь або алюміній) частотно-понижувальних накладок-пластин 11 (рис. 11.15, б), між якими затиснуті кварцові або п'єзокерамічні пластини 9 товщиною 5...10 мм. До металізованих накладок пластин подають напругу змінного струму. Товщину накладок вибирають таким чином, щоб вся система працювала як напівхвильовий випромінювач. Металеві пластини діють як маси, що значно знижують частоту випромінювача, отже, немає необхідності застосовувати товсті п'єзопластини і охолодження.

Ультразвуковим зварюванням можна одержувати точкові й шовні з'єднання внапусток, а також з'єднання по замкнутому контуру. При зварюванні по контуру, наприклад по кільцю, у хвилевід вставляють змінний робочий інструмент, що має наконечник у формі труби. Зварювати можна заготовки товщиною 0,001...1 мм, а також приварювати тонку фольгу до масивних деталей. Ультразвук активно руйнує поверхневу плівку, що дозволяє одержувати якісні з'єднання окислених або покритих лаком поверхонь без їхнього попереднього очищення.

Спосіб дозволяє одержувати з'єднання різнорідних матеріалів, наприклад, алюмінію з міддю, міді зі сталлю й т. п. Ультразвукове зварювання застосовують у приладобудуванні, радіоелектроніці, авіаційній промисловості. Особливо широке застосування воно знаходить у зварюванні пластмас.

## § 11.8. Холодне зварювання

Холодне зварювання – це різновид високоінтенсивного зварювання тиском без нагрівання, при якому контактування і активування зварюваних поверхонь відбувається за рахунок вимушеної пластичної деформації з попереднім ретельним очищенням поверхонь від органічних покриттів.

Технологія холодного зварювання була розроблена і вперше застосована в 1947–1948 рр. у США.

З позицій сучасного трактування тристадійного механізму утворення зварного з'єднання (контактування, схоплювання, релаксація) холодне зварювання – це результат електронної взаємодії збуджених атомів з'єднуваних поверхонь. Особливість механізму утворення з'єднання при холодному зварюванні на кожній із трьох стадій полягає в такому.

Перша стадія – фізичне контактування, тобто зближення поверхонь на відстань, порівнянну з параметром електронної взаємодії атомів з'єднуваних матеріалів. Процес на цій стадії здійснюється шляхом пластичного



деформування при механічному стиску деталей у холодному стані до повного зминання макронерівностей, хвилястостей, мікрошорсткостей, субмікрошорсткостей.

Таким чином, головна особливість холодного зварювання – необхідність перед механічним контактуванням деталей ретельного видалення з їх поверхонь органічних плівок, будь-яких забруднень і зберігання створеної чистоти до завершення процесу зварювання.

Друга стадія – активування поверхневих атомів при холодному зварюванні – відбувається в процесі пластичного контактування шорсткуватих поверхонь автоматично. Це пояснюється тим, що головні напруження і головні пластичні деформації збігаються і спрямовані перпендикулярно до площини контакту, куди і відбувається стікання вільних дислокацій. Такі дислокації несуть із собою масу активованих (збуджених) атомів. Взаємодія зустрічних збуджених атомів спричинює скріплювання поверхонь, тобто зварювання деталей, що з'єднуються.

Третя стадія – релаксація (зняття напружень) в об'ємі зварного з'єднання. У випадку пластичного контактування релаксація відбувається миттєво після припинення дії зовнішніх стискаючих сил. Це пояснюється тим, що сили міжатомної взаємодії на три порядки вище стискаючих сил, розриву міжатомних зв'язків і руйнування зварного з'єднання в момент релаксації не відбувається.

Холодним зварюванням виконують точкові, шовні і стикові з'єднання. На рис. 11.16, а представлена схема точкового холодного зварювання.

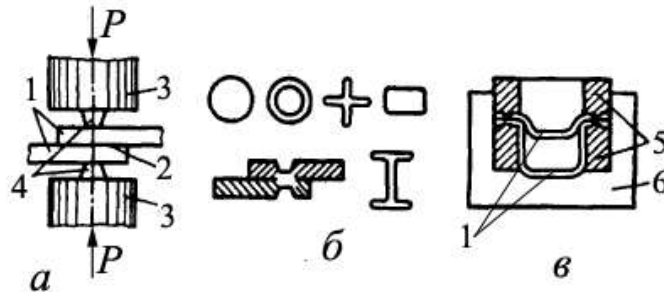


Рис. 11.16. Схеми холодного точкового зварювання і види зварних точок

Попередньо зачищені і знежирені поверхні 2 зварюваних заготовок 1 здавлюють пуансонами 3, що мають робочі виступи 4, висота яких становить 0,7...0,8 товщини зварюваного матеріалу. Сила стиску повинна забезпечити повне проникнення виступів у зварювані заготовки. Контур зварних точок може бути різним, він залежить від форми виступаючої частини пуансона (рис. 11.16, б).

Для холодного шовного зварювання застосовують спеціальні ролики. Безперервне з'єднання може бути також отримане шляхом одночасного здавлювання по всій довжині з'єднання або шляхом прокатування ролика. Шви, що утворюють замкнутий контур невеликої довжини у вигляді кільця, прямокутника і т. п., одержують контурним зварюванням.

На рис. 11.16, в наведена схема зварювання порожніх деталей по контуру. Пуансони 5 при зварюванні заготовок 1 строго центруються за допомогою корпуса 6.

Холодним зварюванням з'єднують метали і сплави товщиною 0,2...15 мм. Значення необхідного тиску на метал залежить від з'єднання й товщини зварюваного матеріалу і в середньому становить 150...1000 МПа. Холодним зварюванням з'єднують однорідні або неоднорідні метали і сплави з високою пластичністю за нормальної температури. У недостатньо пластичних металах при більших деформаціях під час зварювання можуть утворюватися тріщини. Високоміцні метали і сплави холодним зварюванням не з'єднують, тому що для цього потрібен дуже великий тиск, який практично важко здійснити. Добре зварюються сплави алюмінію, кадмію, свинцю, міді, нікелю, золота, срібла, цинку.

До переваг цього способу відносяться: мала витрата енергії, незначна зміна властивостей металу в зоні зварного з'єднання, висока продуктивність, можливість автоматизації. До недоліків способу варто віднести відносно обмежену кількість сплавів, що мають необхідну пластичність ( $\delta > 30\%$ ), а також зниження несучої здатності зварних з'єднань через глибокі вм'ятини на поверхні, що залишають пуансони.

Для з'єднання холодним точковим зварюванням можуть бути використані будь-які преси (гвинтові, гідравлічні, важільні, ексцентрикові), крім того, застосовуються спеціалізовані установки для стикового холодного зварювання.

## § 11.9. Зварювання вибухом

Зварювання вибухом – це спосіб зварювання тиском, при якому для зближення, активації й скріплення поверхонь використовують енергію детонації (миттєвої хімічної реакції) вибухової речовини (ВР), що створює потужне прискорення й стиск зварюваних деталей. Одночасно відбувається очищення зварюваних поверхонь шляхом “здування” поверхневого тонкого шару металу інтенсивним спрямованим плоским (кумулятивним) струменем, який виникає по лінії вибухового зіткнення деталей, що зварюються.

Більшість технологічних схем зварювання вибухом засновано на використанні саме спрямованого (кумулятивного) вибуху (рис. 11.17). З'єднувані поверхні двох заготовок 4 і 3, зокрема пластин, одна із яких нерухома (пластина 4) і слугує підставою, розташовують під кутом  $\alpha$  одна до одної на відстані  $h_0$ . На заготовку 3 укладають вибухову речовину 2 товщиною  $H$ , а з боку, що перебуває над вершиною кута, установлюють детонатор 1. Зварюють на твердій опорі. Тиск, що виникає

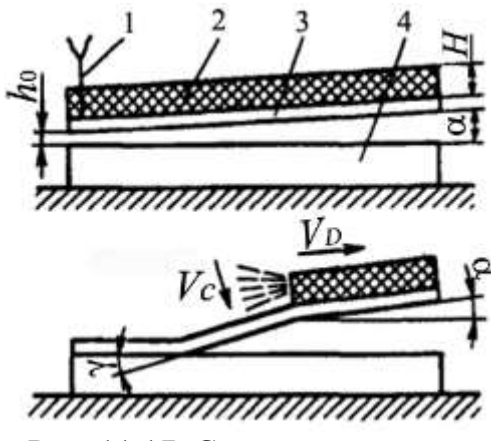


Рис. 11.17. Схема зварювання вибухом

під час вибуху, передає імпульс розташованій під зарядом пластині. У місці контакту цієї пластини з підставою утворюється кут  $\gamma$ , що переміщується уздовж з'єднаних пластин.

При зіткненні пластин, що рухаються з великою швидкістю, між ними утворюється кумулятивний струмінь  $K_e$  (див. рис. 11.18), що руйнує і видаляє оксидні поверхневі плівки і інші забруднення, підготовляючи тим самим поверхні для зварювання. Після ініціювання заряду ВР по ньому поширюється з високою швидкістю  $V_D$  (кілька тисяч метрів за секунду) детонація. Під дією високого тиску продуктів детонації, що розширюються, пластина, згинаючись на кут  $\beta$ , розганяється до швидкості  $V_c$  (кілька сотень метрів за секунду) і співударяється з нерухомою пластиною під деяким кутом  $\gamma = \alpha + \beta$ , вершина якого (лінія або точка контакту) переміщується уздовж нерухомої пластини зі швидкістю контакту  $V_e$  у напрямку поширення детонації.

Поверхні зближаються до відстані дії міжатомних сил взаємодії, і відбувається скріплювання по всій площі з'єднання. Внаслідок високої швидкості співударяння і тиску в околі лінії контакту реалізуються умови, які забезпечують інтенсивне спільне пластичне деформування зварюваних металів, що спричинює створення фізичного контакту, активації поверхонь і формуванню з'єднання.

Тривалість зварювання вибухом не перевищує декількох мікросекунд. Цього часу недостатньо для дифузійних процесів, тому у зварюваних деталях не утворюються проміжні з'єднання між різнорідними металами і сплавами.

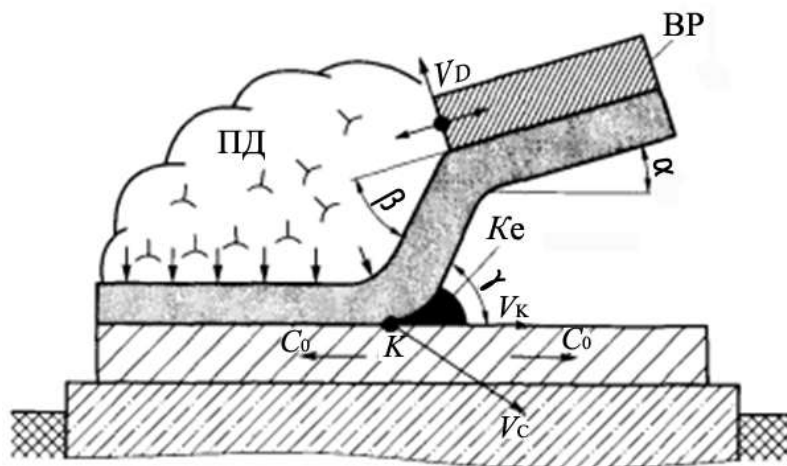


Рис. 11.18. Схема співудару пластин при зварюванні вибухом:

$\alpha$  – установочний кут;  $\beta$  – кут прогину пластини;  $\gamma$  – кут співударяння;  $V_D$  – швидкість детонації вибухової речовини;  $V_e$  – швидкість переміщення динамічного кута  $\gamma$ ;  $V_c$  – швидкість переміщення співударяння; ПД – продукти детонації; ВР – заряд вибухової речовини;  $K$  – точка контакту;  $K_e$  – кумулятивний струмінь;  $C_0$  – швидкість поширення звуку у металі

Зварювання вибухом можна віднести як до способів зварювання з оплавленням при короткочасному нагріванні, так і до холодного зварювання.

У дослідженні місця з'єднання можна виявити ділянки оплавленого металу та ділянки зі структурою, характерною для холодного зварювання.

Як видно з рис. 11.18, параметрами режиму зварювання вибухом є швидкість детонації  $V_D$ , нормальна швидкість  $V_c$  пластини при зіткненні з підставою і кут  $\gamma$  їхньої зустрічі при зіткненні.

Швидкість детонації, обумовлена типом вибухової речовини й товщиною її шару, повинна забезпечувати утворення спрямованого (кумулятивного) струменя  $K_e$  без виникнення небезпечних для металу ударних хвиль. Чим більше  $V_c/V_D$ , тим більше  $\gamma$ .

Представлену на рис. 11.17 і 11.18 схему зварювання називають к у т о в о ю через наявність початкового кута  $\alpha$  між зварюваними пластинами. Недоліком кутової схеми є те, що у міру віддалення від точки ініціювання заряду ВР зростає величина зазору  $h$ , що суттєво впливає на умови створення з'єднання і призводить до його неоднорідності по довжині. З цієї причини кутова схема не знайшла свого застосування, і наразі використовується п а р а л е л ь н а схема зварювання вибухом.

Для паралельної схеми, коли  $\alpha = 0$ , зварювання здійснюється при постійних значеннях  $h$ ,  $\gamma$ ,  $v_c$  і  $V_K$ . Це дозволяє використовувати таку схему у рішенні великої кількості практичних задач. Наприклад, паралельна схема дозволяє з'єднати між собою три і більше пластин за рахунок енергії детонації одного заряду (рис. 11.19).

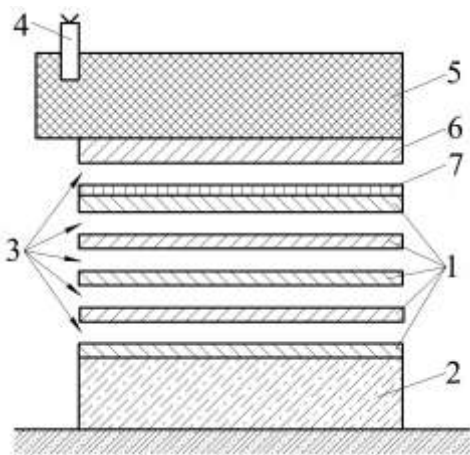


Рис. 11.19. Зварювання вибухом багатошарової панелі з використанням паралельної схеми:

- 1 – пластини; 2 – підстава; 3 – зазори між пластинами; 4 – детонатор;
- 5 – заряд ВР; 6 – фальшпластина;
- 7 – демпфуючий шар

індуктором у момент розряду імпульсної високовольтної конденсаторної батареї (рис. 11.20).

Спосіб магнітно-імпульсного зварювання уперше запатентований у США у 1964 р. Ф. Брауером. За цим способом зону зварювання герметизують і

Зварювання вибухом використовують при виготовленні заготовок прокату з біметалу, для плакування поверхонь конструкційних сталей металами і сплавами з особливими фізичними і хімічними властивостями, при зварюванні заготовок із різнорідних матеріалів. Доцільним є сполучення зварювання вибухом зі штампуванням і куванням.

## § 11.10. Магнітно-імпульсне зварювання

Магнітно-імпульсне зварювання металів – це різновид зварювання, при якому для контактування і зварювання деталей використовують взаємодію зовнішніх потужних імпульсних магнітних полів індуктора з магнітним полем зварюваної деталі. Магнітне поле в деталі наводиться

індуктором у момент розряду імпульсної високовольтної конденсаторної

створюють у ній нейтральну атмосферу. Попередньо деталі нагрівають за допомогою індуктора від генератора струмів високої частоти, потім на індуктор подається імпульс струму від магнітно-імпульсної конденсаторної установки. Взаємодія магнітних полів індуктора і рухомої заготовки створює між ними зусилля відштовхування. Рухома заготовка з великою швидкістю зіштовхується з нерухою і відбувається їхнє зварювання.

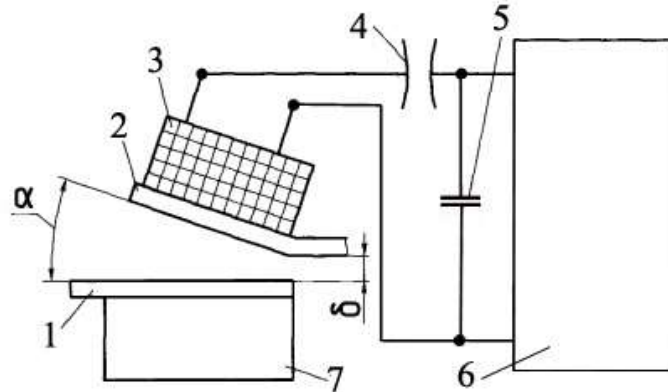


Рис. 11.20. Схема магнітно-імпульсного зварювання:

- 1 – нерухома заготовка; 2 – рухома заготовка; 3 – індуктор; 4 – комутуючий пристрій;  
5 – батарея конденсаторів; 6 – зарядний пристрій; 7 – опора;  
 $\alpha$  – установочний кут;  $\delta$  – установочний зазор

В основу магнітно-імпульсного зварювання покладено використання сил електромеханічної взаємодії між індуктованим магнітним полем деталі та імпульсним магнітним полем індуктора. При цьому електрична енергія через імпульс магнітного поля без участі будь-якого передавального середовища перетворюється на механічну силу тиску.

У випадку магнітно-імпульсного зварювання (як і при зварюванні вибухом), незалежно від початкового розташування поверхонь зварюваних заготовок, їхнє зіткнення під час зварювання відбувається під кутом. Це створює за достатньої швидкості удару локальну зону контакту по лінії (ситуація накату), в якій тиск у десятки разів перевищує межу пластичності матеріалу, у результаті чого він набуває властивостей нестисливої рідини. При цьому відбувається викид оксидних плівок і інших забруднень із зварюваних поверхонь під впливом кумулятивного струменя. Це створює умови для активації поверхонь і їх спільної пластичної деформації з утворенням металевих зв'язків.

Найкраще з'єднуються у разі використання розглянутого способу зварювання пластичні метали і сплави з високою електропровідністю: алюміній, мідь в однорідному і різнорідному сполученнях, цирконієві і титанові сплави, алюміній зі сталлю та ін.

Процес зварювання триває без безпосереднього контакту з робочим інструментом, може бути легко автоматизованим, не потребує високої кваліфікації зварювальника-оператора, дозволяє одержати високоякісне герметичне з'єднання у виробках із замкненими внутрішніми порожнинами.

## § 11.11. Гібридні способи зварювання

До сьогодні застосування дугового розряду як одного з найпоширених і дешевих джерел тепла для зварювання має істотні труднощі, пов'язані з недостатньою концентрацією енергії в електродуговій плазмі й нестійкістю горіння дуги за високих швидкостей зварювання. Саме тому сьогодні все більше розвиваються гібридні способи зварювання, такі як лазерно-дугове, лазерно-світлопроменеве, двопробене лазерне, лазерно-індукційне, лазерно-плазмове (рис. 11.21).



Рис. 11. 21. Основні гібридні способи зварювання

**Лазерно-дугове зварювання.** Найбільш розробленою й перспективною із цих новітніх технологій є гібридне лазерно-дугове зварювання. Воно об'єднує технології лазерного й дугового зварювання в середовищі захисних газів. Гібридне зварювання використовує переваги лазерного зварювання, а саме: можливість зварювання металів великої товщини з мінімальним внесенням тепла у зварювану конструкцію, високу точність і швидкість зварювання.

До того ж гібридному зварюванню не властиві недоліки лазерного зварювання, такі як необхідність забезпечення мінімального зазора між зварюваними поверхнями та необхідність використання лазерів великої потужності.

Такий вид гібридного зварювання може бути реалізований за двома схемами. У першій схемі промінь лазера й дуга діють із різних сторін (рис. 11.22, а), у другій схемі вплив дуги й променя здійснюється з однієї сторони відносно напрямку зварювання й нормалі до поверхні металу (рис. 11.22, б).

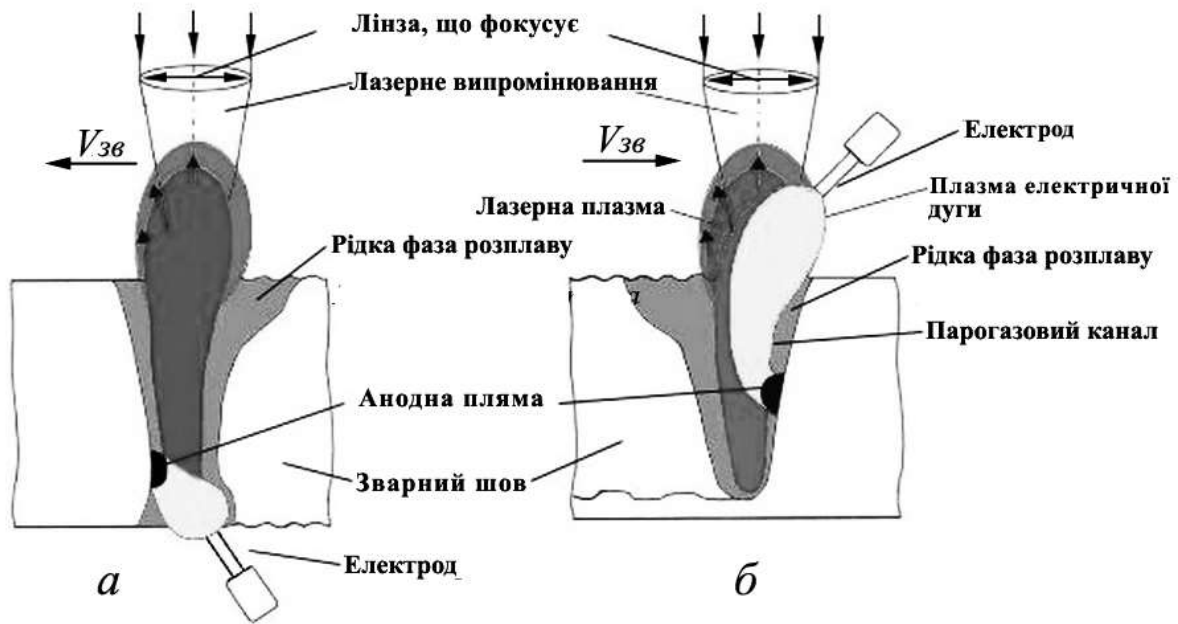


Рис. 11. 22. Геометричні схеми реалізації процесу лазерно-дугового зварювання

Наразі через складність виготовлення устаткування, що відповідає схемі на рис. 11.22, *а*, при зварюванні виробів використовується схема, наведена на рис. 11.22, *б*. Процес лазерно-дугового зварювання може здійснюватися як неплавким, так і плавким електродом. При використанні неплавкого електрода дуга запалюється спереду по ходу зварювання. Дуга підігріває метал і розплавляє його верхній шар, а лазерний промінь здійснює глибоке проплавлення.

При використанні плавкого електрода, електричну дугу запалюють позаду сфокусованого випромінювання, що проплавляє тільки дотичні частини металу, наприклад, V-подібні його крайки, а заплавлення скосу крайок здійснює електрична дуга з плавким електродом.

Основою системи гібридного зварювання є спеціальний зварювальний пальник, що складається з лазерної оптики та пальника для зварювання в середовищі захисних газів (див. рис. 11.23).

Залежно від співвідношень потужностей лазерного променя й дуги, геометрія області проплавлення змінюється від типово лазерного до типово дугового зварювання (рис. 11.24). Цифрами позначено силу струму: 1 – 20 А; 2 – 75 А; 3 – 105 А. При цьому  $V_{зв} = \text{const}$ .



Рис. 11.23. Спеціалізована зварювальна головка для гібридного лазерно-дугового зварювання

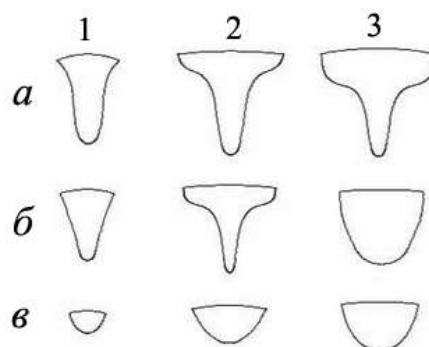


Рис. 11.24. Форми зварного шва за різної потужності лазера дуги:  
*a* –  $P = 900$  Вт; *б* –  $P = 500$  Вт;  
*в* –  $P = 200$  Вт

Крім того, формування геометрії шва й глибина проплавлення залежать від швидкості зварювання (рис. 11.25). Зі збільшенням швидкості зварювання зменшуються ширина й глибина шва.

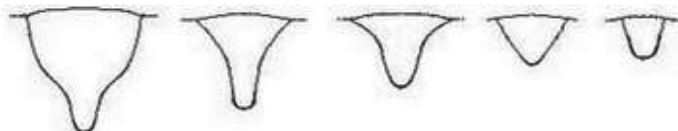


Рис. 11.25. Зміна форми шва й глибини проплавлення зі збільшенням швидкості зварювання від 21,3 до 100 мм/с

Дугове й лазерне зварювання взаємно доповнюють одне одного за рахунок своїх переваг і взаємно нівелюють недоліки кожного методу зварювання, що забезпечує такі переваги лазерно-дугового методу:

- вплив дуги на метал збільшує коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання, сприяючи підвищенню ККД зварювання;
- дуга дозволяє знизити вимоги до точності геометрії складання деталей, що зварюються;
- вплив лазерного випромінювання на метал у режимі глибокого проплавлення супроводжується інтенсивним випаровуванням і плазмоутворенням, що забезпечує стабілізацію дуги;
- гібридний процес зварювання дозволяє знизити потужність лазерного променя, отже, і споживання енергії від лазерного джерела.

**Лазерно-світлопроменеве зварювання.** Гібридне лазерно-світлопроменеве зварювання – це спосіб зварювання, за якого формування зварювальної ванни відбувається при одночасній дії лазерного випромінювання й світлового променя.

Можливість фокусування світлового потоку в невеликих об'ємах простору й одержання лазерного та світлового потоків, достатніх для нагрівання й плавлення різних конструкційних матеріалів, відкрили принципову можливість застосування світлової енергії для зварювання, паяння, термообробки.



Поліхроматичне світло від промислових світлових ламп внаслідок хроматичної, сферичної аберації й кінцевих розмірів світлових ламп можливо сфокусувати в мінімальну локальну область з характерним розміром  $\approx 1$  мм. У результаті найбільша густина потужності, яка досягається в цей момент у плямі нагріву, становить  $10^3$  Вт/см<sup>2</sup>, що еквівалентне нагріванню від полум'я газового пальника.

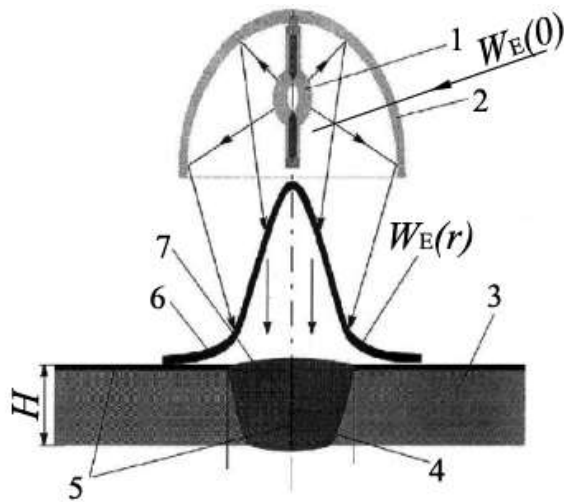


Рис. 11.26. Схема процесу світлопроменевого зварювання:

1 – джерело випромінювання; 2 – фокусувальний відбивач; 3 – зварювані деталі; 4 – зварювальна ванна; 5 – оксидна плівка; 6 – розподіл потоку по плямі; 7 – конвективні потоки

Схема процесу світлопроменевого зварювання показана на рис. 11.26. На схемі позначені:  $H$  – товщина листа;  $W_E(0)$  – густина потужності у центрі лазерного променя;  $W_E(r)$  – сумарна густина потужності на відстані  $r$  від осі лазерного променя. Сутність світлопроменевої обробки конструкційних матеріалів полягає в перетворенні енергії світла в теплову енергію.

Світлопроменево зварювання має такі технологічні особливості:

- зниження газонасичення металу шва за рахунок значної іонізації газів у зоні обробки;
- відсутність електричних і магнітних полів у зоні обробки;
- низька собівартість погонного метра шва, порівняно з лазерним зварюванням;
- високий енергетичний ККД світлопроменевої установки (до 45 %);
- висока екологічна чистота та безпека технологічного процесу, порівняно з традиційними зварювальними процесами;
- простота використання й обслуговування.

Зазначені особливості визначили області застосування методу:

- стикове зварювання тонколистових (0,3...4,0 мм) деталей з однорідних і різнорідних металів (вуглецевих й нержавіючих сталей, титанових, алюмінієвих та мідних сплавів);
- зварювання неметалічних матеріалів (скло, пластмаса, кераміка).

Швидкість світлопроменевого зварювання змінюється у діапазоні 10...60 м/год. Можливість одержувати в зоні світлопроменевої обробки густини потужності порядку  $10^3$  Вт/см<sup>2</sup> і температури до 3000 °С може бути використана у гібридному лазерно-дуговому зварюванні для попереднього або супутнього підігріву, змінення фізико-механічних та оптичних властивостей поверхні матеріалу, що підвищує ефективність зварювання.

Гібридна технологія світлопроменевого зварювання забезпечує підвищення швидкості зварювання тонколистових з'єднань товщиною до

1,0 мм, що виключає пропали тонколистових деталей і знижує витрати на підготовку крайок.

Наразі випускаються переносні світлопроменеві зварювальні установки, призначені для ручного світлопроменевого зварювання металів і неметалічних матеріалів, їхніх комбінацій, паяння й різання металів. У пальнику використовується ксенонова дугова лампа потужністю 1,0...2,0 кВт із комбінованою системою водяного й повітряного охолодження. Пальники установок мають набір змінних насадок для виконання робіт у захисних газах і термічного різання різних матеріалів. За допомогою таких установок зварюють метали товщиною від 0,1 до 1,0 мм.

Переваги даного метода зварювання полягають у такому:

- відсутність механічного впливу на оброблювану деталь, можливість плавного програмного регулювання й підтримання температури в зоні обробки;
- зростання швидкості зварювання у 4...6 разів, порівняно з традиційними технологіями зварювання;
- значне збільшення глибини проплавлення від 0,3 мм (лазерне зварювання сталі) до 0,8 мм (сумісне зварювання лазером і світловим джерелом);
- зниження собівартості виготовленої продукції, економія споживаної електроенергії;
- підвищення якості зварних з'єднань, розширення технологічних можливостей лазера;
- істотне скорочення часу на підготовчі операції до зварювання тонколистових з'єднань.

**Двопроменеве лазерне зварювання.** Одним з напрямків розвитку гібридних лазерних технологій обробки матеріалів є двопроменеве лазерне зварювання, тобто спосіб зварювання, при якому формування зварювальної ванни відбувається за допомогою одночасного впливу двох променів лазера.

Існує кілька способів зварювання матеріалів двома променями: суперпозиційний (рис. 11.27, а), послідовний (рис. 11.27, б) і паралельний (рис. 11.27, в), які різняться геометричним розташуванням променів лазера відносно один одного й функціональними завданнями.

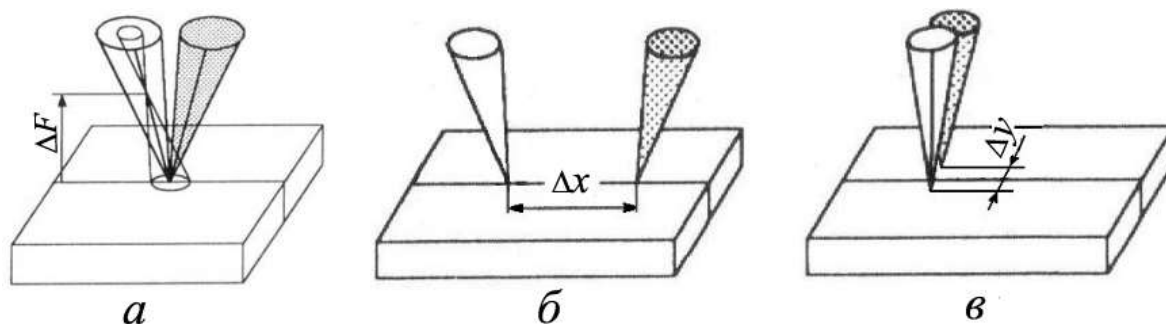


Рис. 11.27. Різні схеми двопроменевого лазерного зварювання

Вибір способу обробки двома променями лазера визначається конкретним видом лазерної технології: зварювання, наплавлення,

термообробка, й технологічними задачами, що ставляться до зварювання. Формування двох променів лазера може бути реалізовано різними способами (рис. 11.28).

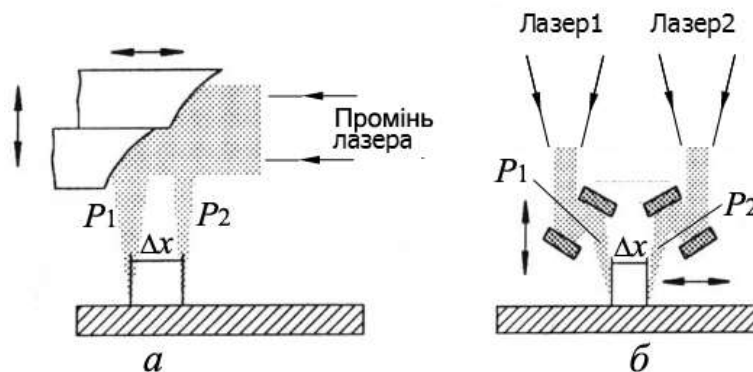


Рис. 11.28. Функціональні схеми формування двох променів лазера:  
*a* – використовується один лазер; *б* – використовуються два лазери

Сьогодні розроблені технологічні лазери, на виході з резонатора яких створюються одночасно два промені лазера. Лазерне зварювання двома паралельними променями (рис. 11.29) використовують для зменшення пароутворення, усунення пропалів, з'єднання деталей різної товщини. У останньому випадку потужність одного променя може бути значно нижче потужності іншого, що знижує ймовірність утворення пропалів при зварюванні матеріалів різної товщини.

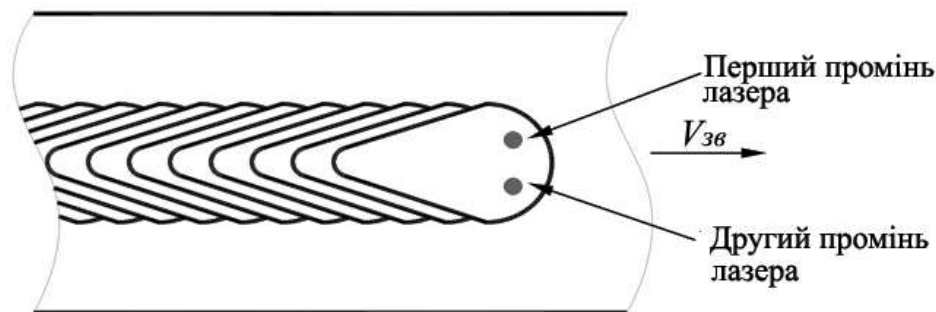


Рис. 11.29. Лазерне зварювання двома паралельними променями лазера

У випадку зварювання двома послідовними променями лазера зварні шви, що формуються при високих швидкостях зварювання, не завжди відповідають всім вимогам до якості зварного з'єднання внаслідок нестабільності процесу. При великих швидкостях зварювання, коли виникає гідродинамічна нестабільність рідкої фази поверхні ванни розплаву, що призводить до утворення “горба” або появи несучільностей, використовують послідовний вплив променів різної потужності (див. рис 11.30).

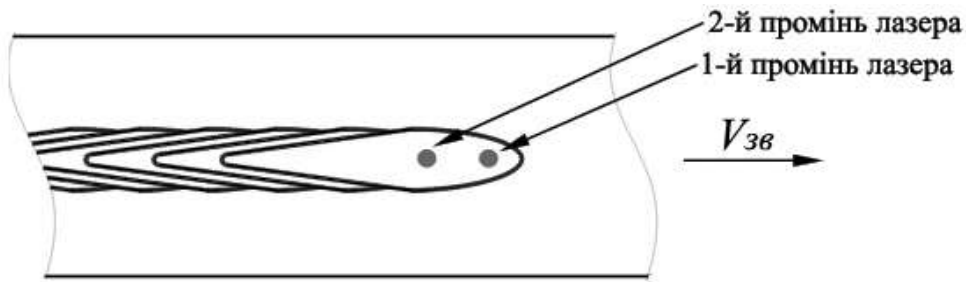


Рис. 11.30. Зварювання двома послідовними лазерними променями

Уперше лазерне зварювання двома послідовними променями було застосовано фірмою EADC, Німеччина. Метою впровадження лазерного зварювання було зниження виробничих витрат при застосуванні існуючої технології, а саме великого обсягу механічної обробки – фрезерування. Крім того, застосоване однопроменеве лазерне зварювання деталей з алюмінієвого сплаву призводило до дефектів зварного шва, таких як лускатість поверхні й утворення одиничних відкритих пор на поверхні. Запропонована схема гібридного лазерного зварювання двома послідовними променями (рис. 11.31) дозволила усунути вищевказані недоліки і досягти швидкості зварювання 266 мм/с.

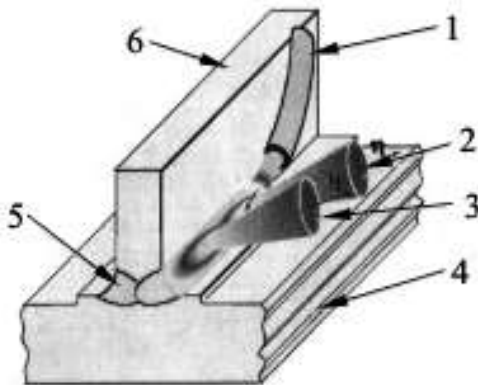


Рис. 11.31. Схематичне зображення зварювання двома послідовними лазерними променями з присадкою:  
1 – присадний метал; 2 – лазер 1...3 кВт – 1-й промінь; 3 – лазер 2...3 кВт – 2-й промінь; 4 – основний матеріал (AlCuLi); 5 – Т-подібний зварний шов

Гібридне лазерно-індукційне зварювання – це спосіб зварювання, за якого формування зварювальної ванни відбувається при одночасній дії лазерного випромінювання й струмів високої частоти.

Жорсткий термічний цикл, що супроводжує лазерне зварювання, має певні переваги (малі зони термічного впливу, зменшення впливу міжкристалічної корозії, зниження рівня поздовжніх і поперечних деформацій), але може призводити до зниження технологічної міцності зварного з'єднання.

На динаміку процесу плавлення при лазерному зварюванні двома послідовними променями впливає відстань  $\Delta x$  між центрами діаметрів променів. Оптимізація  $\Delta x$  дозволяє підвищити максимальну швидкість зварювання приблизно на 50 %, за якої можуть бути отримані бездефектні зварні з'єднання. При лазерному зварюванні суперпозиційними променями два різних промені направляються в одну точку, при цьому параметри цих променів за потужністю та оптичними характеристиками можуть бути різними.

**Гібридне лазерно-індукційне зварювання.** Гібридне лазерно-

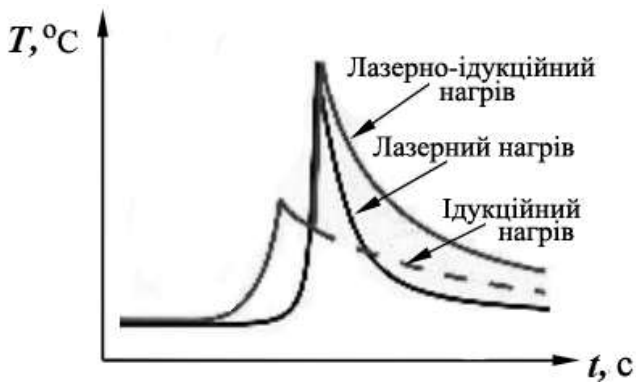


Рис. 11.32. Вплив попереднього індукційного підігріву на термічний цикл при лазерному зварюванні сталей ( $C > 0,2\%$ ).

Функціональна схема технічної реалізації способу лазерно-індукційного зварювання показана на рис. 11.33.

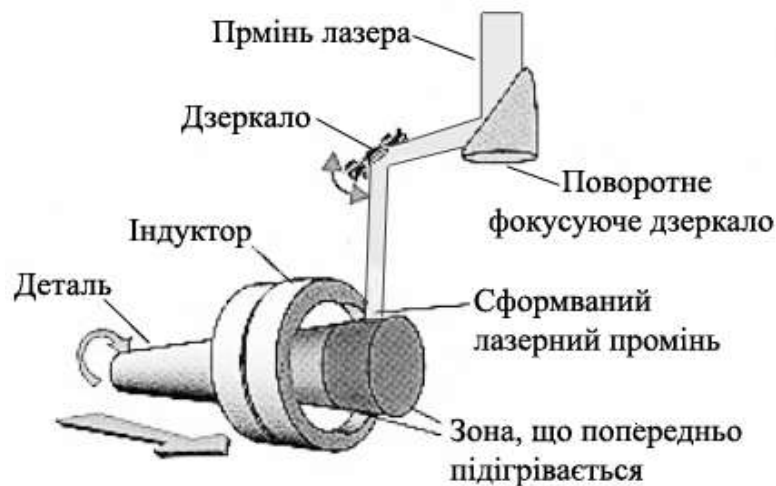


Рис. 11.33. Функціональна схема технічної реалізації лазерно-індукційного зварювання

Порівняно з підігрівом у печі, індукційний спосіб підігріву має такі переваги:

- повністю паралельний з машинним часом цикл лазерного зварювання, що забезпечує зниження його тривалості;
- невисокі інвестиційні витрати;
- невисока витрата енергії;
- компактність устаткування, простота обслуговування;
- менше нагрівання зварюваних деталей, що виключає їх відпускання.

Лазерно-індукційне зварювання дозволяє зварювати пружинні сталі, сталі, які піддаються цементації, а також чавуни.

**Гібридне лазерно-плазмове зварювання.** Гібридне лазерно-плазмове зварювання – це спосіб зварювання, при якому формування зварювальної ванни відбуваються за одночасної дії променя лазера й плазмового струменя.

Зменшення жорсткості зварювального термічного циклу може бути реалізоване використанням гібридного лазерно-індукційного зварювання. Як видно з рис. 11.32, жорсткість термічного циклу знижується при гібридному лазерно-індукційному зварюванні, що позитивно позначається на технологічній міцності у випадку зварювання середньовуглецевих сталей ( $\tilde{N} = 0,26 \dots 0,45\%$ ) і легованих сталей

Особливості процесу та обладнання для плазмового зварювання детально описані у § 11.2, а лазерного зварювання та обладнання для нього – у § 11.4, тому розглянемо лише питання, що стосуються процесу гібридного лазерно-плазмового зварювання.

Разом з перевагами плазмового зварювання, цей процес має серйозні недоліки:

- недостатня густина потужності в зоні обробки;
- неможливість досягти стабілізації дуги при високих швидкостях зварювання.

Шляхом спільного впливу на утворення зварювальної ванни лазерного променя й плазмового струменя реалізується комбінований лазерно-плазмовий процес зварювання. Така комбінація поліпшує просторову стабілізацію плями дуги на поверхні металу й підвищує стійкість її горіння при малих струмах і значних швидкостях зварювання. Одночасне нагрівання металу плазмою спричинює локальне підвищення температури в зоні нагрівання і як наслідок – зміни оптичних властивостей поверхні, отже, і збільшення коефіцієнта поглинання лазерного випромінювання. У підсумку ефективність лазерного зварювання зростає, що особливо важливо у разі використання лазерів невеликої потужності. Все це дозволяє збільшити швидкість і стабільність плазмового зварювання, підвищити ефективність, та знизити собівартість лазерного зварювання.

Якщо лазерне випромінювання проходить через плазму дуги, то спостерігається зміна повного енергетичного балансу дугового розряду, пов'язана з додатковим виділенням енергії в об'ємі дугової плазми внаслідок поглинання лазерного випромінювання. У тому випадку коли потужність, внесена в дугу лазерним пучком, порівнянна з її електричною потужністю, реалізується проміжний (між оптичним і дуговим) тип газового розряду – комбінований лазерно-дуговий розряд. Інтегральні, а особливо локальні характеристики плазми такого розряду істотно відрізняються від відповідних характеристик вихідної стиснутої дугової плазми.

Характеристики лазерного випромінювання також зазнають істотних змін внаслідок поглинання й рефракції лазерного випромінювання у плазмі розряду. У результаті енергія, що передається зварюваній деталі, не є простою сумою енергій лазерного й дугового джерел тепла, узятих окремо.

У лазерно-плазмовому розряді відбуваються істотні зміни, порівняно з плазмовим розрядом, температури газодинамічного тиску, розподілу інтенсивності лазерного випромінювання уздовж оптичної осі, вольтамперних характеристик розряду.

Поглинання лазерного випромінювання дуговою плазмою спричинює істотне підвищення температури її центральних областей, причому максимально досяжні значення температури збільшуються із зростанням потужності лазерного пучка. Таке збільшення температури плазми сприяє підвищенню її електропровідності і як наслідок – збільшенню густини струму біля осей зони розряду. Таким чином, розряд, що генерується лазерно-дуговим плазмотроном, характеризується підвищеною концентрацією теплової й

електричної енергії в тій області плазми, що піддається впливу лазерного пучка й жорстко зв'язана з його віссю, а також високою просторовою стабільністю цієї області.

Наслідком взаємодії лазерного випромінювання з дуговою плазмою у розглянутому плазмотроні є перерозподіл не тільки її характеристик, а й самого лазерного пучка (за рахунок поглинання й рефракції в плазмі розряду).

Таким чином, взаємодія лазерного пучка із плазмою комбінованого розряду спричинює його додаткове фокусування, що підсилюється із зростанням струму й потужності променя лазера.

Отже, варіюючи цими двома параметрами, можна ефективно управляти фокусуванням пучка в плазмі комбінованого розряду, створюваного за допомогою лазерно-дугового плазмотрона, що важливо при використанні подібних пристроїв для зварювання й різання.

Сучасний напрямок розвитку лазерних і плазмових способів зварювання – створення інтегрованих лазерно-дугових плазмотронів. Існують різні схеми реалізації інтегрованих плазмотронів на основі співвісного об'єднання лазерного променя й плазмової дуги. Відмітна особливість таких пристроїв – конструкція катодного вузла, що дозволяє вводити лазерний промінь в дугову плазму уздовж осі плазмoформуючого каналу. За аналогією з дуговими, інтегровані плазмотрони можуть бути прямої (рис. 11.34, *а*) і непрямої (рис. 11.34, *б*) дії, причому останні можна поділити на плазмотрони з довжиною дуги, що самоустановлюється, і з фіксованою довжиною дуги. Інтегровані плазмотрони прямої дії можуть використовуватися для лазерно-плазмового зварювання, наплавлення й різання металів, а непрямої дії – для обробки діелектричних матеріалів, наплавлення металевих поверхонь, нанесення покриттів і у інших технологічних процесах.

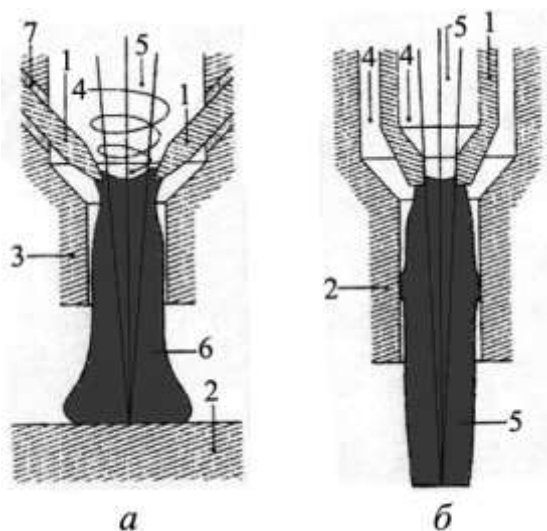


Рис. 11.34. Схеми інтегрованих плазмотронів прямої (*а*) і непрямої (*б*) дії:

- 1 – катод; 2 – анод; 3 – плазмoформуюче сопло; 4 – плазмoутворюючий газ; 5 – лазерний пучок; 6 – плазма;

Основні переваги лазерно-плазмового зварювання:

– значно підвищується швидкість зварювання, вона стає більшою, ніж результат простого арифметичного підсумовування швидкостей лазерного й плазмового зварювання;

– процес практично не залежить від оптичних властивостей поверхні;

– при зварюванні алюмінієвих сплавів відбувається очищення поверхні від окисної плівки  $Al_2O_3$ ;

– при зварюванні відбувається зниження температури поверхні ванни розплаву, за якої починається перехід від теплопровідного режиму проплавлення до режиму глибокого проплавлення.

Розроблено технологію для швидкісного лазерно-мікроплазмового

зварювання тонколистових алюмінієвих сплавів, засновану на спільному використанні лазерного пучка малої потужності й мікроплазмової дуги зворотної полярності. Запропонований спосіб дозволяє очищувати поверхню алюмінію від окисної плівки в процесі зварювання, чого не можна досягти лазерним зварюванням, стабілізувати рух дуги при більших, порівняно з мікроплазмовим, швидкостях зварювання, а також істотно підвищити ефективність використання енергії лазерного випромінювання й електричної дуги. Зварювання алюмінієвого сплаву АМг-2 товщиною 0,35 мм струмом дуги 22 А і потужністю лазерного пучка 250 Вт із хорошим очищенням поверхні й повним проплавленням зразка вдається досягти на швидкості зварювання 9 м/хв, при цьому ширина швів становить 1,0...1,2 мм. Слід зазначити, що використання тільки лазерного або тільки мікроплазмового зварювання не дозволяє виконувати зварювання даного металу навіть на швидкості 3 м/хв.

Застосування зовнішнього іонізатора (плазмового струменя) у лазерному зварюванні без утворення плазмового факела дозволяє знизити температуру поверхні ванни розплаву, за якої починається перехід від теплопровідного режиму проплавлення до більш ефективного режиму глибокого проплавлення. Це є однією з основних причин вищої ефективності лазерно-плазмового зварювання, порівняно з лазерним.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Чим зумовлена необхідність створення нових способів зварювання?
2. На які групи поділяють спеціальні методи зварювання?
3. Опишіть сутність зварювання плазмовою дугою і плазмовим струменем.
4. Опишіть роботу плазмотрона в режимі зварювання плазмовою дугою і плазмовим струменем.



5. Опишіть принцип дії і область застосування плазмотрона для зварювання трифазною дугою.
6. У чому суть електронно-променевого зварювання?
7. Назвіть області застосування електронно-променевого зварювання.
8. Дайте визначення лазера і опишіть принцип його роботи.
9. Опишіть принцип дії випромінювача твердотільного лазера.
10. Де застосовується лазерне зварювання?
11. Опишіть сутність зварювання тертям.
12. Опишіть основні фази процесу зварювання тертям.
13. Назвіть типи з'єднань, які отримують зварюванням тертям.
14. У чому полягає ротаційна схема зварювання тертям?
15. У чому складається суть дифузійного зварювання?
16. Опишіть схему дифузійного зварювання у вакуумі.
17. Де застосовується дифузійне зварювання?
18. Які фізичні ефекти покладені в основу ультразвукового зварювання?
19. З яких матеріалів виготовляють магніострикційні і п'єзоелектричні перетворювачі?
20. Назвіть типи зварних швів, які отримують ультразвуковим зварюванням.
21. Опишіть сутність холодного зварювання.
22. Визначте три головних стадії процесу холодного зварювання.
23. У чому суть зварювання вибухом?
24. Що слугує джерелом енергії при зварюванні вибухом?
25. Які схеми зварювання вибухом застосовуються?
26. Яка схема зварювання вибухом застосовується для зварювання багат шарових панелей?
27. Визначте суть магнітно-імпульсного зварювання.
28. Опишіть будову і принцип дії установки для магнітно-імпульсного зварювання.
29. Де застосовується магнітно-імпульсне зварювання?
30. Опишіть схеми і назвіть переваги основних технологій гібридного зварювання.

## **Глава 12. ЗВАРЮВАЛЬНІ РОБОТИ ПРИ РЕМОНТІ І ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ**

### **§ 12.1. Наплавлення**

Наплавлення – процес, при якому на поверхню деталі наноситься шар металу необхідного складу. Наплавлення застосовують у ремонті зношених деталей для відновлення їхніх вихідних розмірів і для виготовлення нових виробів. Маса наплавленого металу зазвичай не перевищує декількох відсотків від загальної маси виробу. Проплавлення основного металу і перемішування основного і наплавленого металів повинні бути мінімальними для збереження механічних властивостей наплавленого шару.

Для наплавлювальних робіт використовують:

- сталі (вуглецеві, леговані);
- сплави на основі заліза (високохромисті чавуни, сплави з бором і хромом, сплави з кобальтом, молібденом або вольфрамові);
- сплави на основі нікелю й кобальту;
- сплави на основі міді;
- карбідні сплави (з карбідом вольфраму або хрому);
- порошкові матеріали для наплавлення і напилення.

Сьогодні частіш за все застосовуються ручне дугове наплавлення,

автоматичне наплавлення під флюсом, наплавлення СВЧ, дугове наплавлення неплавким електродом.

Ручне дугове наплавлення металевими електродами – найпростіший спосіб. Наплавлення виконують короткою дугою мінімального струменя. Для підвищення продуктивності застосовують наплавлення пучком електродів або трифазною дугою.

Автоматичне наплавлення під флюсом забезпечує достатньо великий об'єм ванни рідкого флюсу і металу. Великі деталі наплавляють багатодуговим наплавленням, при цьому один робітник керує одночасно кількома апаратами, кожний з яких обробляє певну ділянку виробу.

Застосовують багатоелектродне наплавлення, при якому одночасно плавляться кілька електродних дротів, підключених до одного полюса джерела струму і розташованих поперек осі наплавленого валика. Під флюсом створюється одна загальна зварювальна ванна, і електроди плавляться по черзі. Замість електродного дроту як присадний матеріал можна використовувати широку стрічку невеликої товщини. Дуга, переміщуючись від одного краю стрічки до іншого, рівномірно оплавляє її торець. Продуктивність процесу підвищується, а глибина проплавлення й частка основного металу зменшуються.

Наплавлення струмами високої частоти виконують за допомогою індукційного нагрівання із присадним матеріалом, що попередньо наносять на поверхню виробу у вигляді суміші порошків, литого кільця чи пресованого брикету або розплавляють у вогнетривкій лійці, розташованій над наплавленою деталлю.

Дугове наплавлення неплавким електродом застосовують, головним чином, для твердих зернистих і порошкових сплавів. Дугове наплавлення вольфрамовим електродом у захисних газах (аргоні) виконують, використовуючи литі присадні прутки (зазвичай зі сплавів нікелю й кобальту). Зазначеним способом одержують дуже малу глибину проплавлення й тонкі шари.

Останнім часом поширені методи лазерного наплавлення як для створення поверхонь із необхідними властивостями, так і для відновлення зношених деталей або виправлення точкових дефектів. Перевагами процесу є локальність теплового впливу, мінімальне перемішування наплавленого і основного металів та практична відсутність деформації виробу після наплавлення.

Під час проведення робіт з наплавлення варто мати на увазі, що у поверхневих шарах наплавленого металу виникають залишкові, як правило, розтягуючі напруження, які можуть призвести не тільки до викривлення форми і розмірів наплавлених деталей, а й до появи тріщин у наплавленому шарі.

Наплавлення низьколегованих і вуглецевих сталей (до 0,4 % С) часто використовують для відновлення розмірів деталі або для створення підшара. Особливих проблем у наплавленні таких сталей не виникає. Однак якщо в наплавленні кількість вуглецю підвищується до значень, більших, ніж 0,4 %, передбачають підігрів, особливо при наплавленні на

масивні деталі. Температура підігріву повинна бути тим вище, чим масивніше деталь і більше в ній вуглецю.

Особливістю наплавлення штампових інструментальних сталей є перебіг процесу перлітного перетворення в широких діапазонах швидкостей охолодження. Іноді після охолодження утворюються мартенситна структура з деякою кількістю залишкового аустеніту. Така структура досить тверда й зносостійка, що утруднює наступну механічну обробку.

Для відновлення наплавленням виробів зі швидкорізалних сталей варто враховувати підвищену здатність металу до утворення гарячих і холодних тріщин. Наплавлений метал, як правило, не повинен піддаватися пластичній деформації куванням або прокаткою.

Хромонікелеві та інші нержавіючі наплавлення особливо чутливі до утворення гарячих тріщин і втрати корозійної стійкості в процесі експлуатації. Тому при їхньому наплавленні прагнуть до одержання двофазної структури з мінімальним змістом шкідливих домішок. Іноді у наплавленні рекомендують застосовувати проміжні шари. При цьому використовують присадний дріт, який забезпечує у наплавленні запас фериту не менше 2...3 %.

Одним з найпоширеніших типів наплавленого металу з максимальною твердістю і хорошою зносостійкістю є високохромистий чавун. Такі наплавлення здатні до утворення холодних тріщин, особливо при наплавленні на великогабаритні деталі. Ці тріщини практично не переходять в основний метал деталі і не впливають на зносостійкість. З метою зниження ймовірності їхньої появи застосовують підігрів і попередньо наплавляють підшар.

Нікелеві сплави із хромом, бором, кремнієм мають велику стійкість в агресивних середовищах разом з високою зносостійкістю. Їх наплавлення особливої складності не представляє, тому що вони мають відносно невисоку температуру плавлення (1000...1100 °С). Проте з метою кращого сплавлення підкладку рекомендується підігрівати до температури 300...500 °С.

## § 12.2. Металізація

Металізація полягає в нанесенні металевого покриття на поверхню методом осадження на ній рідкого металу, що розпорошується газовим струменем. При подаванні металевого дроту до джерела нагрівання здійснюється розігрів до розплавлення, і рідкий метал під тиском газового струменя вилітає з великою швидкістю із сопла металізатора у вигляді розпилених крапель, які вдаряються об поверхню деталі, і, з'єднуючись із нею, утворюють шар покриття.

Залежно від використовуваного джерела теплоти розрізняють металізацію дугову, газову, плазмову і СВЧ-металізацію.

У найбільш поширеній дуговій металізації використовують спеціальні металізаційні апарати (рис. 12.1). Через два напрямні мундштуки 2, по яких протікає зварювальний струм, подають дроти 4. Після дотику дротів у точці 1 у результаті короткого замикання з'являється дуговий розряд і утворюються краплі металу, що захоплюються струменем стиснутого повітря, яке надходить у корпус 3 через рукоятку 5 і розпилюються по поверхні, що металізується.

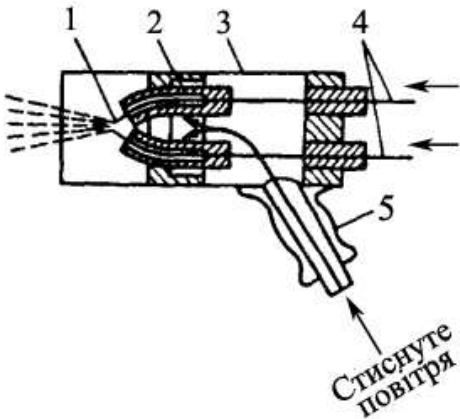


Рис. 12.1. Принцип дії дугового металізатора

Для металізації застосовують дріт мідний, алюмінієвий, сталевий і цинковий, а також неметалічні матеріали у вигляді порошків (скло, емалі, пластмаси).

Металізаційний шар складається з дрібних поверхнево-окислених часточок металу і має менші міцність і густину, порівняно з наплавленим шаром. Металізацію застосовують для захисту від зносу і корозії таких виробів, як цистерни, бензобаки і т. п., а також з декоративною метою. Дугова металізація – високопродуктивний процес, що забезпечує гарне з'єднання покриття з основним металом. Недоліками її є можливість перегріву і окислювання наплавлюваного матеріалу та вигорання з нього легуючих компонентів.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Визначить суть процесу наплавлення.
2. Де використовується процес наплавлення?
3. Назвіть матеріали, що застосовуються у наплавлювальних роботах.
4. Наведіть класифікацію способів наплавлення.
5. Опишіть особливості процесу наплавлення:
  - вуглецевих і низьколегованих сталей;
  - штампових інструментальних сталей;
  - швидкорізальних сталей;
  - хромонікелевих та інших корозійностійких сталей.
6. У чому суть процесу металізації?
7. Назвіть способи металізації.
8. Коротко опишіть будову і принцип роботи дугового металізатора.
9. Де застосовується металізація?

## Глава 13. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ І НАПЛАВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ

### § 13.1. Хімічний склад металу шва і процеси у зварювальній ванні

Хімічний склад металу шва змінюється по-різному у всіх видах зварювання. На нього впливають, в основному, три процеси: окислення

(згоряння) окремих компонентів матеріалу, випаровування деяких компонентів і поглинання газів зварювальною ванною.

Окислення металу при зварюванні відбувається у всіх випадках нагрівання, головним чином, за рахунок кисню, що є у атмосфері. Перш за все згоряють ті компоненти сплаву, котрі мають найбільшу спорідненість із киснем. У сталях, наприклад, у першу чергу окислюються вуглець, кремній, марганець, хром і деякі елементи, більш активні по відношенню до кисню, ніж залізо. Це призводить до збіднення матеріалу шва на легуючі складові і зниження його механічних та корозійних властивостей. Окрім цього, утворені при зварюванні окисли розчиняються у матеріалі шва і тим самим можуть впливати на його якість. Із збільшенням вмісту окислів границі міцності і текучості металів, ударна в'язкість, пластичність, втомна міцність і корозійна стійкість сталі знижуються, у шві з'являються холодноламкість і красноламкість. Якщо при згорянні легуючих елементів утворюються газоподібні окисли (наприклад, CO), то шов виявиться пористим.

При зварюванні інших металів, наприклад, алюмінієвих, магнієвих або титанових сплавів, окислюється зазвичай, насамперед, сама основа – алюміній, магній або титан, котрі характеризуються більшою активністю по відношенню до кисню, ніж легуючі компоненти. При цьому утворюються дуже стійкі тугоплавкі окисли, вилучення яких із шва пов'язане з великими труднощами. Окисли у шві призводять до зниження його механічних властивостей і корозійної стійкості. Частіше за наявності окислів алюмінію або титану зварювання не відбувається. Найбільш поширеними окислами при зварюванні металів є FeO, CO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> і Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Майже всі вони утворюються при зварюванні легованих сталей, деякі – при зварюванні сплавів алюмінію (наприклад, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>) і титану (TiO<sub>2</sub>).

Випаровування окремих компонентів має місце у випадку зварювання плавленням сталі, латуні і деяких інших сплавів. Температура полум'я газового пальника доходить до 3150 °С, а температура електричної дуги змінюється від 5000 до 15000 °С. Температура зварювальної ванни коливається у широких межах – від температури плавлення зварюваних металів до їх кипіння. Для сталі температура ванни часто перевищує 2000 °С. Вона хоча і діє короткочасно, але може призвести до випаровування компонентів, що киплять за нижчої температури, ніж основа сплаву, внаслідок чого зварювальна ванна може збіднюватися на легуючі елементи. У сталях такими елементами є марганець, хром і частково кремній.

При зварюванні мідних сплавів, зокрема латуні, температура плавлення котрої 890...910 °С, інтенсивно випаровується цинк (температура кипіння 907 °С), що позначається на якості шва.

Поглинання газів матеріалом шва також має істотне значення при зварюванні плавленням. У шов потрапляють кисень, азот і водень. Інші газы, з якими доводиться мати справу у процесі зварювання, такі, як пари води, ацетилен, аміак і т. п., за високої температури нагрівання зазвичай дисоціюють на складові частини з виділенням кисню, азоту або водню.

Джерелом газів у зварюванні можуть бути атмосфера, яка оточує зварювальну ванну (повітря або захисно-відновні гази, що містять домішки), а також різні хімічні реакції, що мають місце при зварюванні. Взаємодія металу із газами відбувається у рідкому стані металу і частково у твердому. При цьому гази можуть потрапляти у шов у вигляді хімічних сполук, твердих розчинів або механічних включень у порах і раковинах. У всіх випадках наявність під час зварювання кисню, азоту, водню і інших газів впливає на якість шва.

**Кисень** розчинюється у більшості металів. Якщо метал насичується киснем вище граничної розчинності, то утворюються окисли даного металу, і у подальшому збільшення кисню в металі відбувається за рахунок окислів. Наявність кисню у металі у вигляді твердого розчину або механічних включень, так само, як і наявність його у вигляді хімічних сполук, різко погіршує механічні властивості шва.

**Азот** розчинюється переважно у металах, з котрими він утворює хімічні сполуки. У сталях азот присутній у вигляді твердого розчину у  $\alpha$ - та  $\gamma$ -залізі або у вигляді голкоподібних включень нітриду заліза, котрі добре видно під мікроскопом. У звичайній мартенівській сталі міститься 0,001...0,008 % азоту. Така кількість помітно не впливає на властивості сталі. Проте при деяких видах зварювання у шов потрапляє до 0,12 % азоту, що призводить до значної зміни його якості.

Із збільшенням вмісту азоту в сталі її міцність і твердість збільшуються, а пластичні властивості (здовження, звуження площі поперечного перерізу, ударна в'язкість), навпаки, знижуються. Разом з цим з'являється тенденція до холодноламкості і синьоламкості. У корозійностійких сталях азот є сильним аустенізатором і як такий може замінити нікель. Окрім того азот здрібнює зерна цих сталей і тим самим поліпшує їхні властивості. Дослідним шляхом встановлено, що при зварюванні корозійностійких сталей у атмосфері чистого азоту зниження стійкості швів не спостерігається. Присутність азоту не чинить шкідливого впливу на мідь.

**Водень** під час зварювання може існувати як у молекулярному, так і атомарному стані, залежно від температури процесу. Дисоціація молекул водню на атоми відбувається за умовами дугового розряду. Атомарний водень є більш сильним відновником, ніж молекулярний. Він більше реагує з металом. Водень розчинюється у залізі як у рідкому, так і твердому стані. Окрім заліза, він може у вигляді розчину знаходитись у нікелі, марганці, кобальті, алюмінії, титані, міді та інших металах. Із деякими металами водень утворює хімічні сполуки ( $TiH$ ,  $VH$  та ін.).

Дифузія атомарного водню триває і після тверднення сталі. При цьому атоми, що потрапили у раковини і пори, утворюють молекули, котрі у подальшому не можуть дифундувати через метал. У результаті в порах і раковинах сталі відбувається накопичення водню під великим тиском, що утворює напружений стан металу і може бути причиною виникнення мікроскопічних тріщин (ф л о к е н і в).

Серйозну небезпеку створює водень для легованих сталей, що містять марганець, нікель, інші елементи, що розширюють область  $\gamma$ -заліза. Розчинність водню у  $\gamma$ -залізі вища, ніж в  $\alpha$ -залізі. Це призводить до насичення  $\alpha$ -заліза воднем при фазових перетвореннях у процесі охолодження і викликає підсилену дифузю водню у зону, де аустеніт ще не розпався. Подальше охолодження зменшує кількість аустеніту, що не розпався, в результаті чого підвищуються концентрація водню та його тиск у окремих частинах шва, що може призвести до появи тріщин. При зварюванні корозійностійких сталей водень сприяє виникненню напруженого стану на ділянках, де відбувся розпад аустеніту, оскільки розчинність водню в аустеніті значна.

Водень чинить шкідливий вплив також при зварюванні алюмінієвих, магнієвих, титанових і мідних сплавів. Особливо небезпечний водень для міді. При нагріванні міді і деяких її сплавів у атмосфері, що містить водень, виникає дефект, відомий під назвою “воднева хвороба”. Він пояснюється так. Водень відновлює окисли міді, що завжди присутні у технічній міді по межах зерен, а водяна пара, що утворюється при цьому, розширюючись під дією високої температури, руйнує зв'язки між кристалами металу. “Воднева хвороба” властива і іншим металам.

Отже, утворення зварного шва супроводжується низкою фізичних, хімічних і механічних процесів, які можуть призвести до небажаних результатів. Для запобігання шкідливому впливу цих процесів на якість шва при зварюванні передбачаються спеціальні заходи: застосування присадних матеріалів, флюсів, захисних і відновлювальних газів, обмазок (покриттів), рафінування; правильний вибір технології зварювання.

## § 13.2. Утворення зварного шва

При зварюванні плавленням кромки з'єднуваних елементів доводяться до рідкого стану із введенням або без введення присадного металу. Розплавлений основний і присадний метали, зливаючись, утворюють спільну зварювальну ванну, що знаходиться у стані безперервного руху. Оплавлені ділянки основного металу і раніш утвореного шва визначають її границі. Об'єм зварювальної ванни, залежно від способу і режиму зварювання, становить не менше  $0,1 \text{ мм}^3$ . Зварювальна ванна має еліпсоподібний обрис із температурою у головній частині вздовж напрямку зварювання до  $2300 \text{ }^\circ\text{C}$ , яка знижується у хвостовій частині до температури плавлення основного металу. Середня температура ванни при зварюванні під флюсом низьковуглецевих сталей становить  $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Час перебування металу у рідкому стані обчислюється секундами.

Під час кристалізації металу зварювальної ванни утворюється шов. У процесі тверднення металу внаслідок дифузії вирівнюється склад різних ділянок утворених кристалітів. У зв'язку з тим, що метал остуджується швидко,

а дифузійний процес триває повільно, зварювальний шов має неоднорідну структуру із нерівномірним розподіленням елементів у межах окремих кристалітів і утворенням зональної ліквації. Це впливає на механічні властивості металу шва.

Якість зварного шва значною мірою залежить від дифузійних процесів у зоні сплавлення рідкого металу із основним. Різниця між розчинністю елементів у рідкій і твердій фазах спричинює суттєву різницю у хімічному складі пограничних ділянок основного металу і металу шва. Внаслідок коливання параметрів режиму зварювання та інших технологічних причин часто змінюється хімічний склад металу і по довжині шва. Спостерігається також фізична неоднорідність металу шва, пов'язана із недосконалістю кристалічної решітки, яка сприяє його крихкості.

Кристалізація металу зварювальної ванни починається від частково оплавлених зерен основного металу, після чого видима границя між металами зникає.

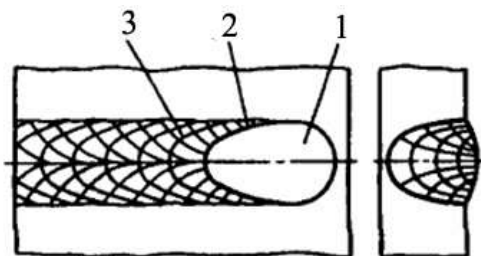


Рис. 13.1. Стовбчасті кристаліти у зварному шві:

1 – зварювальна ванна; 2 – ізотерма кристалізації шва; 3 – стовбчастий кристаліт

На рис. 13.1 показана умовна поверхня розділу між зернами основного металу і кристалітами шва, яку називають границею сплавлення.

Метал шва має стовбчасту структуру із порівняно крупними розмірами, яка легко розпізнається. Зростання кристалітів відбувається по нормалі до криволінійної поверхні розділу.

З віддаленням від границь розділу дендрити розгалужуються, а потім при зустрічі із кристалітами протилежної кромки

зварювальної ванни вони руйнуються, і структура металу шва стає більш дрібнозернистою. Подрібнення стовбчастої структури металу шва можна досягти застосуванням модифікаторів, котрі вводять у зварювальну ванну.

Метали і сплави, здатні до алотропічних перетворень, зберігають первинну структуру до температури алотропічного перетворення. Для сталей і чавунів алотропічне перетворення виявляється у переході  $\gamma$ -заліза в  $\alpha$ -залізо. При цьому відбувається вторинна кристалізація, за якої характер отриманої мікроструктури залежить від хімічного складу металу шва, термічного циклу та інших факторів.

Під час зварювання з'єднувані деталі і присадний матеріал або повністю ідентичні, або мають однакову основу і забезпечують повну металургійну сумісність, отже, процеси у шві мають ідентичний характер.

### § 13.3. Структурні зміни у металах шва і біляшовної зони

Структура металу шва при зварюванні низьковуглецевих сталей може складатися із фериту, перліту і мартенситу, бейніту і залишкового аустеніту, співвідношення яких може змінюватись, залежно від погонної енергії



зварювання. Додаткове легування сталі марганцем, кремнієм і іншими елементами сприяє утворенню у зварних з'єднаннях гартівних структур. У зв'язку з цим при зварюванні низьколегованих сталей погонні енергії беруть у більш вузьких границях, ніж при зварюванні низьковуглецевих сталей. Концентрація легуючих елементів у металі шва визначає його стійкість до кристалічних тріщин: метал шва із більшим вмістом легуючих елементів більш схильний до тріщиноутворення.

Нагрівання при зварюванні є місцевим, із різким перепадом температур: у зоні безпосереднього дотику до дугового розряду метал доводиться до температури кипіння, потім температура знижується і на деякій відстані від шва дорівнює температурі навколишнього середовища. Природно, що за різних температурних умов метал має різні структурні особливості. Смуга металу, прилегла до зварного шва, в котрій під дією нагрівання у процесі зварювання відбуваються будь-які структурно-фазові зміни, отримала назву зони термічного впливу (ЗТВ).

Характер структурних змін у ЗТВ зручніше за все встановити, розглядаючи графік “температура – відстань від центра шва” разом з діаграмою стану відповідного сплаву.

Для прикладу розглянемо структурні зміни, що відбуваються у сталі, яка містить 0,35 % вуглецю, і їх вплив на механічні властивості зварного з'єднання (див. рис. 13.2). Послідовність структур можна уявити як послідовність ділянок: литого металу 0, оплавлення (неповного розплавлення) 1, перегріву 2, нормалізації 3, неповної фазової перекристалізації 4, рекристалізації 5 і синьоламкості 6.

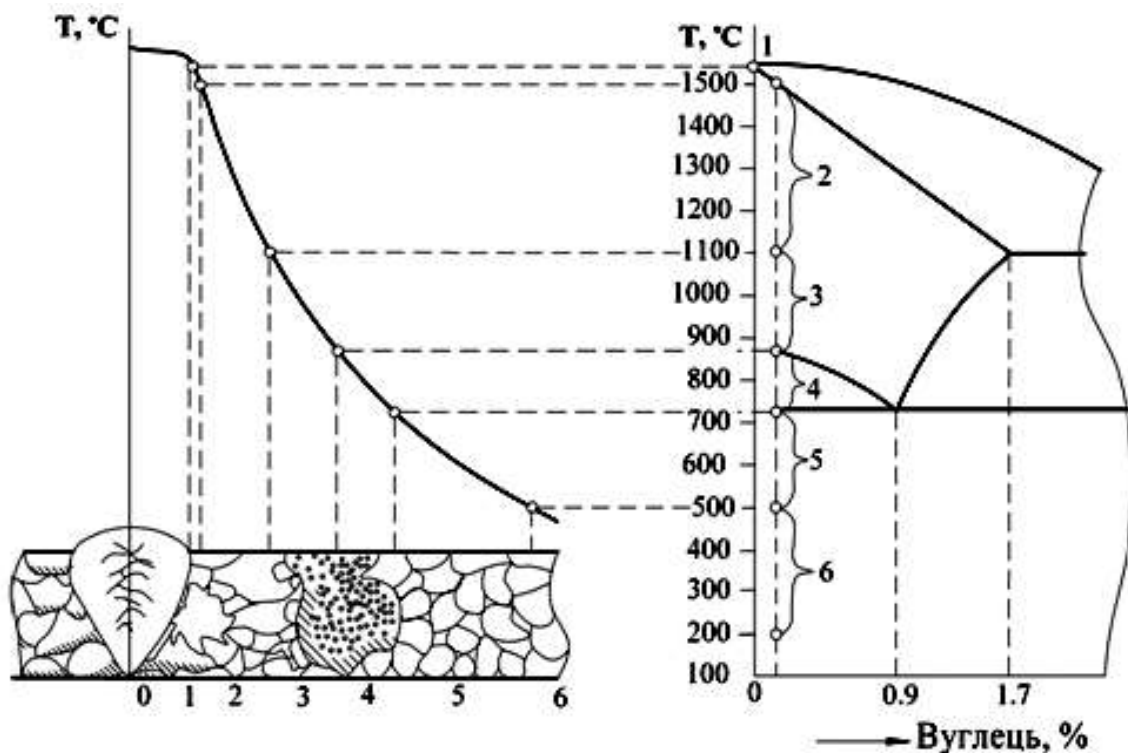


Рис. 13.2. Зміна структур біляшовної зони у процесі зварювання сталі

Ділянка литого металу 0 відповідає інтервалу від температури зварювальної ванни (порядку 2300 °С для дугового зварювання) до лінії ліквідусу зварюваного металу. Вона має характерну дендритну будову, причому у верхній середній частині зварювальної ванни структура помітно огрублюється внаслідок перегріву. Механічні властивості литого металу є низькими внаслідок грубозернистої структури. Газові пори і шлакові включення (результат порушень режиму зварювання) додатково знижують механічні властивості шва.

Ділянка оплавлення 1 відповідає інтервалу температур між точками ліквідусу і солідуса діаграми стану. Тут у процесі зварювання під дією перегрітого розплаву відбувається часткове оплавлення металу деталі, причому фронт оплавлення просувається нерівномірно – границі зерен оплавляються першими. Це призводить до затікання рідкої фази між зернами і часткового диспергування твердої фази (вимивання окремих зерен до розплаву). На стадії охолодження кристалізація розплаву відбувається, перш за все, у зоні оплавлених і диспергованих зерен цієї ділянки, що і визначає спрямованість кристалічної структури усього литого металу шва.

Ділянка перегріву 2 охоплює смугу металу з термічним впливом від температури плавлення до температури 1000...1100 °С. За таких температур відбувається інтенсивна вибіркова кристалізація аустеніту, що призводить до виникнення грубозернистої феритно-перлітної структури. Зі зниженням температури до периферії ступінь огрублення зменшується. Механічні властивості цієї зони низькі, особливо в'язкісні характеристики.

Ділянка нормалізації 3 охоплює шари металу, що піддавалися нагріванню у границях температур від 1000 °С до лінії аустенітно-феритного перетворення. Сталь у нагрітому стані, яка має аустенітну структуру, при охолодженні стає дрібною феритно-перлітною сумішшю. Як відомо, така структура, характерна для нормалізованої сталі, має добрі механічні властивості.

Ділянка неповної фазової перекристалізації 4 лежить у інтервалі феритно-аустенітного перетворення. За цих температур аустенітне перетворення відбувається не у всьому фериті, а лише у деякій його частині (тим меншій, чим нижча температура). Перліт переходить у аустеніт повністю вже при температурі нижньої границі інтервалу (727 °С). Після охолодження структура сталі має різку неоднорідність за розмірами зерен. У той час як зворотній розпад аустеніту дає дрібнозернисту структуру, зерна фериту, котрі не піддавалися перетворенню у ході нагрівання, за рахунок рекристалізації зростають до значних розмірів. Неоднорідність структури призводить до погіршення механічних властивостей металу, насамперед, в'язкісно-пластичних.

Ділянка рекристалізації 5 охоплює температурний інтервал від 450...500 до 727 °С. Зміна структури металу спостерігається тут практично лише у тому випадку, коли метал був попередньо підданий наклепу (пластичній деформації). У такому разі відбувається зниження міцнісних і підвищення в'язкісно-пластичних характеристик металу.

У процесі механічних випробувань зварних з'єднань руйнування бездефектного зварного шва відбувається найчастіше по ділянці неповної перекристалізації, оскільки зниження механічних властивостей литої структури компенсується її підсиленням за рахунок валика наплавленого металу. За наявності дефектів шва руйнування відбувається або по ділянці оплавлення, або по газовим і шлаковим включенням. Зниження міцнісних характеристик металу у зоні зварного шва можна практично виключити або послабити до безпечного значення супутньою або наступною термічною обробкою. Іноді застосовують попереднє гартування заготовок, щоб наступним за зварюванням відпуском вирівняти внутрішні напруження (структура металу у ЗТВ при цьому не вирівнюється).

Знання характеру структурних змін, які відбуваються у зварному шві і біляшовній зоні, дозволяє оцінювати стан зварного з'єднання і призначати технологічні процеси, що підвищують надійність конструкції. На можливе самогартування сталі при наплавленні впливають легуючі елементи, насамперед вуглець, а також товщина (діаметр) деталі, що піддається зварюванню або наплавленню.

При зварюванні низьковуглецевих сталей, що містять більше ніж 0,005 %  $O_2$ , 0,005 %  $N_2$  і не містять  $H_2$ , у низькотемпературному інтервалі 200...400 °С на поверхні металу з'являються сині кольори мінливості (ділянка синьоламкості 6 на рис. 13.2). При цьому спостерігається різке зменшення ударної в'язкості, спричинене старінням металу, коли із пересиченого твердого розчину випадають надлишкові складові (азот, вуглець), які накопичуються у вигляді тонкодисперсних нітридів і карбідів біля дефектних ділянок кристалічної решітки, тим самим підвищуючи міцність і знижуючи пластичність сталі.

Середні розміри окремих ділянок ЗТВ залежать від способу зварювання (табл. 13.1).

Таблиця 13.1

Середні розміри ділянок ЗТВ при різних способах зварювання

Спосіб зварювання	Середній розмір, мм			Загальна довжина ділянок, мм
	перегріву	нормалізація	неповної перекристалізації	
Дугове електродами: – тонкопокритими – товстопокритими	1,2 2,2	0,6 1,6	0,7 2,2	0,7 6,0
Під флюсом	0,8...1,2	0,8...1,7	0,7...0,8	2,5...3,7
У середовищі вуглекислого газу	0,7...1,0	0,6...1,5	0,5...0,7	1,8...3,2
Газове	21	4	2	27

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення зварювальної ванни і поясніть процес утворення зварного шва.
2. Які процеси відбуваються у зварювальній ванні?
3. Як впливає окислення металів на якість зварного шва?
4. Оксиди яких металів частіш за все містяться у зварювальній ванні?

5. Які елементи частіш за все випаровуються при зварюванні?
6. Які наслідки має процес випаровування металів із зварювальної ванни?
7. Які гази поглинаються зварювальною ванною при її охолодженні і утворенні зварного шва?
8. Як впливають на структуру і властивості металу шва і біляшовної зони кисень, азот, водень при їх поглинанні?
9. Що таке флокени?
10. В якому вигляді містяться у зварювальній ванні кисень, азот, водень?
11. Опишіть процес кристалізації зварювальної ванни. Які структурні зміни відбуваються у зоні зварного шва при його утворенні?

## **Глава 14. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ РІЗНИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ**

### **§ 14.1. Зварюваність металів і сплавів**

Низка сталей, кольорових і тугоплавких металів та сплавів має знижену зварюваність, що проявляється у зміні механічних і фізико-хімічних властивостей металу в зоні зварного з'єднання, порівняно з основним металом, і утворенні дефектів у вигляді тріщин, пор і т. д.

Міцність і твердість шва при зварюванні сплавів, як правило, нижчі, ніж у основного металу. Це пояснюється тим, що для запобігання тріщинам шов часто виконують із меншим вмістом легованих матеріалів, ніж у основному металі. Знижена пластичність шва може бути обумовлена кристалітною структурою й підвищеним вмістом газів.

Крім того, у ЗТВ під дією нагрівання відбуваються фазові й структурні перетворення (див. §§ 13.1, 13.2), у результаті яких, наприклад, у легованих сталях можливі істотне підвищення твердості й зниження пластичності.

Найнебезпечнішим проявом зниженої зварюваності є утворення гарячих і холодних тріщин у шві та у ЗТВ. Причини виникнення тріщин: зниження пластичності й міцності як у процесі кристалізації шва (гарячі тріщини), так і у післязварювальний період внаслідок поліморфних перетворень і насичення газами (холодні тріщини); розвиток зварювальних деформацій і напружень.

Крім того, можливе виникнення власних зварювальних напружень (тобто без додатка зовнішніх сил), що пов'язане з нерівномірністю температурного поля при зварюванні.

Наслідком низької зварюваності є деформації зварюваних деталей (див. гл. 15), дефекти зварювальних швів (див. гл. 16) та необхідність їхнього усунення. Таким чином, для одержання якісного зварного з'єднання необхідно враховувати фізико-механічні властивості зварюваних матеріалів і підбирати відповідну технологію зварювання для різних груп металів і сплавів.

### **§ 14.2. Зварювання чорних металів і сплавів**

**Зварювання вуглецевих і легованих сталей.** Низьковуглецеві (менше 0,3 % С) і деякі низьколеговані сталі мають гарну зварюваність і з'єднуються більшістю способів зварювання без особливих труднощів.

Вуглецеві й леговані сталі із вмістом більше 0,3 % С (сталі 45, 30ХГСА, 40ХНМА й ін.) у типових режимах зварювання зазнають загартування у ЗТВ. Відповідні цим режимам швидкості охолодження для зазначених сталей досить високі й призводять до утворення мартенситної мікроструктури. Тому для зварних з'єднань таких сталей характерні підвищена твердість і знижена пластичність у ЗТВ.

Для забезпечення хорошої зварюваності при дуговому зварюванні таких сталей рекомендується виконувати:

- попередній, супутній і наступний підігрів заготовок до температури 100...300 °С з метою вповільненого охолодження й виключення загартування ЗТВ;

- прожарювання електродів, флюсів при температурі 400...450 °С протягом 3 год і осушення захисних газів для попередження потрапляння водню в метал зварного з'єднання;

- за недостатності перших двох заходів – низький (300...400 °С) або високий (600...700 °С) відпуск зварних з'єднань відразу після закінчення зварювання з метою підвищення пластичності гартівних структур і видалення водню.

Контактне точкове зварювання вуглецевих і легованих сталей виконують у м'яких режимах, тобто тривалим нагріванням струмом і швидким видаленням заготовок із зварювальної установки, щоб уникнути відведення теплоти електродами. У результаті забезпечується вповільнене охолодження заготовок. Контактне стикове зварювання цих сталей виконують із переривчастим оплавленням, при якому забезпечують підігрів заготовок перед зварюванням і вповільнене охолодження.

**Зварювання високолегованих корозійностійких сталей.** Корозійна стійкість аустенітної сталі забезпечується вмістом Сг більше 12 %, а вміст 8 % Ні стабілізує аустенітну структуру й зберігає її за нормальних температур (сталь 10Х18Н9Т та ін.). При зварюванні цих сталей у режимах, що передбачають тривале перебування металу в діапазоні температур 500...800 °С, можлива втрата корозійної стійкості металом шва й ЗТВ. Причинами цього є утворення карбідів хрому на границях зерен і збідніння приграничних ділянок на зерна хрому. У результаті метал зварного з'єднання стає вразливим до так званої міжкристалітної корозії.

При дуговому зварюванні для попередження міжкристалітної корозії зварних з'єднань рекомендується:

- зварювання на малих погонних енергіях із застосуванням тепловідвідних мідних підкладок з метою одержання жорстких термічних циклів і зменшення часу перебування металу під дією високих температур;

- термічна обробка після зварювання (нагрівання до температури 1100 °С і загартування з охолодженням у воді); при нагріванні відбувається розчинення карбідів і створюється чисто аустенітна структура.

Для попередження виникнення гарячих тріщин у зварних швах рекомендується знижувати вміст шкідливих домішок і вводити у зварювальні матеріали (електроди, дріт) легуючі елементи: Si, Al, Mo, Mn та ін., які сприяють здрібнюванню кристалітів у результаті утворення невеликої кількості (до 5 %) феритної фази.

Аустенітні сталі добре зварюються контактним зварюванням на знижених густинах струму. Такі сталі мають високий питомий електроопір і низьку теплопровідність, що обумовлює виділення великої кількості теплоти при зварюванні й обмежене її відведення із зони зварювання. У зварюванні застосовують підвищений тиск, оскільки аустенітні сталі мають значну міцність при високих температурах.

**Зварювання чавуну.** Чавун відноситься до категорії сплавів, що зварюються погано. Його зварюють для виправлення дефектів у виливках і у процесі ремонту деталей. Дугове зварювання чавуну чавунними електродами з покриттями не забезпечує хорошої якості зварних з'єднань. Метал шва одержує структуру білого чавуну, а ЗТВ гартується. Це утруднює механічну обробку зварних з'єднань і може призвести до утворення тріщин.

Гаряче зварювання чавуну виконують із попереднім підігрівом деталей, що зварюються, до температури 400...700 °С. Деталі підігрівають у печах і зварюють чавунними електродами (діаметром 8...25 мм) зі стабілізуючим або спеціальним покриттям.

Застосовують також механізоване зварювання порошковим дротом, що забезпечує потрібні склад і структуру чавуну у шві. Зварені деталі охолоджують разом з піччю. При гарячому зварюванні чавуну одержують зварне з'єднання без твердих вибілених і загартованих ділянок. Однак гаряче зварювання – дорогий й трудомісткий процес, його застосовують для ремонту унікальних деталей.

При холодному зварюванні чавун зварюють без підігріву сталевими, мідно-залізними, мідно-нікелевими електродами й електродами з нікелевого аустенітного чавуну. У випадку застосування сталевих електродів деталі наплавляють низьковуглецевим електродами невеликого діаметра зі стабілізуючим покриттям. Застосовують також сталеві електроди зі спеціальним покриттям, яке містить велику кількість карбідоутворюючих елементів, що дозволяє одержати наплавлений метал з м'якою основою й вкрапленнями карбідів. Ці способи не виключають утворення вибілених і гартівних структур у ЗТВ, але вони прості й забезпечують м'який, добре оброблюваний шов.

Мідно-залізні електроди складаються з мідного прутка з обплетенням з жерсті або пучка з мідних і сталевих стержнів. Електроди мають спеціальне або стабілізуюче покриття. Мідно-нікелеві електроди складаються зі стержнів монель-металу (70 % Ni, 28 % Cu, решта – Fe) або мельхіору (80 % Cu, 20 % Ni) зі стабілізуючим покриттям. Застосування мідно-залізних, мідно-нікелевих електродів і електродів з нікелевого аустенітного чавуну дозволяє одержати зварне з'єднання, у якого відбілювання зони термічного впливу спостерігається тільки на окремих ділянках.

Найбільше застосовують мідно-залізні електроди, вони дешевші і забезпечують достатню міцність металу шва.

### § 14.3. Особливості зварювання кольорових металів і сплавів

**Зварювання міді і її сплавів.** На зварюваність міді великий вплив здійснюють шкідливі домішки, що містяться в ній ( $O_2$ ,  $H_2$ ,  $Bi$ ,  $Pb$  та ін.). Кисень, що перебуває в міді у вигляді оксиду  $Cu_2O$ , є однією із причин утворення гарячих тріщин у зварних швах. Оксид міді утворює із міддю легкоплавку евтектику ( $Cu_2O-Cu$ ), що розташовується по границях кристалітів і знижує температуру їхнього затвердіння. Наявність сітки евтектики по границях кристалів робить шов більш крихким при нормальних температурах.

У розплавленій міді водень має високу розчинність, яка різко знижується при кристалізації. Виділення водню у процесі тверднення зварювальної ванни може призвести до утворення газової пористості.

Для запобігання зазначеним дефектам при дуговому зварюванні міді рекомендоване:

- зварювання в атмосфері аргону, гелію, азоту і їхніх сумішей;
- застосування зварювального й присадного дроту, що містять сильні розкислювачі: титан, цирконій, бор, фосфор, кремній та ін.

Оскільки мідь має високу теплопровідність, її зварювання виконують з підвищеною погонною енергією та попереднім підігрівом до температури  $300\text{ }^\circ\text{C}$ . В одиничному виробництві й ремонтних роботах застосовують газове зварювання потужним полум'ям. При цьому забезпечується необхідний підігрів заготовок. Зварювання виконують із флюсом на основі бури ( $Na_2B_4O_7$ ), який наносять на кромки заготовок і присадний пруток. Флюс розчиняє  $Cu_2O$  і виводить його в шлаки.

Основні труднощі при зварюванні латуні є створення випарювання цинку. У результаті знижуються міцність і корозійна стійкість латунних швів, виділяється отруйна пара цинку.

Застосовують зварювання в захисних газах з вольфрамовим неплавким електродом, тому що у такому випадку відбувається менше випаровування цинку, ніж при використанні плавкого електрода.

У газовому зварюванні кращі результати одержують, застосовуючи спеціальний газовий флюс на основі бору й борного спирту, який сприяє утворенню на поверхні зварювальної ванни шару шлаків. Суцільний шар шлаків перешкоджає виходу парів цинку зі зварювальної ванни.

Латунь має меншу теплопровідність, ніж мідь, тому метал товщиною понад 12 мм необхідно підігрівати до температури  $150\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для зварювання бронзи застосовують ті ж способи й технологію, що й для зварювання міді, за винятком олов'яних бронз. Їх зварюють із великою швидкістю й без підігріву, тому що в протилежному разі можливе виплавлення легкоплавкої складової – олова.

Латуні й бронзи мають більший питомий електроопір, ніж мідь, вони достатньо добре зварюються контактним зварюванням. Мідь контактним способом не зварюється.

**Зварювання алюмінію і його сплавів.** Труднощі при зварюванні алюмінію і його сплавів обумовлені:

- утворенням тонкої, міцної й тугоплавкої поверхневої плівки оксиду  $Al_2O_3$ , що плавиться при температурі 2050 °С;
- здатністю до утворення газової пористості;
- здатністю до утворення гарячих тріщин.

Плівка оксиду покриває краплі розплавленого металу й перешкоджає сплавлюванню їх між собою й основним металом. Для руйнування й видалення плівки оксиду при зварюванні використовують спеціальні флюси або виконують зварювання в атмосфері інертних газів.

Флюси складаються із суміші хлористих і фтористих солей лужних металів ( $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $BaCl_2$  і ін.), вони розчиняють плівку оксидів.

У процесі зварювання у захисних газах плівка руйнується в результаті електричних процесів, які відбуваються під час зварювання електродом, що плавиться, на постійному струмі зворотної полярності й зварювання електродом, що не плавиться, на змінному струмі з використанням спеціальних джерел струму.

Утворення гарячих тріщин в алюмінії й деяких його сплавах пов'язане із крупнокристалічною макроструктурою зварних швів. Здатність до утворення тріщин підвищується за наявності невеликої кількості Si (до 0,5 %), що призводить до формування легкоплавкої евтектики по границях кристалів. Для запобігання гарячим тріщинам у шов через дріт вводять Fe, що нейтралізує шкідливий вплив Si, і модифікатори Zr, Ti та B, що сприяють здрібнюванню кристалітів у шві.

Найбільш важко зварюються плавленням сплави, що термічно зміцнюються, системи Al-Cu-Mg (дуралюміні). При нагріванні вище 500 °С відбувається оплавлення границь зерен з утворенням на розплавлених ділянках евтектичних структур, що призводить до підвищеної крихкості зони термічного впливу і зниженню її міцності, порівняно з міцністю основного металу. Властивості ЗТВ не відновлюються термічною обробкою.

У процесі зварювання самогартівних сплавів системи Al-Zn-Mg можливе утворення холодних тріщин у післязварювальний період.

Відносно добре зварюються термічно незміцнювані сплави системи Al-Mn (сплав АМц) і системи Al-Mg (сплави АМг).

Найчастіше застосовують зварювання алюмінію й сплавів в атмосфері захисних газів неплавкими електродами товщиною 0,5...10 мм і плавкими, товщиною більше 10 мм. У цьому випадку одержують кращу якість зварних швів, порівняно з іншими видами дугового зварювання.

Можливе газове зварювання алюмінію і його сплавів. Флюс наносять на зварювані кромки у вигляді пасти або вводять у зварювальну ванну на розігрітому кінці присадного прутка.



Алюміній і його сплави достатньо добре зварюються контактним зварюванням. З урахуванням високої теплопровідності та електропровідності алюмінію, для його зварювання необхідні більші сили струми.

**Зварювання тугоплавких металів і сплавів.** Труднощі при зварюванні тугоплавких металів (титан, цирконій, молібден, ніобій та ін.) пов'язані з тим, що вони при нагріванні інтенсивно поглинають гази (кисень, водень і азот). При цьому навіть незначний вміст газу призводить до різкого зниження пластичних властивостей цих металів.

Титан і його сплави зварюють у захисній атмосфері аргону вищої якості. При цьому додатково захищають струменями аргону корінь шва й ще не остиглі до температури 150 °С ділянки шва. Перед зварюванням дріт і основний метал дегазують шляхом відпалювання у вакуумі. Допустима кількість газу у швах:  $H_2 < 0,01 \%$ ,  $O_2 < 0,1 \%$ ,  $N_2 < 0,05 \%$ . За більшої кількості газів знижується пластичність металу зварних з'єднань, крім того, титанові сплави стають здатними до утворення холодних тріщин. Головні вузли зварюють у камерах з контрольованою аргоновою атмосферою.

Цирконій схожий за зварюваністю до титану. Тому його зварюють за аналогічною технологією.

Молібден, ніобій та їхні сплави більш чутливі до насичення газами, ніж титан, особливо киснем. Якщо зміст кисню більше 0,01 %, їхні пластичні властивості різко знижуються. Молібден, ніобій та їхні сплави зварюють дуговим зварюванням у камерах з контрольованою аргоновою атмосферою.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. У чому проявляється знижена зварюваність сплавів і які її причини?
2. Умова отримання якісного зварного з'єднання.
3. Оцініть зварюваність низьковуглецевих і низьколегованих сталей.
4. Які технологічні заходи застосовують при зварюванні високовуглецевих і легованих сталей для підвищення їх зварюваності?
5. Які засоби підвищення зварюваності використовують при зварюванні високолегованих корозійностійких сталей?
6. Яку термічну обробку застосовують після зварювання сталей аустенітного класу для покращення їх кристалічної структури?
7. Опишіть особливості контактного зварювання сталей аустенітного класу.
8. Оцініть зварюваність чавуну.
9. До яких температур підігривають чавун при його гарячому зварюванні?
10. Які електроди застосовують для зварювання чавуну без підігріву?
11. Що впливає на зварюваність міді і її сплавів?
12. Назвіть особливості процесу дугового зварювання міді.
13. Як запобігають випаровуванню цинку при зварюванні латуні?
14. Наведіть особливості процесу зварювання бронзи. Як запобігають випаровуванню олова при зварюванні бронзи?
15. Яка головна причина низької зварюваності алюмінію і його сплавів?
16. Які засоби використовують для руйнування оксидів алюмінію при його зварюванні?
17. Чим пояснюються труднощі зварювання тугоплавких металів і сплавів?
18. Як запобігають газонасиченню зварювальної ванни при зварюванні тугоплавких металів і сплавів?

19. Назвіть матеріали, які застосовують для зварювання:
- аустенітних корозійностійких сталей;
  - чавуну;
  - міді і її сплавів.

## Глава 15. ДЕФОРМАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЗВАРЮВАННІ І МЕТОДИ ЇХ УСУНЕННЯ

Деформування деталі при зварюванні відбувається внаслідок утворення внутрішніх напружень. Причинами напружень є місцеве нагрівання деталі, фазові перетворення, котрі відбуваються у металі при нагріванні і усадка наплавленого металу. У результаті нагрівання відбувається значне місцеве розширювання металу, в той час як об'єм холодної деталі залишається незмінним. Це призводить до утворення внутрішніх напружень. Фазові перетворення, що відбуваються внаслідок високої температури, також можуть супроводжуватися зміною об'єму металу. Так, у сталях перехід  $\alpha$ -розчину в  $\gamma$ -розчин спричинює збільшення об'єму приблизно на 1 %. Оскільки ця зміна відбувається на невеликій ділянці деталі, вона теж спричинить утворення внутрішніх напружень.

Усадка металу (див. рис. 15.1) відбувається внаслідок зменшення об'єму рідкого присадного металу у процесі тверднення. Оскільки зварювання супроводжується плавленням кромek основного металу, то при його твердненні відбувається усадка, яка також спричинює внутрішні напруження.

Деформації можна зменшити шляхом врівноваження створених напружень. Для цього місця з'єднання елементів деталі розбивають на ділянки, зварювання котрих ведеться у послідовності, що забезпечує утворення напружень, які є рівними за значенням і протилежними за напрямком. Наприклад, при зварюванні двотаврової балки із трьох елементів можна застосувати черговість зварювання.

Деформацію зменшує і двостороннє зварювання. Доцільно також зменшувати переріз шва шляхом застосування присадного матеріалу, що забезпечує високу якість зварного з'єднання, і вибору оптимального режиму зварювання (погонної енергії зварювання). Значного зменшення деформації досягають способом зворотно-ступінчастого зменшення деформацій шляхом зміни черговості зварювання окремих ділянок зварювання.

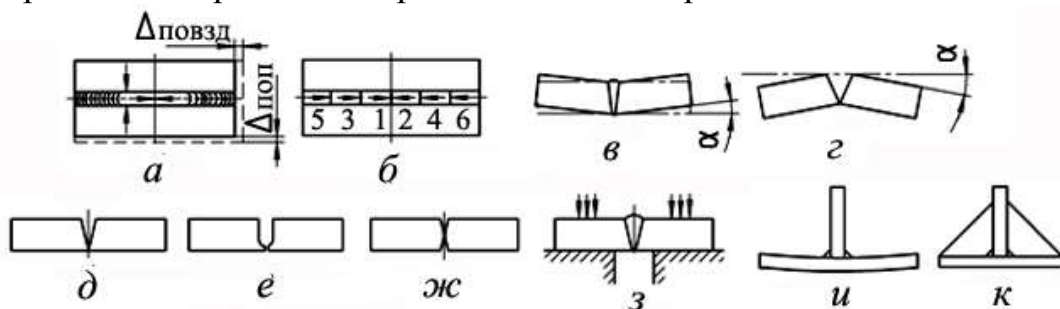


Рис. 15.1. Усадка і кутова деформація зварних заготовок і їх усунення:  
*а* – поперечна і поздовжня усадки заготовок; *б* – зменшення поперечної і поздовжньої деформацій зварюванням зворотно-ступінчастим способом; *в, и* – кутова деформація;

$\varepsilon$  – усунення або зменшення кутової деформації за допомогою попереднього кутового згину заготовок перед зварюванням;  $d, e$  – шляхом зменшення перерізу шва U-подібною обробкою кромки замість X-подібною;  $жс$  – шляхом симетричного розміщення матеріалу шва за рахунок заміни V-подібною обробкою кромки на X-подібну;  $з$  – шляхом затиску зварюваних деталей;  $к$  – шляхом застосування ребер жорсткості

Зменшити жолоблення зварюваних деталей можна також способом зворотних деформацій. Він полягає в тому, що зварювані елементи деталі попередньо підгинають у бік, зворотний зварювальним деформаціям. У процесі зварювання вони набирають ту, що потрібно, або близьку до потрібної форму. Широко застосовують також спосіб жорсткого закріплення зварюваних елементів деталі за допомогою спеціального пристрою або шляхом “прихвачування”, тобто попереднього зварювання кромки у декількох точках. Повністю уникнути деформацій при зварюванні не вдається, але можна зменшити їх до допустимих значень.

Одним із ефективних засобів, що знижують деформацію зварних з'єднань, є правильний вибір способу зварювання. Він визначає ступінь концентрації теплоти, котра впливає на звуження зони, що піддається пластичним деформаціям. При електродуговому зварюванні нагрівання більш зосереджене, ніж при газовому, тому у першому випадку жолоблення зварної деталі помітно менше, ніж у другому. При зварюванні у вуглекислому газі або під шаром флюсу зварний шов деформується менше, ніж при ручному зварюванні електродом з покриттям, за практично однакової погонної енергії, оскільки зварювання під флюсом або у вуглекислому газі забезпечує більшу швидкість пересування дуги, отже, і менші внутрішні напруження.

Зменшують деформації також попереднє або супутнє нагрівання, оскільки при цьому зменшується перепад температур між ділянками зварюваної деталі, у результаті чого знижуються напруження. При попередньому нагріванні до температури 200 °C зниження залишкових напружень, порівняно зі зварюванням без підігріву, може складати до 30 %. Більш високе нагрівання дає ще більший ефект. Сприятливі результати отримують і у разі супутнього нагрівання. Для зварювання невеликих деталей можна застосувати як супутнє, так і загальне нагрівання. При супутньому нагріванні підігрівають ділянки завширшки 40...50 мм по обидві сторони шва, оскільки підігрівання тільки зварюваних кромки не дає помітного ефекту. При зварюванні із попереднім або супутнім нагріванням наступне відпускання деталей у більшості випадків не потрібне.

Зняття внутрішніх напружень може бути досягнуто, якщо у шві і біляшовній зоні зробити додаткові пластичні деформації куванням у процесі остигання при температурах 450 °C і вище або 150 °C і нижче. У інтервалі температур 200...400 °C метал має знижену пластичність (зона синьоломкості), тому при куванні ділянки зварного з'єднання у цьому температурному діапазоні можливе утворення надривів. Кування можна здійснити вручну молотком із закругленим бойком або, застосовуючи невеликі зусилля, пневматичним молотом. Кування ділянки зварного з'єднання також підвищує витривалість конструкції.

Повне зняття зварювальних напружень здійснюється термічною обробкою, зокрема високим відпуском у режимі 2...3 хв на 1 мм товщини металу при температурі 630...650 °С. Щоб запобігти виникненню напружень знову, охолодження повинно бути повільним. Режим охолодження залежить, головним чином, від хімічного складу зварюваного металу. Зазвичай деталь охолоджують до 300 °С разом з піччю, а потім – на спокійному повітрі. Термічна обробка у печах можлива тільки для невеликих зварних деталей.

Деформацію зварної ділянки можна знизити також охолодженням шва при зварюванні. Зона термічного впливу при цьому стає значно меншою.

Одним із способів зменшення деформації є термічне виправлення ділянки зварного з'єднання нагріванням газокисневим полум'ям або електричною дугою вольфрамовим електродом до температури 750...800 °С. Нагріта ділянка у цьому випадку намагається розширитися, цьому чинить опір холодний метал, котрий оточує її, в результаті чого виникають внутрішні напруження стискування. Після охолодження лінійні розміри нагрітої ділянки зменшується, що спричинює зменшення деформації.

У тих випадках, коли наведені вище способи запобігання деформації недостатні, застосовують механічне виправлення зварних або наплавлених деталей. Деталі із сталі завтовшки менше 3 мм випрямляють ударами молотка. Більш товсті деталі випрямляють під пресом.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Наведіть основні причини деформації деталей при зварюванні.
2. Як впливають фазові перетворення у металі при охолодженні на деформацію зварюваних деталей?
3. Опишіть вплив усадки металу при охолодженні зварного шва на деформацію зварюваних деталей.
4. Назвіть методи запобігання наслідкам усадки при зварюванні.
5. Як запобігають жолобленню деталей при зварюванні?
6. Поясніть суть попереднього і супутнього нагріву зварюваних деталей для запобігання деформаціям при зварюванні.
7. Опишіть процес термічного способу зниження деформацій при зварюванні.
8. Як виправляють зварювальні деформації механічним способом?

## **Глава 16. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

Дефекти в зварних з'єднаннях бувають двох типів: зовнішні і внутрішні. До зовнішніх дефектів відносять напливи, подрізи, зовнішні непровари й несплавлення, поверхневі тріщини і пори (рис. 16.1, а...г); до внутрішніх – приховані тріщини й пори, внутрішні непровари і несплавлення, шлакові включення й ін. (рис. 16.1, д...ж). Якість зварних з'єднань забезпечують попереднім контролем матеріалів і заготовок, поточним контролем за процесом зварювання й приймальним контролем готових з'єднань. Залежно від порушення цілісності зварного з'єднання розрізняють руйнуючі й неруйнуючі методи контролю.

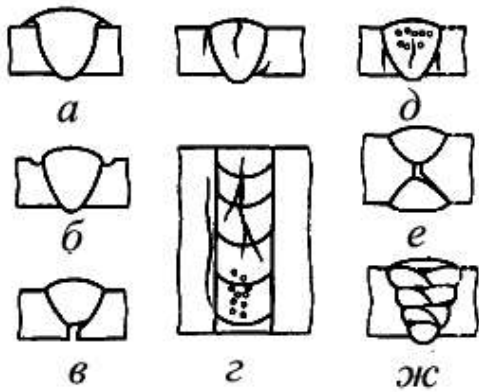


Рис. 16.1. Дефекти зварних з'єднань

заготовок перевіряють, чи відповідають їхня форма й габаритні розміри встановленим, а також контролюють якість підготовки кромки і поверхонь, що з'єднуються. При виготовленні відповідальних конструкцій зварюють контрольні зразки. З них вирізують зразки для механічних випробувань. За результатами випробувань оцінюють якість основного й зварювального матеріалів, а також кваліфікацію зварників, допущених до зварювання таких конструкцій.

При поточному контролі перевіряють дотримання зварниками встановлених параметрів режиму зварювання й справність роботи зварювального встаткування. Оглядають зварні шви для виявлення зовнішніх дефектів і заміряють їхні геометричні розміри. Замічені відхилення усувають безпосередньо в процесі виготовлення конструкції.

Готові зварні з'єднання, залежно від призначення і відповідальності конструкції, піддають п р и й м а л ь н о м у контролю: зовнішньому огляду для виявлення поверхневих дефектів і обмірюванню зварних швів, випробуванням на щільність, магнітному контролю, контролю рентгенівським і гамма-випромінюваннями, ультразвуком для виявлення внутрішніх дефектів.

На щільність випробовують ємності для зберігання рідин, посудини і трубопроводи, що працюють в умовах надлишкового тиску, шляхом гідравлічного й пневматичного навантажень, за допомогою течешукачів і гасу.

При г і д р а в л і ч н о м у випробуванні ємності наповнюють водою, а в посудинах і трубопроводах створюють надлишковий тиск рідини, що перевищує у 1,5...2 рази робочий тиск. У такому стані виріб витримують протягом 5...10 хв. Шви оглядають з метою виявлення течі, крапель і запотівань.

При п н е в м а т и ч н о м у випробуванні в посудини нагнітають повітря під тиском, що на 0,01...0,02 МПа перевищує атмосферний. З'єднання змочують мильним розчином або опускають у воду. Нещільності у швах визначають за виникненням мильних або повітряних пухирців.

При випробуванні за допомогою т е ч о ш у к а ч і в усередині посудини створюють вакуум, а зовні шви обдувають сумішшю повітря з гелієм. За наявності нещільностей гелій проникає у посудину, звідки відсмоктується в течешукач, з'єднаний із спеціальною апаратурою для його виявлення.

При попередньому контролі основного й зварювального матеріалів установлюють, чи задовольняють сертифікатні дані в документах заводів-постачальників вимоги, пропоновані до матеріалів відповідно до призначення й відповідальності зварних вузлів та конструкцій. Оглядають поверхні основного матеріалу, зварювального дроту і покриттів електродів з метою виявлення зовнішніх дефектів. Перед зварюванням

При випробуванні г а с о м шви ємності з однієї сторони змазують гасом, а з іншої – крейдою. За наявності нещільності на поверхні шва, пофарбованого крейдою, з'являються темні плями гасу. Завдяки високій проникній здатності гасу можна виявити пори діаметром кілька мікрометрів.

Магнітний контроль заснований на намагнічуванні зварних з'єднань і виявленні полів магнітного розсіювання на дефектних ділянках. Виріб намагнічують, замикаючи контакти магнітопроводу електромагніта або поміщаючи його всередину соленоїда. На поверхню з'єднання наносять порошок залізної окалини або її масляну суспензію. Виріб злегка обстукують для полегшення рухливості часток порошку. За місцями скупчення порошку виявляють дефекти, що знаходяться на глибині до 6 мм.

Рентгенівський контроль (рис. 16.2, а) заснований на різному поглинанні рентгенівського випромінювання ділянками металу з дефектами й без них. Зварні з'єднання просвічують за допомогою спеціальних рентгенівських апаратів. З однієї сторони шва 3 на деякій відстані від нього поміщають рентгенівську трубку 1, з іншої (протилежної) сторони до нього щільно притискують касету 4 з рентгенівською плівкою.

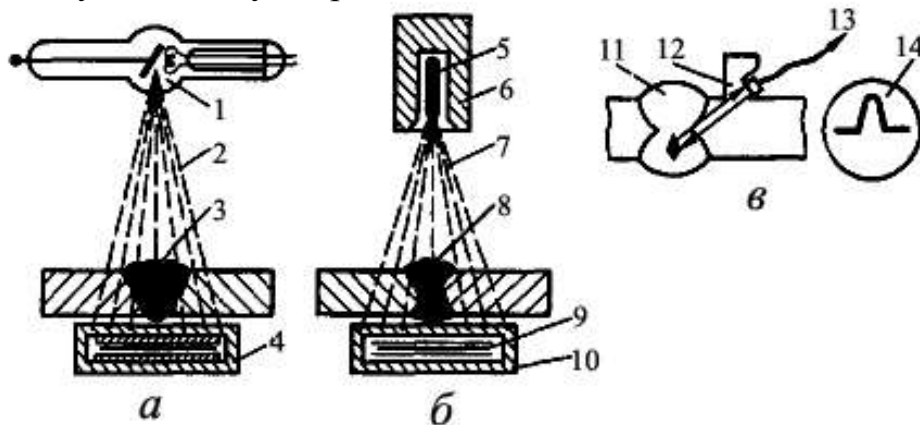


Рис. 16.2. Схеми приймального контролю:

а – рентгенівський; б – просвічування гамма-променями; в – ультразвуковий

Рентгенівське випромінювання 2, проходячи через зварне з'єднання, опромінює плівку. Для скорочення експозиції просвічування в касету із плівкою закладають посилюючі екрани. Після проявлення плівки на ній фіксують ділянки підвищеного потемніння, котрі відповідають дефектним місцям у зварному з'єднанні. Вид і розмір дефектів визначають, порівнюючі плівку з еталонними знітками.

Застосовувані в промисловості рентгенівські апарати дозволяють просвічувати зварні з'єднання зі сталі товщиною 10...200 мм, алюмінію – до 300 мм, міді – до 25 мм. При цьому фіксують дефекти, розміри яких становлять 2 % від товщини металу.

При контролі зварних з'єднань гамма-випромінюванням джерелом випромінювання слугують радіоактивні ізотопи: кобальт-60, тулій-170, іридій-192 та ін. Ампулу з радіоактивним ізотопом 5 поміщають у свинцевий контейнер 6 (див. рис. 16.2, б). Техніка просвічування зварних з'єднань 8 гамма-випромінюванням 7 аналогічна рентгенівському контролю.

Цим способом виявляють подібні внутрішні дефекти за потемнінням ділянок плівки 9, яка поміщена у касеті 10.

Контроль гамма-випромінюванням, порівняно з рентгенівським, має такі переваги. Завдяки портативності апаратури його можна застосовувати в будь-яких умовах (у цехах, польових умовах, на монтажі й т. п.). Крім того, контроль гамма-випромінюванням менш дорогий спосіб. Недоліком його є низька чутливість при просвічуванні малих товщин (до 50 мм). Для більших товщин його чутливість така ж, як у рентгенівського методу.

Ультразвуковий контроль (див. рис. 16.2, в) заснований на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від поверхні розділу двох середовищ. За допомогою п'єзометричного щупа 12 ультразвукового дефектоскопа 13, який поміщується на поверхню зварного з'єднання, у метал 11 посиляють ультразвукові коливання. Ультразвук уводять у виріб окремими імпульсами під кутом до поверхні металу. При зустрічі з поверхнею дефекту виникає відбита ультразвукова хвиля. У перервах між імпульсами щуп слугує приймачем відбитого від дефекту ультразвуку. Дефект у з'єднанні у вигляді піка 14 фіксується на екрані осцилографа або монітора комп'ютера.

Промислові ультразвукові дефектоскопи дозволяють виявляти дефекти на глибині 1...250 мм. При цьому можна виявляти дефекти з мінімальною площею (1...2 мм<sup>2</sup>). За допомогою ультразвукового методу можна виявити наявність дефекту й місце його розташування.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Які основні дефекти зварних швів?
2. Назвіть зовнішні дефекти зварних швів.
3. Які дефекти зварних з'єднань відносять до внутрішніх?
4. У чому полягає суть попереднього контролю зварних швів?
5. Що перевіряється при поточному контролі зварних з'єднань?
6. Які параметри зварного з'єднання перевіряються у процесі приймального контролю?
7. Назвіть основні методи приймального контролю зварних з'єднань.
8. Які зварні з'єднання перевіряють на щільність шва?
9. Які засоби і обладнання застосовують для гідравлічного і пневматичного контролю?
10. Опишіть технологію магнітного контролю.
11. Наведіть послідовність і опишіть технологію рентгенівського контролю.
12. Опишіть технологію і обладнання для контролю гамма-випромінюванням.
13. Як здійснюється ультразвуковий контроль зварних з'єднань?

## **Глава 17. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ І НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ**

### **§ 17.1. Присадні матеріали і електроди для зварювання**

У зварюванні та наплавленні деталей застосовуються присадні матеріали і електроди для електродугового зварювання. Застосування якісних електродів обов'язкове при виготовленні конструкцій, які зазнають дію динамічних навантажень, і для зварювання конструкцій, що працюють в умовах високого тиску і температури або агресивного середовища.

П р и с а д н и й м е т а л призначений для введення в зварювальну ванну додатково до розплавленого основного металу. Присадний метал може бути у вигляді дроту, прутків або смуг, нарізаних із металу того ж або близького хімічного складу, що й метал, який зварюється. Присадний метал перед зварюванням необхідно старанно очистити від масла, фарби та іржі. Як присадний метал у газовому зварюванні застосовують сталевий зварювальний дріт, чавунні прутки для газового зварювання чавуну, дріт і прутки із кольорових металів і сплавів. При зварюванні дріт повинен плавитись без розбризкування і не спричинювати кипіння зварювальної ванни.

Електроди для дугового зварювання сталей виготовляють із сталевого зварювального дроту підвищеної якості.

У зварних роботах застосовують вугільні, графітні та металеві електроди. Вугільні і графітні електроди випускаються у вигляді стержнів діаметром 4...18 мм і довжиною 250 і 700 мм. Металеві електроди при ручному зварюванні застосовують у вигляді стержнів діаметром 1,6...12 мм і довжиною 150...450 мм. У випадку виконання зварювання на автоматах як електроди використовують дріт у мотках вагою до 80 кг.

Розрізняють голі, тонко і товсто покриті електроди. Електродний дріт без покриття застосовують тільки для виконання робіт на зварювальних автоматах.

Для стабільного горіння дуги, захисту розплавленого металу від впливу повітря і отримання металу шва заданої якості на електродні стержні наносять п о к р и т т я, складовими яких є такі речовини:

- стабілізуючі (сполуки калію, натрію, кальцію), які у дузі легше іонізуються, ніж кисень і азот повітря;
- шлакоутворюючі (оксиди  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $MnO$  і карбонати  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ );
- газоутворюючі органічні сполуки, наприклад, електродна целюлоза;
- розкислюючі (марганець, титан, кремній та ін.);
- легуючі елементи (хром, марганець, вольфрам, молібден та ін.);
- зв'язуючі (рідке скло).

Електроди з тонким шаром покриття (до 0,1...0,2 мм на сторону стержня), яке забезпечує лише стабілізацію горіння дуги, застосовують у виготовленні неголовних конструкцій. Найбільш широко при ручному зварюванні застосовують електроди з якісними захисними або захисно-легуючими покриттями спеціально підбраного складу. Покриття наноситься товстим шаром (не менше 0,5 мм) на електродні стержні.

За призначенням електроди поділяють на 5 класів:

- для зварювання вуглецевих і низьковуглецевих сталей з  $\sigma_A \leq 600$  МПа (умовне позначення електродів – У);
- для зварювання легованих конструкційних сталей з  $\sigma_A \geq 600$  МПа (умовне позначення електродів – Л);
- для зварювання легованих жароміцних сталей (умовне позначення електродів – Т);
- для зварювання високолегованих сталей (умовне позначення електродів – В);



– для наплавлення поверхневих шарів з особливими якостями (умовне позначення електродів – Н).

Електроди для зварювання конструкційних сталей поділяють на типи: Э-38, Э-42, ..., Э-150. Цифри означають напруження тимчасового опору  $\sigma_A$  наплавленого металу в  $10^{-1}$  МПа. У позначення типів електродів для зварювання жароміцних та високолегованих сталей і для наплавлення входить марочний склад наплавленого металу (Э-09МХ, Э-10Х5МФ, Э-08Х20Н9Г2Б та ін.). Буква Э означає: електроди для ручного дугового зварювання і наплавлення, дві або три цифри, наступні за буквою, показують середній вміст вуглецю в наплавленому металі у сотих частках відсотка. Інші букви і цифри позначають те ж саме, що і в марках легованих сталей.

За видами покриття електроди поділяють на електроди з кислим, рутіловим, основним та целюлозним покриттям.

**Кислі покриття** (умовне позначення – А) мають шлакову основу, яка складається із руди заліза та марганцю ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ), польового шпату ( $\text{SiO}_2$ ), феромарганцю ( $\text{FeMn}$ ) та інших компонентів. Електроди мають хороші зварювально-технологічні властивості, дозволяють вести зварювання в усіх просторових положеннях змінним та постійним струмами. Їх застосовують для зварювання низьковуглецевих та низьколегованих сталей, у тому числі металу з іржавими кромками і окалиною. Однак такі електроди токсичні, вони виділяють з'єднання марганцю, тому використання їх скорочується.

**Рутілові покриття** (Р) складаються із рутілового концентрату ( $\text{TiO}_2$ ), польового шпату, мармуру ( $\text{CaCO}_3$ ), феромарганцю та інших компонентів. Вони мають високі зварювально-технологічні властивості. Їх застосовують для зварювання особливо важливих конструкцій із низьковуглецевих та низьколегованих сталей.

**Основні покриття** (Б) містять мармур, магнезит ( $\text{MgCO}_3$ ), плавиковий шпат ( $\text{CaF}_2$ ), феросиліцій ( $\text{FeSi}$ ), феромарганець, феротитан ( $\text{FeTi}$ ) та інші компоненти. Зварювально-технологічні властивості обмежені. Зварювання виконують зазвичай постійним струмом зворотної полярності, метал шва здатний утворювати пори за наявності іржі на зварювальних кромках, тому необхідне високотемпературне прогартовування ( $400\text{...}450$  °С) перед зварюванням. Електроди з основним покриттям використовують для зварювання особливо важливих конструкцій із сталей всіх класів.

**Целюлозне покриття** (Ц) містить целюлозу та інші органічні речовини з невеликою кількістю шлакоутворюючих компонентів. Вони створюють хороший газовий захист і утворюють малу кількість шлаку. Особливо придатні для зварювання на монтажі в любых просторових положеннях змінним та постійним струмами. Їх застосовують для зварювання низьковуглецевих та низьколегованих сталей.

Якщо в складі покриття є залізний порошок в кількості більше 20 %, то до позначення виду покриття електродів додається буква Ж. Умовне позначення П – до інших видів покриття.

За товщиною покриття, залежно від відношення діаметра покритого електрода  $D$  до діаметра зварювального дроту  $d$ , розрізняють електроди: М – з тонким покриттям ( $D/d = 1,2$ ); С – з середнім покриттям ( $1,2 < D/d \leq 1,45$ ); Д – з товстим покриттям ( $1,45 < D/d \leq 1,8$ ); Г – з особливо товстим покриттям ( $D/d > 1,8$ ).

За допустимими просторовими положеннями зварювання або наплавлення електроди поділяються: 1 – для всіх положень; 2 – для всіх положень, крім вертикального зверху-вниз; 3 – для нижнього, горизонтального на вертикальній площині і вертикального зверху-вниз; 4 – для нижнього.

Колір верхніх торців металевих електродів різних груп такий:

- червоний – електроди загального призначення для зварювання вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей;
- синій – електроди для зварювання теплостійких сталей;
- жовтий – електроди для зварювання корозійностійких, жаростійких та жароміцних сталей і сплавів;
- бузковий – електроди для зварювання високоміцних середньо-легованих сталей;
- жовтогарячий – електроди для наплавлення на деталі;
- зелений – електроди для зварювання і наплавлення чавуну;
- сірий – електроди для зварювання кольорових металів.

## § 17.2. Флюси і захисні гази

Флюси слугують для ізолювання зварювальної ванни від атмосфери повітря, вони забезпечують стійке горіння дуги, формування поверхні шва і отримання заданих складу та властивостей наплавленого металу. Щільний флюсовий захист зварювальної ванни запобігає розбризкуванню та угару розплавленого металу. Флюси класифікують за призначенням, хімічним складом і способом виготовлення.

За призначенням їх поділяють на флюси для зварювання низьковуглецевих та низьколегованих сталей, легованих і високолегованих сталей.

Флюси для зварювання низьковуглецевих та низьколегованих сталей призначені для розкислення шва і легування його марганцем та кремнієм. Для цього застосовують плавлені висококремністі марганцеві флюси. Їх шлаки мають високий вміст  $\text{SiO}_2$  та  $\text{MnO}$ . Флюси виготовляють шляхом сплавлювання в електропечах марганцевої руди, кремнезему, плавикувального шпату.

Флюси для зварювання легованих та високолегованих сталей повинні забезпечувати мінімальне окислення легуючих елементів у шві. Для цього застосовують плавлені і керамічні низькокремністі, безкремністі та фторидні флюси. Їх шлаки мають високий вміст  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaF}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Плавлені флюси виготовляють із плавикувального шпату, алюмосилікатів, алюмінатів шляхом сплавлювання в електропечах. Їх шлаки мають основний характер. Керамічні флюси виготовляють із порошкоподібних компонентів шляхом замішування їх на рідкому склі, гранулювання та наступного прожарювання. Основу

керамічних флюсів складає мармур, плавиковий шпат і хлориди лужноземельних металів. До них також входять феросплави сильних розкислювачів (кремнію, титану, алюмінію), легуючих елементів та чисті метали. Шлаки керамічних флюсів мають основний або пасивний характер і забезпечують заданий вміст легуючих елементів у металі шва.

При зварюванні в захисному газі електрод, зона дуги і зварювальна ванна захищені струменем захисного газу. Як захисні гази застосовують інертні гази (аргон і гелій) і активні гази (вуглекислий газ, азот, водень та інші), іноді – суміші двох або більше газів. Найбільше застосовують аргон Ar та вуглекислий газ CO<sub>2</sub>.

Аргон – це газ без кольору, в 1,38 разу важчий, ніж повітря, нерозчинний у рідких та твердих металах. Поставляють і зберігають аргон у сталевих балонах у газоподібному стані під тиском 15 МПа.

Вуглекислий газ – газ без кольору, із слабким запахом, у 1,52 разу важчий, ніж повітря, нерозчинний у твердих і рідких металах. Випускають вуглекислий газ зварювальний, харчовий і технічний. Для зварювання газ постачають і зберігають у сталевих балонах у зрідженому стані під тиском 7 МПа.

Зварювання сталей часто виконують в суміші Ar + 5 % O<sub>2</sub>. Кисень зменшує поверхневий натяг розплавленого металу, що сприяє зниженню критичної густини струму, за якої крапельне перенесення металу переходить в струминне. Одночасно підвищується стійкість горіння дуги при відносно невеликих струмах, що полегшує зварювання металу малої товщини.

Часто застосовують суміш CO<sub>2</sub> + 10 % O<sub>2</sub>. Кисень виконує ту ж саму функцію, що і при додаванні в аргон.

Аргонодугове зварювання застосовують для кольорових (алюмінію, магнію, міді) та тугоплавких (титану, ніобію, ванадію, цирконію) металів і їх сплавів, а також легованих і високолегованих сталей.

У вуглекислому газі зварюють конструкції із вуглецевої та низьколегованої сталей (газо- і нафтопроводи, корпуси суден та ін.). Перевага напівавтоматичного зварювання в CO<sub>2</sub> з погляду на продуктивність часто є головним аргументом для заміни нею ручного дугового зварювання покритими електродами.

### § 17.3. Горючі гази для зварювальних робіт

Як горючі гази застосовують природні гази, водень, пари бензину та гасу, нафтові гази та інші. Такі горючі гази можуть використовуватись, головним чином, для кисневого різання, яке не вимагає високої температури полум'я. Для газового зварювання застосовують ацетилен, тому що він має більшу теплоту згоряння, порівняно з іншими горючими газами, і високу температуру полум'я.

Ацетилен є основним горючим газом для газового зварювання й різання металів, температура його полум'я при згорянні в технічно чистому кисні досягає 3150 °С. Ацетилен (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) являє собою хімічну сполуку вуглецю і водню, його одержують в спеціальних апаратах-газогенераторах у результаті взаємодії води з карбідом кальцію:



Після розкладу 1 кг карбїду кальцію утворюється 250...300 дм<sup>3</sup> ацетилену, який є вибухонебезпечним при надмірному тиску вище 0,175 МПа, добре розчиняється в ацетоні. В одному об'ємі ацетону під тиском 0,15 МПа розчиняється 23 об'єми ацетилену. Ця властивість використовується для його безпечного зберігання в балонах.

Ацетиленові балони фарбують у білий колір і роблять на них червоною фарбою напис "Ацетилен". У балоні знаходиться пориста маса (активоване вугілля) і ацетон. Розчинення ацетилену в ацетоні дозволяє утримувати в малому об'ємі велику кількість ацетилену і робить його безпечним.

Технічний ацетилен містить домішки (сірководень, аміак, фосфористий водень та ін.), які надають йому різкого характерного запаху, з підвищенням тиску та температури можливий розпад ацетилену з вибухом. Тому, отримуючи ацетилен, обмежують тиск і температуру (не більше 1,5 МПа і +80 °С). Ацетилен може утворювати вибухонебезпечні хімічні з'єднання з міддю та сріблом. Тому в апаратурі для отримання ацетилену забороняється використовувати припої і сплави, які містять більше 70 % міді або срібла.

Крім ацетилену, для зварювання й різання металів застосовують інші, більш дешеві й менш дефіцитні горючі гази й пару горючих рідин: водень, коксовий газ, пропан-бутанові суміші, бензин, гас тощо.

Основна область застосування газів-замінників – кисневе різання, однак, в останні роки їх широко застосовують у інших видах газополум'яної обробки металів – пайці, наплавленні, газополум'яному загартуванні, металізації, зварюванні кольорових металів і сплавів.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Які присадкові матеріали та електроди використовують у електродуговому зварюванні?
2. Для чого призначені покриття електродів для дугового зварювання? Назвіть типи покриттів електродів.
3. Як маркують електроди для дугового зварювання:
  - вуглецевих та низьколегованих сталей;
  - легованих та жароміцних сталей?
4. На які групи поділяють електроди, залежно від товщини покриття?
5. Наведіть класифікацію електродів, залежно від типу покриття.
6. Яка роль належить флюсам у зварювальних роботах?
7. Опишіть технологію виготовлення плавлених і керамічних флюсів.
8. Які гази використовують для захисту зварювальної ванни при автоматичному зварюванні?
9. З якою метою використовують суміші захисних газів із киснем?
10. Як отримують і зберігають ацетилен, що використовується у газовому зварюванні і різанні металів?
11. За якого максимального тиску допускається зберігати ацетилен, щоб запобігти його вибуху?
12. Які гази і рідини використовують як замітники ацетилену при газовому зварюванні і різанні?

## **Розділ IV. ПАЯННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ**

### **Глава 18. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПАЯННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ**

#### **§ 18.1. Місце і значення паяння у сучасному виробництві**

Бурхливий розвиток техніки в різних галузях промисловості обумовив широке застосування паяння, насамперед, у машинобудуванні, електроніці і електротехнічній промисловості. Технологія паяння істотно відрізняється від технології зварювання плавленням і зварювання тиском і вимагає спеціальних технологічних та допоміжних матеріалів і оснащення.

Сьогодні паяння разом зі зварюванням є одним з найпоширеніших способів одержання нерознімних з'єднань у сучасному виробництві.

Найважливіша позитивна якість паяння – формування паяного шва за температури нижче, ніж температура плавлення металів, що з'єднують.

Це дає можливість вести процес в умовах загального нагріву й дозволяє:

- здійснювати групове паяння, його механізацію й автоматизацію, що забезпечує високу продуктивність процесу у великосерійному і масовому виробництві;

- одержувати з'єднання у важкодоступних місцях виробів, виготовляти тонкостінні вироби, підвищувати коефіцієнт використання матеріалу й знижувати металоємність виробів;

- з'єднувати різномірні металеві й неметалеві матеріали із меншою рівноцінністю деталей, ніж при зварюванні плавленням;

- вибрати температуру процесу залежно від необхідності збереження механічних властивостей матеріалів виробу; можливість поєднувати нагрівання під паяння з термообробкою та виконувати ступінчасте паяння;

- забезпечувати плавність галтельних ділянок шва, отже, і високу міцність та їх надійність в умовах вібраційних і знакозмінних навантажень;

- роз'єднувати деталі й складальні одиниці шляхом розпаювання за температури, нижчої, ніж температура плавлення матеріалу, що паяють, і ремонтувати вироби в польових умовах.

## § 18.2. Фізична суть отримання паяного шва

Паянням називають створення з'єднання з міжатомними зв'язками шляхом нагріву з'єднуваних матеріалів нижче температури їх плавлення, змочування їх припоєм, затікання припою в зазор і наступної його кристалізації.

За характером затікання припою в зазор розрізняють:

- капілярне паяння, при якому ширина зазору в шві  $< 0,5$  мм, а припій заповнює зазор мимовільно під дією капілярних сил;

- некапілярне паяння, при якому ширина зазору в шві  $\geq 0,5$  мм, а припій заповнює зазор під дією сил гравітації, розрядження в зазорі (наприклад, при відкачуванні повітря із зазору), електромагнітних сил тощо.

За механізмом створення шва капілярне паяння поділяють на:

- паяння з готовим припоєм, при якому припій заповнює зазор між деталями, а з'єднання створюється за рахунок розчинення основи у рідкому припої і наступної кристалізації розчину під час охолодження (рис. 18.1);

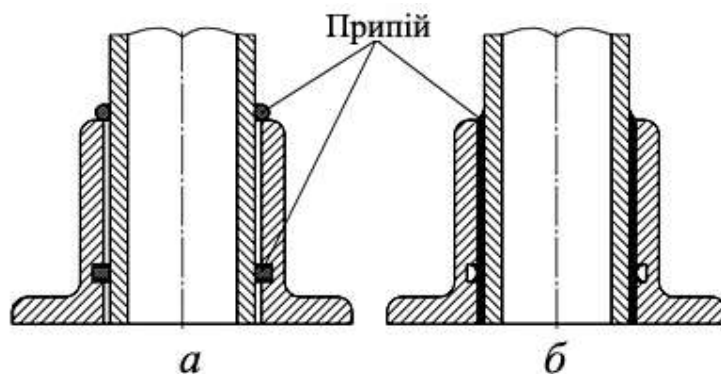


Рис. 18.1. Схема капілярного паяння:  
*а* – перед його початком; *б* – після закінчення

– **дифузійне паяння**, при якому з'єднання створюється за рахунок взаємної дифузії компонентів припою і матеріалів, що паяють. Для такого паяння необхідна довга витримка при температурі створення паяного шва, а після завершення процесу – при температурі нижче солідуса припою;

– **контактно-реактивне паяння**, при якому між металами, які з'єднують (або між металами, які з'єднують, і прошарком проміжного матеріалу), в результаті контактного плавлення створюється сплав, який заповнює зазор і у процесі кристалізації створює паяне з'єднання (рис. 18.2);

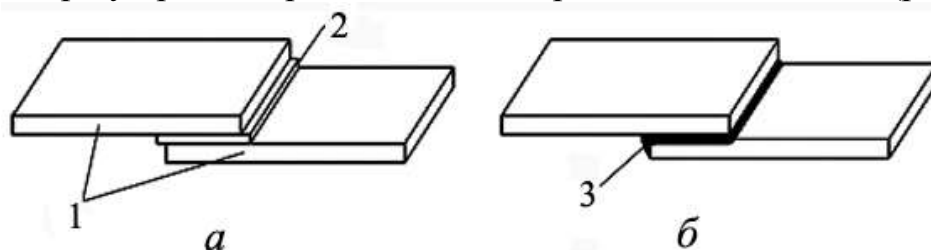


Рис. 18.2. Схема контактно-реактивного паяння:

*а* – перед його початком; *б* – після закінчення;

(1 – мідь; 2 – срібло; 3 – евтектичний сплав міді зі сріблом)

– **реактивно-флюсове паяння**, при якому припій створюється за рахунок реакції витиснення між основним матеріалом і флюсом; наприклад, при паянні алюмінію з флюсом  $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$  відновлений цинк слугує припоєм.

Зазор між з'єднуваними кромками деталей повинен бути мінімальним для того, щоб поліпшити затікання припою під дією капілярних сил і збільшити міцність з'єднання.

Наприклад, для срібних припоїв встановлюють зазор до 0,05 мм, а для міді – до 0,012 мм. Для доброго змочування поверхонь припоєм застосовують механічне очищення, обезжирення гарячим лугом, трихлоретиленом, чотирихлористим вуглецем.

До некапілярних видів паяння відносять:

– **паяння-зварювання**, при якому з'єднання створюється так само, як і при зварюванні плавленням, але як присадний матеріал використовують припій (рис. 18.3);

– зварювання-паяння, при якому з'єднують різноманітні матеріали із застосуванням місцевого нагрівання, коли більш легкоплавкий матеріал нагрівається до температури плавлення і виконує роль припою.

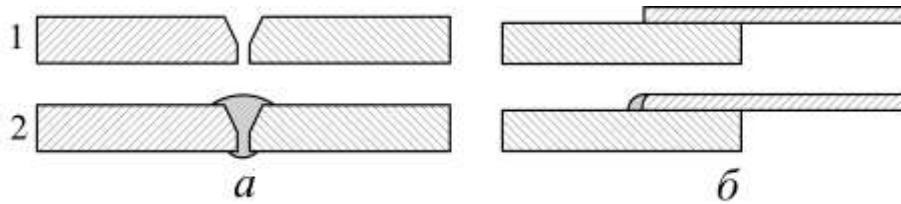


Рис. 18.3. Схема паяння-зварювання:

*а* – без оплавлення кромки деталей; *б* – з оплавленням кромки однієї деталі  
(1 – до паяння; 2 – після паяння)

Таким чином, у кожному випадку для створення паяного шва необхідно нагріти метал, який паяють, і припій до температури плавлення припою або до такої температури, за якої відбувається розплавлення припою в результаті взаємодії його з матеріалом, який паяють. Зазвичай температура плавлення припою повинна бути нижчою, ніж температура плавлення металу, що паяють.

Паянню піддаються всі вуглецеві та леговані сталі, тверді сплави, чавун, мідь, нікель, алюміній та інші метали і сплави.

### § 18.3. Способи паяння

Існує велика кількість різноманітних способів паяння і велика кількість ознак, за якими їх класифікують, але найважливішою є класифікація способів паяння за методом нагрівання деталей, які паяють, та припоїв, тому розглянемо саме її.

При паянні в печах заготовки, які з'єднують, нагрівають у спеціальних печах. Припій заздалегідь закладають на місце майбутнього шва, на місце паяння наносять флюс, а потім, при нагріванні у печі, припій розплавляється і заповнює зазори між заготовками. Процес паяння продовжується декілька годин і забезпечує рівномірне нагрівання і відсутність деформацій деталей.

При індукційному паянні деталі, які паяють, нагрівають у індукторі за допомогою струму високої частоти, який пропускають через індуктор. Для запобігання окисленню нагрів здійснюють у вакуумі або у захисному середовищі із застосуванням флюсів. Форма і розміри залежать від конструкції виробу.

Паяння зануренням виконують у ваннах з розплавленими солями або припоями. Соляна суміш ванни зазвичай складається з 55 % KCl і 45 % NaCl. Кромки деталей очищують від окислів і забруднень, на місце шва наносять припій, деталі скріплюють і занурюють у ванну. Сіль запобігає окисленню місця паяння.

Перед зануренням у ванну з розчиненим припоєм покриті флюсом деталі попередньо нагрівають до температури 550 °С. Поверхні, які не підлягають



паянню, покривають спеціальною обмазкою із графіту з вапном. Цим способом паяють деталі складної геометричної форми. Недолік такого паяння – велика витрата припою.

При газополум'яному паянні заготовки і припій розігрівають газозварювальними пальниками або паяльними лампами. У разі паяння пальниками використовують ацетилен, природні гази, водень, пару бензину, гасу та ін. Припій наносять заздалегідь або вводять у процесі паяння. Флюс на місця паяння і прутки припою наносять у вигляді рідкої пасти, розчиненої водою або спиртом. Плазмовими пальниками паяють тугоплавкі метали: вольфрам, тантал, молібден, ніобій та ін.

При паянні паяльниками основний метал нагрівають, а припій розплавляють теплотою, акумульованою в масі паяльника, який перед паянням або в процесі його підігрівають. Для низькотемпературного паяння застосовують паяльники з періодичним нагріванням, з безперервним нагріванням та ультразвукові. Робочу частину паяльника виготовляють із червоної міді. Паяльник з періодичним нагріванням в процесі роботи підігрівають від стороннього джерела теплоти, а паяльники з постійним нагріванням є електричними. Зазначеними паяльниками виконують флюсове паяння чорних і кольорових металів легкоплавкими припоями з температурою плавлення нижче 300...500 °С.

Ультразвукові паяльники використовують для безфлюсового паяння на відкритому повітрі і для паяння алюмінію. Окисні плівки руйнуються за рахунок коливань ультразвукової частоти.

#### § 18.4. Типи паяних з'єднань

При застосуванні вказаних вище засобів паяння отримують основні типи паяних з'єднань, які наведені на рис. 18.4.

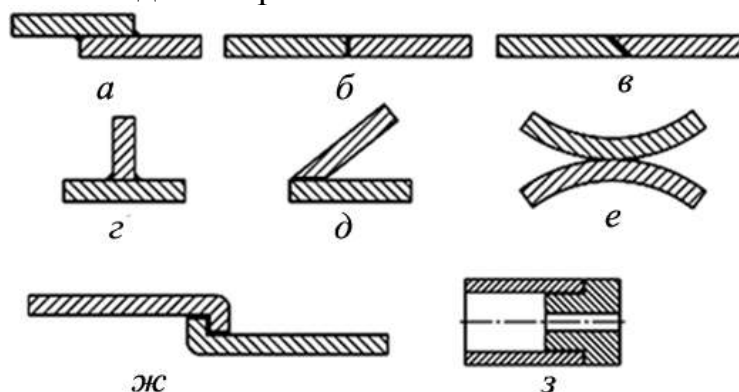


Рис. 18.4. Основні типи паяних з'єднань

Для забезпечення експлуатаційних характеристик паяного виробу, насамперед, необхідні висока якість і надійність паяного з'єднання, яке за несприятливих умов може перетворитися на “слабку ланку” паяної конструкції. При цьому найважливішу роль відіграє правильний вибір типу паяного з'єднання і сумісність його з технологічним процесом, тобто зі способом паяння, технологічними й допоміжними матеріалами і його оснащенням.

Тип паяного з'єднання визначається розташуванням деталей, що з'єднують. У випадку розташування деталей внапусток (див. рис. 18.4, *a*), впритул (див. рис. 18.4, *b*) або у косий стик (див. рис. 18.4, *в*) поверхня спаю паралельна їхньої осьової лінії. Зазначені типи паяних швів використовують для паяння деталей, що продовжують одна іншу. Такі види з'єднань застосовуються особливо широко.

З'єднання у косий стик зазвичай застосовують для паяння труб і листів товщиною більше 1 мм, а також бокових стінок посудин із вставленими днищами.

Деталі, що перетинаються, можуть бути запаяні в тавр (рис. 18.4, *г*) або в кут (рис. 18.4, *д*). При цьому поверхня спаю розташована під кутом до осьової лінії деталей або паралельно однієї з них і перпендикулярно до іншої.

Дотичні деталі паяють уздовж лінії торкання або в точці дотику (рис. 18.4, *e*). Поверхня спаю у всіх розглянутих типах з'єднань може бути плоскою або криволінійною.

Паяні шви можуть бути замкнутими й незамкнутими. З'єднання з незамкнутими паяними швами називають пластинчастими (рис. 18.4, *ж*).

Із трубчастих з'єднань із замкнутим швом частіше інших застосовують телескопічні, що являють собою з'єднання внапусток деталей, які продовжують одна іншу. Особливо широке застосування одержало паяння труб різного діаметра: по внутрішній поверхні труби більшого діаметра та по зовнішній поверхні труби меншого діаметра (рис. 18.4, *з*).

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Дайте визначення процесу паяння.
2. У чому переваги процесу паяння, порівняно зі зварюванням?
3. Поясніть фізичну суть процесу:
  - капілярного паяння;
  - некапілярного паяння.
4. Назвіть основні типи капілярного паяння.
5. Які типи некапілярного паяння застосовуються для отримання паяних з'єднань?
6. Опишіть особливості процесу паяння:
  - в печах;
  - індукційного паяння;
  - паяння зануренням;
  - газополум'яного паяння;
  - паяння при нагріванні пальниками;
  - паяння при нагріванні паяльниками.
7. Назвіть основні типи паяних з'єднань.
8. Які типи паяних з'єднань використовуються для з'єднання труб різного діаметра?

## **Глава 19. МАТЕРІАЛИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ПАЯННЯ**

### **§ 19.1. Припої**

Якість паяння, разом з іншими факторами, значно залежить від припою, до якого висувають такі вимоги:

- температура плавлення припою повинна бути нижчою, ніж температура плавлення металів, що з'єднують;
- припій повинен мати добру рідкотекучість, змочувати поверхні з'єднуваних металів, розтікатися по них, проникати у вузькі зазори;
- корозійна стійкість припою, паяних швів і основного металу має бути однакою, щоб уникнути утворення мікрогальванічних пар;
- припій не повинен значно знижувати міцність та пластичність металів, що з'єднують, а також не повинен сприяти їх крихкому руйнуванню.

У паянні можуть використовуватись готові припої і такі, що створюються під час паяння.

Готові припої залежно від температури плавлення поділяють на п'ять груп:

- особливолегкоплавкі ( $t_{\text{пл}} \leq 145 \text{ } ^\circ\text{Ñ}$ );
- легкоплавкі ( $145 \text{ } ^\circ\text{Ñ} < t_{\text{пл}} \leq 450 \text{ } ^\circ\text{Ñ}$ );
- середньоплавкі ( $450 \text{ } ^\circ\text{Ñ} < t_{\text{пл}} \leq 1100 \text{ } ^\circ\text{Ñ}$ );
- високоплавкі ( $1100 \text{ } ^\circ\text{Ñ} < t_{\text{пл}} \leq 1850 \text{ } ^\circ\text{Ñ}$ );
- тугоплавкі ( $t_{\text{пл}} \geq 1850 \text{ } ^\circ\text{Ñ}$ ).

Найбільше поширені у машинобудуванні легкоплавкі припої, частіш за все олов'яно-свинцеві, які позначаються буквами ПОС і цифрою, що характеризує частку маси у відсотках олова в ньому, наприклад, ПОС-30, ПОС-40, ПОС-61. Для підвищення міцності у такі припої додають Cu, Ni, Mg, Zn, для підвищення змочувальної здатності і легкоплавкості додають Bi та Zn. Інтервал температур плавлення цих припоїв 183...238 °С.

Також часто застосовуються середньоплавкі припої на основі срібла з температурою плавлення 600...950 °С, які у більшості випадків містять також мідь Ag–Cu (ПСр-92, ПСр-72, ПСр-71, ПСр-50), цинк Ag–Cu–Zn (ПСр-25, ПСр-45) та ін. Такі припої використовують в електронній і приладобудівній промисловості, оскільки срібло забезпечує добру електропровідність і корозійну стійкість.

До припоїв, що створюються під час паяння, відносять:

- контактено-реактивні припої, що отримують при контактено-реактивному плавленні матеріалу, який паяють з контактними прокладками або між собою (див. рис. 18.2);
- контактні твердогазові припої, які створюються в результаті плавлення металу, що паяють, у парі металів і неметалів, які знаходяться у атмосфері печі;
- реактивно-флюсові, які створюються витисненням металів із компонентів реактивних флюсів.

## § 19.2. Флюси для паяння

Флюси застосовують у паянні для розчинення та вилучення окислів і забруднень з поверхні металу, захисту металу від окислення, зменшення поверхневого натягу, покращення змочуваності і розтікання припою.

Щоб забезпечити високу якість паяного з'єднання, флюси повинні мати такі властивості:

- бути легше за припій, створювати з ним два шари, які не змішуються;
- мати температуру активної дії дещо вищу, ніж температура плавлення флюсу, але нижчу, ніж температура плавлення припою;
- знижувати поверхневий натяг рідкого припою і покращувати його розтікання вздовж поверхні, що піддається паянню;
- по можливості не містити дорогих компонентів.

Як флюси у паянні використовують суміші легкоплавких солей або оксидів, які мають температуру плавлення нижчу, ніж температура плавлення припою, а іноді й газу, які відновлюють оксиди, наприклад, водень, боровміщуюча пара та ін.

Флюси класифікують за трьома ознаками.

1. Температурний інтервал їх активності: низькотемпературні (до 450 °С) і високотемпературні (вище 450 °С).

2. Природа розчинника: полярні (вода, солі неорганічних кислот); неполярні (жири, масла, етиловий спирт, каніфоль, стеарин, органічні кислоти та ін.).

3. Природа активаторів: високотемпературні флюси (галогенідні, фтороборидні, боридно-вуглекислі); низькотемпературні (каніфольні, кислотні, галогенідні, гідразивні, анілінові, стеаринові та ін.).

Всі наведені флюси за їх призначенням і природою основного активатора можна поділити на чотири основних групи:

1) флюси на основі з'єднань бора, які застосовують у паянні чорних і багатьох кольорових металів;

2) флюси на основі фторидів, що використовують у паянні таких металів і сплавів, для яких боридні флюси недостатньо активні;

3) флюси на основі хлоридів використовуються у паянні алюмінію і його сплавів, а також сплавів на основі магнію; водні розчини хлористого цинку (“травлена” соляна кислота) мають високу хімічну активність і використовуються у низькотемпературному паянні сталей, нікелю, міді та її сплавів;

4) флюси на основі органічних з'єднань (каніфолі, стеарину та ін.) застосовують для низькотемпературного паяння міді та сплавів на її основі і як виняток для низьковуглецевих сталей.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Які вимоги висувають до готових припоїв?
2. Наведіть класифікацію готових припоїв залежно від температури плавлення.
3. Схарактеризуйте і наведіть приклади легкоплавких і середньоплавких припоїв.
4. Наведіть приклади припоїв, що створюються під час паяння.
5. З якою метою використовуються флюси у паянні?
6. Які властивості повинні мати флюси?

7. Наведіть класифікацію флюсів:
- за температурним інтервалом їх активності;
  - за природою основного активатора.
8. Для паяння яких металів і сплавів використовуються флюси:
- боридні;
  - фторидні;
  - хлоридні;
  - на основі органічних з'єднань?

## **Глава 20. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ПАЯННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЇХ РЕМОНТІ І ВІДНОВЛЕННІ**

### **§ 20.1. Обладнання для паяння**

Технологічне оснащення для паяння включає нагрівальне обладнання, інструмент та засоби механізації, автоматизації і роботизації. Основні вимоги до оснащення, що використовують для паяння – забезпечення вибраного термічного режиму паяння і максимальна економічність.

У сучасному паяльному виробництві застосовують різноманітне нагрівальне обладнання, що дозволяє виконувати з'єднання заготовок із вуглецевих і легованих сталей всіх марок, сірих і ковких чавунів, всіх кольорових металів і їх сплавів.

Електропечі опору – найбільш поширений вид нагрівального обладнання для паяння. Їх поділяють за такими ознаками:

- за родом роботи (печі періодичної і безперервної дії);
- за типом атмосфери у робочому просторі (печі з окислювальним робочим середовищем, печі з атмосферою, яка контролюється, і вакуумні);
- за робочою температурою (низькотемпературні – до 450 °С, середньотемпературні – до 1100 °С і високотемпературні – до 1600 °С).

У електропечах періодичної дії виріб, який паяють, через завантажувальний пристрій (вікно) поміщають у робочий простір, в якому його витримують нерухомо весь час паяння при заданій температурі, після чого вивантажують через те саме вікно. Недолік таких печей – складність автоматизації завантаження і вивантаження виробів та нерівномірність нагріву. Для поліпшення рівномірності нагріву застосовують іноді примусову циркуляцію повітря за допомогою вентилятора.

У електропечах безперервної дії вироби, які паяють, за допомогою транспортувального пристрою переміщуються від завантажувального до вивантажувального вікна, нагріваючись до заданої температури. Печі безперервної дії мають вищу продуктивність, тому часто їх вбудовують у автоматичні лінії.

**Електронагрівальні ванни.** У паяльному виробництві найбільш поширеними є соляні ванни циліндричної або прямокутної форм із зовнішнім або внутрішнім підігрівом. Внутрішній підігрів здійснюють електродними або трубчастими електронагрівачами – ТЕНами. За робочою температурою соляні ванни поділяють на ванни з температурою до 650, до 850 і до 1300 °С.

Електронагрівальні ванни мають переваги, порівняно з печами: високі рівномірність та швидкість нагріву, висока продуктивність, захист виробів від окислення.

Недоліки електронагрівальних ванн: велика витрата електроенергії, необхідність безперервної експлуатації внаслідок тривалого розігріву, необхідність очищення виробів від солі або флюсу, шкідливість виробництва, велика витрата солі і флюсу, необхідність сушіння деталей перед завантаженням.

Індукційні нагрівальні установки. Їх поділяють на чотири групи.

1. За частотою струму живлення: установки зі струмами промислової частоти 50 Гц, які живляться безпосередньо від електромережі; установки підвищеної частоти (500...10 000 Гц), які живляться від перетворювачів частоти.

2. За принципом дії: методичні і садочні. У методичних установках виріб нагрівається у міру його руху через індуктор. У садочних установках всі частини виробу, поміщеного в індуктор, нагріваються одночасно.

3. За характером атмосфери у робочому просторі: з окислювальним середовищем, активним (газовим) середовищем і вакуумні.

4. За типом індуктора: установки з циліндричними, прямокутними і щілинними індукторами.

Індукційні нагрівачі складаються з камери нагріву з індуктором, конденсаторної батареї, механізму завантаження виробу, шаф комутації і управління. Індуктор являє собою соленоїд, виготовлений з мідної трубки з водяним охолодженням. Індукційні установки живляться від генераторів підвищеної частоти або централізованої мережі частотою 50, 1000, 2500 і 8000 Гц.

Пальники. При ручному паянні високотемпературними припоями вироби нагрівають газовими пальниками. Використовують горючі гази – ацетилен, пропан-бутанову суміш, метан, пари бензину і гасу. Окислювачами є кисень і повітря.

Для паяння зазвичай використовують пальники для газового зварювання інжекторного та безінжекторного типів.

Іноді на заміну газового пальника використовують розігрів дугою непрямої дії, яка горить між вугільними або графітовим електродами, що дає можливість виконувати паяння твердими припоями всіх типів, як мідно-цинковими, так і срібними. Технологічно дуговий пальник менш зручний, ніж газовий, і застосовується зазвичай лише у разі невеликого обсягу паяльних робіт.

Паяльники використовують для низькотемпературного паяння. Робочим елементом паяльника слугує наконечник (жало).

За способом нагріву розрізняють паяльники безперервної і періодичної дії. Безперервний нагрів наконечника здійснюють газовим, бензиновим, керосиновим полум'ям або електричним струмом. В умовах великосерійного і масового виробництва електропаяльники забезпечують пристроями автоматичного подавання припою.

У паяльниках періодичної дії наконечник нагрівають зовнішнім або вбудованим у паяльник джерелом теплоти, яке працює в імпульсному режимі.

Ультразвукові, абразивні паяльники і паяльники з вібруючою щіткою застосовують для низькотемпературного паяння металів стійкою оксидною плівкою.

Паяльники з плазмовим нагрівом використовують для паяння тугоплавкими припоями при температурі до 900 °С.

Універсальні електричні апарати для паяння. Більш універсальними є електричні апарати для паяння, які працюють за способом гарячого контакту між вугільним або графітним електродом і виробом. Такий апарат складається із двох основних частин:

- знижувального трансформатора, рухомого або стаціонарного;
- кліщів для паяння, які з'єднуються з затискачами трансформатора гнучкими проводами, що можуть бути значної довжини.

Струмопідвідні контакти паяльних кліщів виготовляють із електродного вугілля або графіту. Заготовки затискають гвинтом.

## § 20.2. Особливості паяння різних металів і сплавів

**Паяння вуглецевих сталей.** Вуглецеві сталі з вмістом вуглецю до 0,25...0,30 % добре паяються і їх властивості від нагрівання під час паяння майже не змінюються. Із збільшенням вмісту вуглецю паяння сталі стає важчим через вигорання вуглецю, а окис вуглецю при цьому спричинює пористість напаяного металу.

При газополум'яному паянні низьковуглецевих сталей підтримують нормальне полум'я пальника; сталей із середнім і високим вмістом вуглецю – нормальне або з невеликим надлишком пального.

При паянні вуглецевих сталей як припої застосовують мідь, мідно-цинкові та інші сплави. Флюсами при цьому є бура, борна кислота або їхні суміші.

**Паяння чавуну** ускладнюється через наявність у ньому графіту або цементиту, які взаємодіють із більшістю флюсів. Тому перед паянням графіт видаляють випалюванням окислювальним полум'ям після попередньої піскоструминної обробки або електромеханічним травленням у соляній ванні при  $t = 450...510$  °С. Низькотемпературне паяння очищених кромок виконують паяльником або газовим пальником з використанням флюсів на основі хлористого цинку з додаванням хлористих солей міді і олова.

Високотемпературне паяння в авторемонтному виробництві здійснюють припоями на основі міді з використанням флюсів при температурі 897...900 °С. Одразу ж після паяння доцільно зробити відпалювання при  $t = 750$  °С протягом 20 хв з повільним охолодженням разом з піччю.

**Паяння міді та мідних сплавів** можна здійснювати газовим полум'ям або паяльником без особливих ускладнень. Але для цього потрібні більш потужні наконечники, ніж ті, що використовуються для сталі. Високотемпературне паяння здійснюють мідно-цинковими, срібними із фосфором і мідно-фосфористими припоями.

Для паяння латуні придатні усі марки срібних і мідно-фосфористих припоїв. При паянні міді і мідних сплавів мідно-цинковими і срібними

припоями без марганцю або нікелю флюсами слугують бура, борна кислота і їхні суміші. Мідно-фосфористі припої використовуються без флюсів.

**Паяння деталей із алюмінієвих сплавів** утруднює їх легка окислюваність в процесі нагрівання з утворенням міцної окисної плівки, а також слабка опірність корозії місць паяння.

Найпростіший спосіб паяння алюмінію – паяння тертям. Метал підігрівають до температури плавлення припою, на поверхню паяння наносять припій, який розтирають металевою щіткою або шабером. При натиранні руйнується плівка окислу і припій міцно з'єднується з зачищеною поверхнею металу. Шар припою захищає зачищену поверхню від зіткнення з повітрям. Луджені поверхні стискають і паяють при нагріванні.

Різновидами паяння тертям є абразивне та ультразвукове паяння. Абразивне паяння виконують стержнем із подрібненого азбесту з порошком припою. Під час натирання нагрітого металу азбест зачищає поверхню металу, а припій лудить її. Паяльний абразивний стержень кріпиться в спеціальному паяльнику з електричним нагріванням.

Ультразвукове паяння здійснюється паяльником, який живиться струмом від високочастотного генератора.

Припоями для паяння тертям слугують технічно чистий цинк або його сплави, наприклад, 16...20 % – олово, решта – цинк. Іноді застосовують флюси із органічних речовин: каніфоль, стеарин та ін. Паяння тертям може дати задовільну міцність, але з'єднання піддається корозії і під впливом атмосферної вологи швидко руйнується.

Міцні з'єднання можна отримати лише використовуючи припої на основі алюмінію, кращим із яких вважають припій 34А (сплав алюмінію з міддю і кремнієм). Він застосовується разом з флюсом 34А, який швидко розчиняє окисли, і припій легко розтікається по очищеній поверхні, утворюючи міцне з'єднання, стійке до дії корозії. Паяють з нагріванням газовим пальником або в соляних ваннах. Для зменшення жолоблення алюмінієвих виробів рекомендується їх попередньо рівномірно нагрівати, наприклад, паяльною лампою або газовим полум'ям. Великі деталі доцільно нагрівати в електричній печі до 450 °С, а потім виконувати паяння.

**Паяння деталей із титану і його сплавів** виконують при температурі вище 700...860 °С, тобто вище температури переходу  $\alpha$ -титану у  $\beta$ -титан, у якому особливо висока розчинність кисню.

Паяння титану легкоплавкими олов'яними й високоплавкими алюмінієвими припоями можливе тільки після попереднього лудіння поверхні, яку паяють. Лудіння здійснюється зануренням у розплавлений припій при температурах, за яких тонкий шар плівки  $TiO_2$  може бути відновлений внаслідок розчинення кисню в титані при температурі 800...900 °С. Після видалення оксидних плівок і нагрівання в інертному середовищі змочування титану оловом і алюмінієм поліпшується.



Флюси, що рекомендуються для паяння титану і його сплавів, містять, головним чином, хлориди й фториди металів і застосовуються для паяння у полум'ї киснево-ацетиленових пальників.

Титан і його сплави лудять у рідкому олові при перегріві до температури 700...750 °С. Для цього деталь зі знежиреною й протравленою поверхнею швидко занурюють у рідке олово, щоб поверхня титану не встигла нагрітися й окислитися. Витримувати в рідкому олові технічний титан необхідно не менше 15 хв. Деталь, вийняту з рідкого олова, швидко протирають чистим ганчір'ям для видалення оксидної плівки з шару олова. При цьому на лудженій поверхні не повинно бути ділянок, не змочених оловом. Луджену поверхню перед паянням злегка зачищають м'якою щіткою й протирають спиртом або ацетоном.

У процесі паяння лудженої поверхні температура нагрівання паяльника не повинна перевищувати 250 °С, тому що вище цієї температури можливе порушення цілісності шару полуди. При паянні легкоплавкими припоями застосовують звичайні для цього процесу флюси.

---

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Назвіть елементи технологічного оснащення для паяння.
2. Опишіть устрій та принцип дії нагрівальних пристроїв для паяння:
  - електропечі опору;
  - електронагрівальної ванни;
  - індукційної нагрівальної установки;
  - паяльників;
  - універсального апарата для паяння.
3. Опишіть особливості паяння вуглецевих і низьколегованих сталей.
4. Які припої використовуються для паяння вуглецевих і низьколегованих сталей?
5. Назвіть основні способи і матеріали для паяння чавунів.
6. У чому складність паяння алюмінію і його сплавів?
7. Які засоби руйнування оксидної плівки використовуються при паянні алюмінію?
8. Опишіть технологію абразивного паяння алюмінію.
9. Поясніть суть і особливості паяння:
  - високолегованих та антикорозійних сплавів;
  - міді та її сплавів;
  - тугоплавких титанових сплавів.

## Розділ V. ОБРОБКА КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ РІЗАННЯМ

### Глава 21. СУТНІСТЬ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ РІЗАННЯМ

#### § 21.1. Загальні відомості про обробку матеріалів різанням

Більшості деталей остаточної форми і розмірів надають обробкою різанням на металорізальних верстатах. Тільки так вдається задовольнити зростаючі вимоги до точності розмірів і шорсткості поверхонь.

Обробкою різанням називається процес відокремлення різальними інструментами шару матеріалу заготовки з метою надання деталі необхідної геометричної форми та точності розмірів і потрібної шорсткості поверхонь.

Для обробки різанням (точіння, свердління, фрезерування та ін.) заготовка і різальний інструмент повинні виконувати певні рухи. Вони поділяються на робочі або рухи різання, установчі і допоміжні.

Рухи різання забезпечують зрізання з заготовки шару матеріалу або зміну стану її поверхні.

Установчі рухи робочих органів верстата, за допомогою яких інструмент займає таке положення відносно заготовки, яке б дозволило зняти з неї певний шар матеріалу.

Допоміжні рухи робочих органів верстата, що не мають прямого відношення до різання, наприклад, швидкі переміщення робочих органів, переключення швидкостей різання і подач тощо.

Робочі рухи поділяють на головний рух і рух подачі.

Головний рух визначає швидкість знімання стружки. Швидкість головного руху позначають  $V$ .

Рух подачі  $S$  забезпечує безперервне врзування інструмента в нові шари матеріалу.

У металорізальних верстатах головний рух найчастіше буває обертальним (токарні, свердлильні, фрезерні, шліфувальні верстати) або прямолінійним (зворотно-поступальним у стругальних і довбальних верстатах).

Головний рух може передаватись заготовці (верстати токарної групи, поздовжньо-стругальні верстати) або різальному інструменту (фрезерні, свердлильні, поперечно-стругальні верстати).

У верстатах з обертальним головним рухом рух подачі безперервний, завдяки чому весь процес різання теж безперервний. У верстатах із зворотно-поступальним головним рухом робочий хід чергується з холостим, рух подачі здійснюється перед початком кожного робочого ходу, отже, процес різання є переривчастим.

**Основні схеми обробки різанням.** Точіння – вид обробки різанням, при якому головним рухом є обертання заготовки 2 зі швидкістю  $V$  навколо своєї осі, а рухом поздовжньої подачі  $S_{i\zeta}$  є поступальний рух інструмента (токарного

різця 1) вздовж осі заготовки (рис. 21.1, а). Поперечна подача  $S_{\text{noz}}$ , спрямована перпендикулярно осі заготовки, застосовується під час точіння і підрізання торців заготовки.

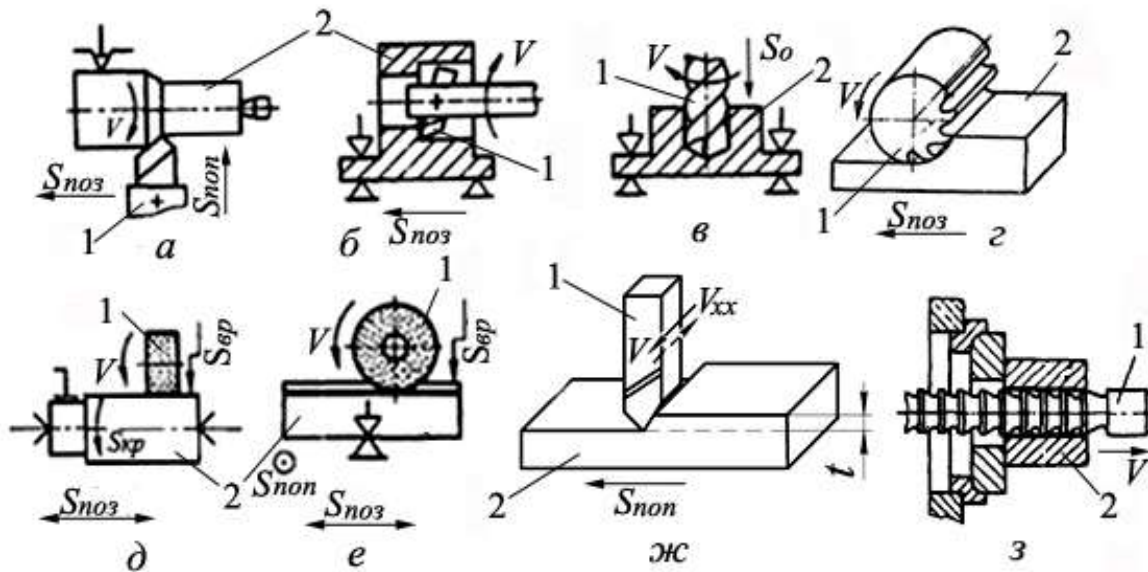


Рис.21.1. Основні види обробки різанням:

а – обточування; б – розточування; в – свердління; з – фрезерування;  
 д – кругле шліфування; е – плоске шліфування; ж – стругання; з – протягання

Розрізняють зовнішнє точіння – обточування, при якому обробляються зовнішні циліндричні поверхні і торці, і розточування, при якому обробляються внутрішні циліндричні поверхні і торці заготовки (рис. 21.1, б).

Свердління отворів. Головним рухом зі швидкістю  $V$  є обертання інструмента – свердла 1, а рухом подачі – переміщення  $S_f$  інструмента вздовж своєї осі (рис. 21.1, в). При свердлінні отворів на верстатах токарної групи головним рухом є обертання заготовки 2, а рух подачі здійснює свердло.

Фрезерування. Головним рухом зі швидкістю  $V$  є обертання інструмента – фрези 1, а рухом подачі – поступальне переміщення  $S_{\text{noz}}$  заготовки 2 або фрези (рис. 21.1, з). Застосовуючи різноманітні фрези і фрезерні верстати, можна обробляти різні поверхні і їхні комбінації: площини, криві поверхні, уступи, пази та ін.

Шліфування – процес обробки різанням за допомогою шліфувальних кругів. Залежно від взаємних рухів інструмента і заготовки розрізняють декілька схем шліфування, найбільш поширеними з яких є:

– кругле шліфування (рис. 21.1, д), при якому головним рухом є обертання шліфувального круга 1 зі швидкістю  $V$ , м/с; поздовжня подача  $S_{\text{noz}}$ , мм/об здійснюється за рахунок зворотно-поступального переміщення заготовки 2; кругову подачу (обертання)  $S_{\text{до}}$ , м/хв здійснює, обертаючись, заготовка; подача на врізання  $S_{\text{до}}$ , мм/дв. хід (мм/хід) виконується у крайніх положеннях заготовки;

– плоске шліфування (рис. 21.1, е), при якому головним рухом є обертання шліфувального круга зі швидкістю  $V$ , м/с; поздовжня подача  $S_{\text{noz}}$ , м/хв здійснюється за рахунок зворотно-поступального переміщення заготовки;

поперечна подача  $S_{\text{п.п.}}$ , м/дв. хід здійснюється періодично, у крайніх положеннях заготовки у кінці поздовжнього ходу заготовки; подача на врізання  $S_{\text{в.р.}}$ , мм/дв. хід (мм/хід) виконується у крайніх положеннях заготовки, але у кінці поперечного ходу.

**Стругання** – вид обробки різанням (рис. 21.1, ж), при якому головним рухом зі швидкістю  $V$  є поступальне переміщення різця 1 в поперечно-стругальних або заготовки 2 в поздовжньо-стругальних верстатах ( $V_{\text{хх}}$  – швидкість зворотного руху різця – холостого ходу). Рухом подачі  $S_{\text{п.п.}}$  є періодичне переміщення заготовки або різця у напрямку, перпендикулярному напрямку головного руху.

**Протягання** здійснюють за допомогою спеціального різального інструмента – протяжки 1 (рис. 21.1, з), що має на робочій частині різця зубці, які рівномірно підвищуються вздовж протяжки, за рахунок чого здійснюється знімання певного шару матеріалу кожним зубом. Головним рухом є поздовжнє переміщення інструмента зі швидкістю  $V$ , м/с, а рух подачі відсутній.

## § 21.2. Геометричні параметри інструмента і їх вплив на процес різання

**Будова токарного різця.** Найбільш поширеним видом обробки різанням є точіння на верстатах токарної групи, тому визначення геометричних параметрів різальних інструментів розглянемо на прикладі обточування зовнішньої циліндричної поверхні заготовки токарним прохідним різцем (рис. 21.2).

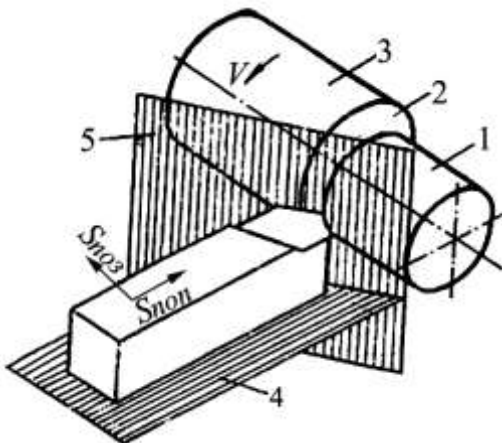


Рис. 21.2. Поверхні на заготовці та координатні площини

різальну кромку.

Основною площиною 4 для різців токарних верстатів називають площину, паралельну напрямку поздовжньої  $S_{\text{п.п.}}$  і поперечної  $S_{\text{в.р.}}$  подач різця під час обробки різанням.

Токарний різець (див. рис. 21.3) складається з робочої частини або головки 1 і тіла або стержня 2, який призначений для закріплення різця в різцетримачі верстата. Головку різця заточують так, щоб утворити на ній

При такій обробці заготовки на токарному верстаті на ній розрізняють поверхні: оброблювану 1, оброблену 3 і поверхню різання 2, яка утворюється в процесі різання безпосередньо різальною кромкою різця.

Крім того, розрізняють деякі координатні площини, відносно яких встановлюють взаємне положення різця і заготовки.

Площиною різання 5 називається площина, яка дотична до поверхні різання і проходить через головну

поверхні: передню 3, якою сходиться стружка; головну задню поверхню 4, повернену до оброблюваної поверхні заготовки; до поміжну задню поверхню 5, повернену до обробленої поверхні.

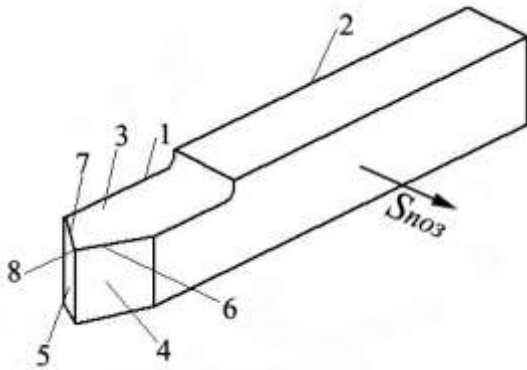


Рис.21.3. Основні частини і елементи різця

Перетин передньої і задніх поверхонь утворює різальні кромки різця, а саме:

– головну різальну кромку 6, що виконує основну роботу різання; вона утворюється як лінія перетину передньої 3 і головної задньої 4 поверхонь;

– до поміжну різальну кромку 7, яка утворюється як лінія перетину передньої 3 і до поміжної задньої 5 поверхонь.

Точка 8 перетину головної і до поміжної різальних кромок є

вершиною різця.

**Геометричні параметри ріжучої частини різця.** З метою визначення геометричних параметрів різця встановимо січні площини (рис. 21.4).

Головною січною площиною (ГСП) називають площину Б-Б, перпендикулярну до проекції головної різальної кромки на основну площину.

Допоміжною січною площиною (ДСП) називають площину В-В, перпендикулярну до проекції до поміжної різальної кромки на основну площину. Кути різця, вимірювані в головній січній площині, називаються головними, а вимірювані в до поміжній січній площині – до поміжними.

Розглянемо перетин різця головною січною площиною і кути різця у цій площині.

Головний задній кут  $\alpha$  вимірюють у ГСП між слідом головної задньої поверхні і слідом площини різання.

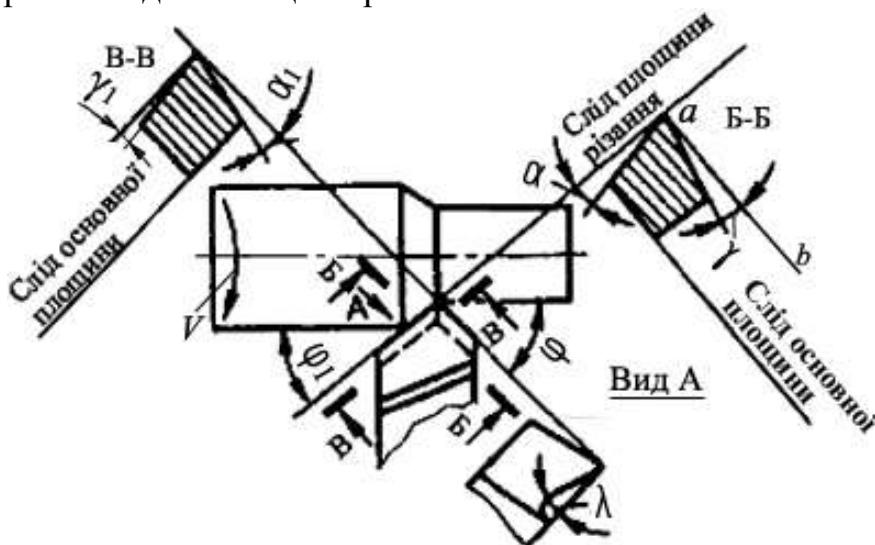


Рис. 21.4. Основні кути токарного різця

Головний передній кут  $\gamma$  вимірюють у ГСП між слідом передньої поверхні і слідом  $ab$  площини, яка перпендикулярна сліду площини різання. Якщо

слід передньої поверхні у ГСП нижче лінії  $ab$ , то передній кут має додатне значення ( $\gamma > 0$ ), якщо співпадає з нею, то  $\gamma = 0$ , в іншому разі  $\gamma < 0$ .

Аналогічно визначаються відповідні допоміжні кути  $\alpha_1$  та  $\gamma_1$  у ДСП.

Кут  $\lambda$  нахилу головної різальної кромки вимірюють у площині різання між різальною кромкою і основною площиною (вид А на рис. 21.4). Кут  $\lambda$  – додатний, якщо вершина різця є найнижчою точкою головної різальної кромки, або від'ємний, якщо вершина різця займає найвище положення на кромці. Кути в плані вимірюються в основній площині (рис. 21.5).

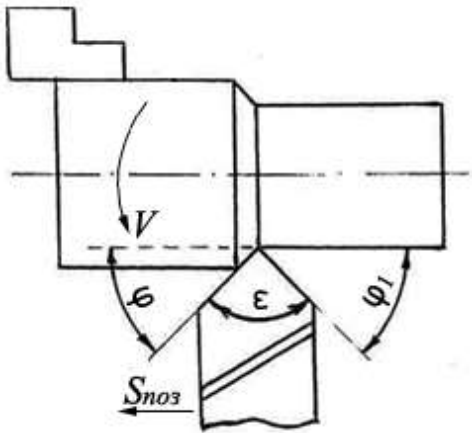


Рис. 21.5. Кути різця в плані

Головний кут в плані  $\varphi$  – кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину і напрямом поздовжньої подачі. Допоміжний кут в плані  $\varphi_1$  – кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину і напрямом, зворотним напрямку подачі.

Кут при вершині  $\varepsilon$  – кут між основною і допоміжною різальними кромками.

**Вплив геометричних параметрів різця на процес різання.** Задній кут  $\alpha$  призначений для зменшення тертя задньої поверхні різця об поверхню різання. Проте надмірне збільшення заднього кута може призвести до зниження міцності найбільш навантаженої частини різця і швидкого його руйнування. На практиці кут вибирають близько  $6...12^\circ$ .

Передній кут  $\gamma$  відіграє важливу роль у процесі різання. З його збільшенням полегшується врізання різця в оброблюваний матеріал, зменшуються деформація зрізаного шару, сила різання і витрата потужності. Проте збільшення переднього кута послаблює різальну частину різця, погіршує відведення теплоти. На практиці найчастіше використовують різці з передніми кутами від  $-10^\circ$  до  $+20^\circ$ .

Кути в плані  $\varphi$  і  $\varphi_1$  значною мірою впливають на стійкість різця і шорсткість обробленої поверхні. Зі зменшенням у певних межах кута  $\varphi$  стійкість різця збільшується і чистота обробленої поверхні поліпшується. Найчастіше цей кут дорівнює  $30...90^\circ$ .

Від кута нахилу головної різальної кромки  $\lambda$  залежить напрям сходу стружки. Якщо кут  $\lambda > 0$ , стружка сходить у напрямку, зворотному напрямку подачі. Якщо кут  $\lambda < 0$ , стружка сходить у напрямку подачі. При  $\lambda = 0$  стружка сходить уздовж осі різця.

Різці з кутами  $\lambda = 0$  та  $\lambda > 0$  застосовуються у чорновому точінні, а з  $\lambda < 0$  у чистовому.

**Елементи режиму різання при точінні.** Глибиною різання  $t$  називається товщина шару металу, що знімається за один прохід (див. рис. 21.6).

При поздовжньому точінні:

$$t = \frac{D-d}{2}. \quad (21.1)$$

Подачею  $S$  називається переміщення точки різальної кромки інструмента відносно заготовки в напрямку руху подачі за один оберт заготовки. Залежно від напрямку руху подачі, вона може бути поздовжньою, поперечною або розташованою під кутом до осі заготовки.

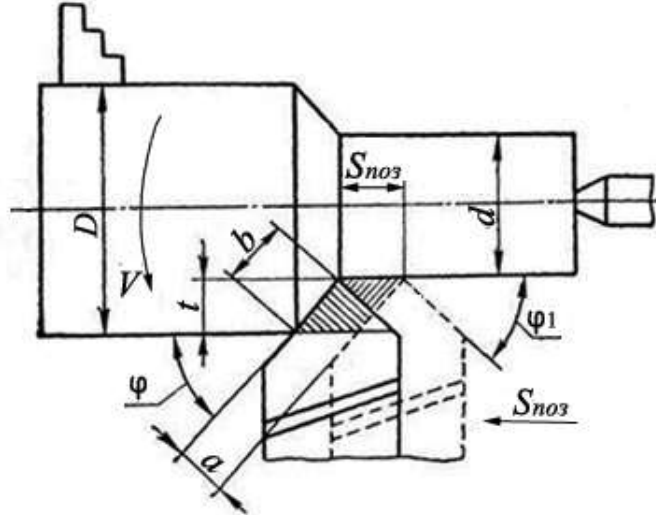


Рис. 21.6. Схема до визначення елементів режиму різання при точінні:

$D$  – діаметр заготовки, мм;  $d$  – діаметр деталі, мм;  $t$  – глибина різання, мм;

$a$  – ширина зрізаного шару, мм;  $b$  – товщина зрізаного шару, мм;

$S_{\text{різ}}$  – поздовжня подача різця, мм/об.;  $V$  – швидкість різання, м/хв

Швидкість різання – це шлях, який проходить точка, що лежить на оброблюваній поверхні заготовки, відносно різальної кромки інструмента за одиницю часу:

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \quad (21.2)$$

де  $n$  – частота обертання заготовки, об/хв.

### § 21.3. Явища, що супроводжують процес різання

**Механізм зняття стружки.** Процес відокремлення шару стружки при обробці різанням можна уявити таким чином. Дія різця 2 (рис. 21.7) на заготовку 1 із силою  $P$  утворює у матеріалі заготовки пружну деформацію, яка зростає і перетворюється на пластичну, в результаті якої від заготовки відокремлюються елементи стружки 3, 4, 5. Відокремлення стружки здійснюється по площині сколювання О-О, яка розташована під кутом зсуву  $\theta \approx 30^\circ$  до напрямку руху різця і по якій здійснюється деформація зсуву. Зрізаний шар металу додатково деформується внаслідок тертя стружки по передній поверхні різця.

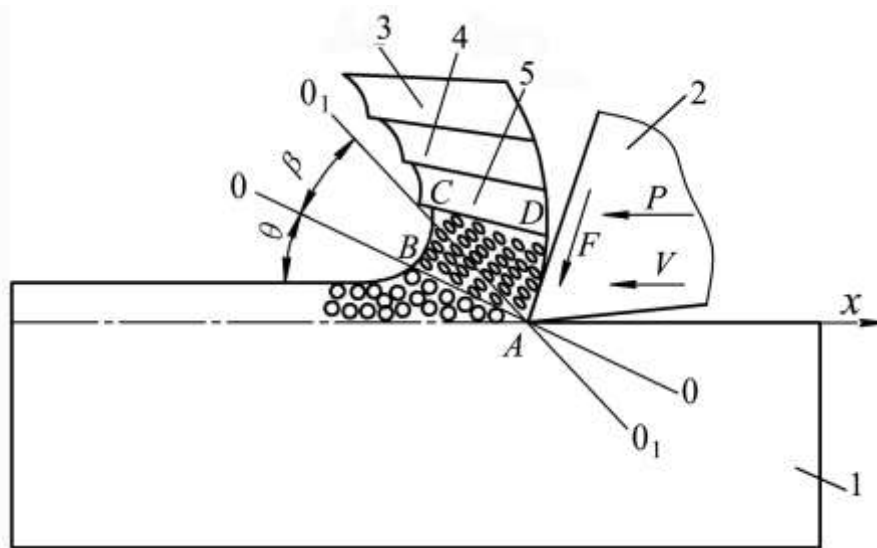


Рис. 21.7. Схема процесу утворення стружки

Структури металу у зоні деформації ABCD і стружки відрізняються від структури основного металу. В цій зоні кристали деформовані, зруйновані, подрібнені і набувають витягнутої форми у напрямку  $O_1-O_1$ , який складає з площиною зсуву кут  $\beta$ . Для різних матеріалів, що обробляються, і різних умов різання характер деформації різний.

У пластичних матеріалах переважає пластична деформація, і кут  $\beta$  може досягати  $30^\circ$ , у крихких матеріалів пластична деформація практично відсутня, тому кут  $\beta \approx 0^\circ$ .

**Види стружки, що утворюється при обробці різанням.** Залежно від оброблюваного металу і умов різання, утворюються три види стружки:

– зливна стружка, що являє собою безперервну стрічку, яка зазвичай звивається у спіраль; вона утворюється при обробці пластичних металів (м'якої сталі, латуні, алюмінію та ін.) із значними швидкостями різання і невеликими подачами;

– стружка сколювання складається з окремих, зв'язаних один з одним елементів, вона утворюється при обробці пластичних металів середньої твердості з невеликими швидкостями різання і значними подачами різців, що мають невеликі передні кути;

– стружка надламу складається з окремих погано зв'язаних або зовсім не зв'язаних між собою кусочків металу неправильної форми і утворюється при обробці крихких металів (чавуну, бронзи, деяких сплавів алюмінію).

**Утворення наросту.** Під час різання пластичних металів, таких як сталь, латунь тощо, відбувається нарост утворення. Суть цього явища в тому, що внаслідок адгезійної взаємодії, значного тертя між стружкою та передньою поверхнею різця і значного виділення теплоти на ній біля різальної кромки затримується й дуже міцно укріплюється на ній шар металу стружки – нарост, який безпосередньо прилягає до передньої поверхні різця (див. рис. 21.8).



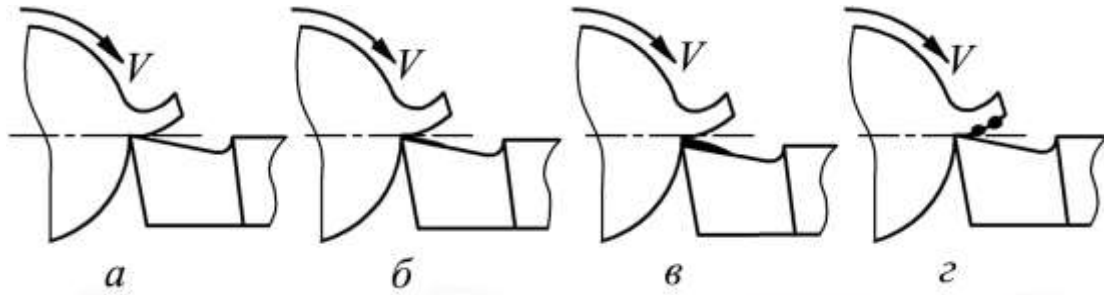


Рис. 21.8. Схема утворення і руйнування наросту:  
а – початок; б – зародження; в – зростання; г – руйнування

Метал наросту дуже деформований і твердість його значно (іноді в 2...3 рази) перевищує твердість оброблюваного металу. Наріст періодично руйнується, виноситься стружкою, що сходить з деталі, і утворюється знов.

Наріст істотно впливає на процес різання і якість обробленої поверхні. Позитивний вплив наросту на процес різання полягає у:

- збільшенні переднього кута  $\gamma$ , що зменшує силу різання;
- зменшенні зносу різця внаслідок зміщення точки тиску стружки від різальної кромки;
- покращенні тепловідведення від різального інструмента.

Негативний вплив наросту полягає у:

- збільшенні шорсткості обробленої поверхні;
- появи хвилястості – макронерівності поверхні деталі;
- періодичній зміні величини переднього кута, яка спричинює вібрацію верстата та інструмента, що погіршує якість обробленої поверхні.

Отже, при чорновій обробці наріст позитивно впливає на процес різання. При чистовій обробці, коли якість обробленої поверхні особливо важлива, утворення наросту слід уникати.

#### § 21.4. Сила різання та її складові

Деформування і зрізання з поверхні заготовки шару матеріалу відбувається під дією сили  $P$ , з якою інструмент діє на заготовку (див. рис. 21.7). У результаті опору матеріалу деформуванню виникають реактивні сили, які діють на інструмент:

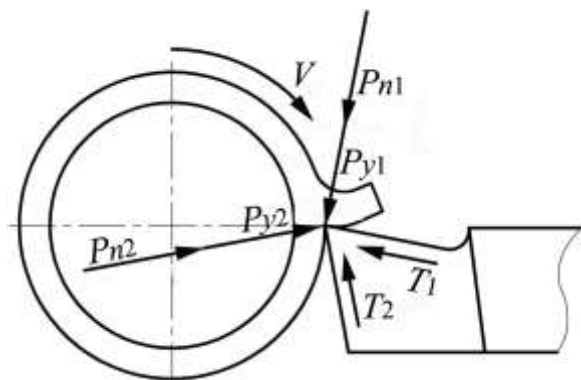


Рис. 21.9. Зовнішні сили, які діють на різець

діють на інструмент:

- сили пружного  $D_{\delta 1}$  і пластичного  $D_{i1}$  деформування, вектори яких спрямовані перпендикулярно передній поверхні різця (рис. 21.9);
- сили пружного  $D_{\delta 2}$  і пластичного  $D_{i2}$  деформування, вектори яких спрямовані перпендикулярно задній поверхні різця;
- сила  $T_1$ , що виникає від тертя стружки по передній поверхні різця;

– сила  $T_2$ , що виникає від тертя задньої поверхні різця об оброблювану поверхню деталі.

Рівнодійна всіх цих сил дорівнює їх векторній сумі, тобто:

$$\bar{R} = \bar{P}_{y1} + \bar{P}_{y2} + \bar{P}_{n1} + \bar{P}_{n2} + \bar{T}_1 + \bar{T}_2. \quad (21.3)$$

Силу  $\bar{R}$ , що діє на різець у процесі різання, називають рівнодійною силою різання. Для зручності розрахунків інструмента, режимів різання, силових елементів верстатів та оснастки, силу  $\bar{R}$  розкладають на три взаємно перпендикулярні складові  $\bar{P}_x$ ,  $\bar{P}_y$ ,  $\bar{P}_z$  (рис. 21.10).

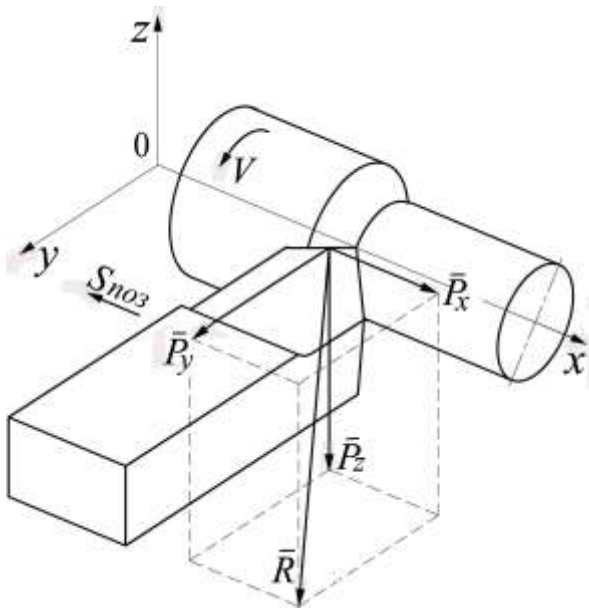


Рис. 21.10. Складові рівнодійної сили різання

Сила  $\bar{P}_z$ , що діє по дотичній до поверхні різання в напрямку вектора головного руху, називається дотичною силою або головною силою різання.

Сила  $\bar{P}_y$ , яка діє в горизонтальній (основній) площині перпендикулярно до осі оброблюваної заготовки, називається радіальною силою.

Сила  $\bar{P}_x$ , що діє в горизонтальній (основній) площині паралельно осі заготовки в напрямку, протилежному напрямку поздовжньої подачі, називається осьовою силою або силою подачі.

Рівнодійна  $\bar{R}$  являє собою діагональ паралелепіпеда, побудованого на складових силах, її величина може бути визначена з виразу:

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}, \text{ Н (кГ)}. \quad (21.4)$$

Сила  $\bar{P}_z$  на шпинделі верстата утворює обертальний момент:

$$\dot{I}_{\varepsilon\delta} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000}, \text{ Н}\cdot\text{м (кГ}\cdot\text{м)}, \quad (21.5)$$

де  $D$  – діаметр заготовки, мм.

За значеннями сили  $P_z$  і обертального моменту  $\dot{I}_{\varepsilon\delta}$  розраховують на міцність механізм коробки швидкостей верстата.

Значення сили  $P_z$  при точінні визначають за емпіричною формулою:

$$P_z = C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_{Pz}, \quad (21.6)$$

де  $C_{Pz}$  – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу і умов різання;  $t$  – глибина різання, мм;  $S$  – подача, мм/об;  $V$  – швидкість різання, м/хв;  $K$  – поправочний коефіцієнт, що враховує відмінність умов обробки порівняно з тими, для яких задано величину  $\tilde{N}_{Pz}$ ;  $X_{Pz}$ ,  $Y_{Pz}$ ,  $n_{Pz}$  – емпіричні показники степенів відповідно глибини різання, подачі і швидкості різання.

Всі зазначені величини для різних оброблюваних і інструментальних матеріалів і умов обробки наведені в довідниках.

Сила  $\bar{P}_y$  намагається відтиснути різець від оброблюваної деталі, що зменшує точність обробки. Тому при обробці довгих і тонких деталей слід працювати різцями з великими кутами в плані до  $\varphi = 90^\circ$ , при яких сила  $\bar{P}_y$  має мінімальне значення.

За силою  $\bar{P}_x$  розраховують на міцність механізм подачі верстата.

Значення  $P_x$  та  $P_y$  беруть у частках від значення  $P_z$ . Співвідношення  $P_x / P_z$  та  $P_y / P_z$  залежать від геометричних параметрів різця, елементів режиму різання і зносу різця. Так, при точінні гострим різцем з кутами  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\lambda = 0$ :

$$P_o \approx (0,3 \dots 0,5) P_z; P_o \approx (0,15 \dots 0,3) P_z.$$

Потужність  $N_e$ , що витрачається на різання при поздовжньому точінні (ефективна потужність):

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_x \cdot n \cdot S}{60 \cdot 10^3}, \text{ кВт},$$

де  $n$  – частота обертання заготовки, об/хв.

Потужність, створена силою  $P_x$ , становить 1...2 % всієї потужності, що витрачається на різання, тому її зазвичай не враховують і ефективну потужність визначають за формулою:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 10^3}, \text{ кВт}, \quad (21.7)$$

а розрахункову потужність електродвигуна верстата за залежністю:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta}, \text{ кВт}, \quad (21.8)$$

де  $\eta$  – ККД верстата, що дорівнює 0,1...0,8, залежно від типу верстата.

## § 21.5. Теплові явища в процесі різання

Процес різання супроводжується інтенсивним виділенням теплоти, величина якої визначається за залежністю:

$$Q = P_z V. \quad (21.9)$$

Теплота, що виділяється, відводиться із зони різання:

- стружкою – 25...85 %, залежно від методу обробки;
- заготовкою – 10...50 %;
- інструментом – 2...9 %.

Як бачимо, інструмент гірше відводить теплоту внаслідок його низької теплопровідності, тому температура нагрівання інструмента може досягати 800...1000 °С. Негативний вплив перегріву інструмента на процес різання проявляється у такому:

- зниженні твердості інструмента, що спричинює зниження або втрату ним різальних властивостей;
- зниженні точності обробки і спотворенні форми деталі через температурні зміни лінійних розмірів інструмента і заготовки.

Для зменшення негативного впливу теплоти на процес різання, його здійснюють в умовах застосування мастильно-охолоджуючих середовищ (МОС). Як МОС застосовують:

- рідини (водяні розчини електролітів, емульсії, розчини мил, тваринні і мінеральні масла тощо);
  - гази ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CCl}_4$ , пари і розпилені рідини);
  - тверді речовини (порошки воску, парафіну, бітуму, мила тощо).
- Застосування МОС позитивно впливає на процес різання внаслідок:
- зниження тертя стружки по передній поверхні і задньої поверхні інструмента по заготовці;
  - зменшення роботи деформування і кількості теплоти, що виділяється;
  - значного покращення відведення теплоти від інструмента, заготовки і стружки.

У нормальних умовах роботи допустима температура для різальних інструментів така:

- з вуглецевої і легованої сталі – 200...250 °С;
- з швидкорізальної сталі – 550...600 °С;
- для оснащених твердими сплавами – 800...1000 °С;
- для оснащених мінералокерамікою – 1000...1200 °С.

## § 21.6. Швидкість різання та вплив на неї різних факторів

Швидкість різання визначають за емпіричною формулою залежно від глибини різання  $t$  і подачі  $S$ :

$$V = \frac{C_V}{t^{X_V} \cdot S^{Y_V}}, \quad (21.10)$$

де  $C_V$  – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу, матеріалу різального інструмента і умов різання;  $X_V$  і  $Y_V$  – емпіричні показники степені, які залежать від тих самих факторів, причому  $X_V < Y_V < 1$ .

З формули видно, що із збільшенням глибини різання і подачі швидкість різання зменшується. Вплив глибини на швидкість різання менший, ніж вплив подачі, оскільки показник степені  $X_V$  менший, ніж показник  $Y_V$ .

Крім того, на величину швидкості різання впливають такі фактори.

### 1. Оброблюваний матеріал:

- обробку сталей з високим вмістом вуглецю, хрому, вольфраму виконують на малих швидкостях різання через їх високі твердість і міцність;
- сірий чавун обробляють з меншими швидкостями різання, ніж вуглецеву конструкційну сталь, оскільки він має нижчу теплопровідність і спричинює інтенсивний знос інструмента;

– алюміній і його сплави обробляють із швидкостями різання у 4...6 разів більшими, ніж вуглецеву конструкційну сталь.

## 2. Геометричні параметри інструмента:

– із збільшенням переднього кута зменшуються сили різання і кількість виділеної теплоти, знижується температура різання, тому допустима швидкість різання зростає;

– із збільшенням заднього кута зменшуються робота сил тертя і кількість теплоти, що виділяється, отже, зменшується знос різального інструмента, тому допустима швидкість різання може бути дещо підвищена, але слід пам'ятати, що збільшення переднього і заднього кутів зменшує міцність ріжучого клину, тому у кожному випадку потрібно вибирати швидкість різання з урахуванням всіх умов обробки.

3. Мастильно-охолоджувальні середовища знижують температуру в зоні різання, змащують контактні поверхні різального інструмента і оброблюваної заготовки, зменшують злипання інструмента зі стружкою і утворення наростів, тому з'являється можливість при значному охолодженні (8...12 л/хв) у випадку чорного точіння сталі різцями з швидкорізальної сталі підвищити швидкість різання на 15...25 %.

Призначаючи режим різання, рекомендується:

- вибрати якомога більшу глибину різання, яка забезпечує зрізання припуску за найменшу кількість проходів;
- встановити найбільшу для даної глибини різання  $t$  подачу  $S$ ;
- визначити швидкість різання за формулою (21.10).

## § 21. 7. Знос і стійкість інструмента

Тертя між стружкою і передньою поверхнею інструмента та між його задньою і оброблюваною поверхнями спричинює знос різального інструмента по передній і задній поверхнях.

Знос проявляється у вигляді лунки шириною  $b$  (рис. 21.11, *a*) на передній поверхні різця і стрічки шириною  $h$  на задній його поверхні.

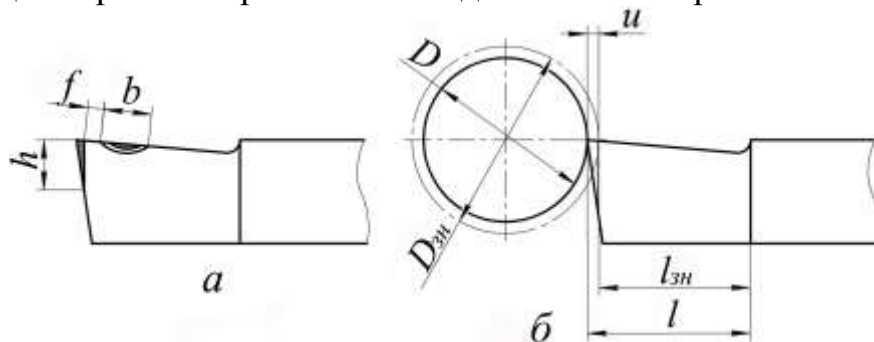


Рис. 21.11. Знос різця (*a*) і зміна розмірів інструмента та заготовки при цьому (*б*)

Найбільш шкідливим є знос по задній поверхні, оскільки при цьому зменшується на величину  $u$  (рис. 21.11, *б*) виліт різця, що призводить до спотворення форми і розмірів деталі. При різанні затупленим інструментом

зростають величина сили різання, деформація заготовки, тепловиділення. Допустима величина зносу називається критерієм зносу. Частіш за все за критерій зносу вибирають величину  $h$  зносу по задній поверхні. Для токарних різців із швидкорізальної сталі допустимий знос  $h=1,5...2$  мм, для різців з твердого сплаву  $h = 0,8...1$  мм, для різців з мінералокерамікою  $h = 0,5...0,8$  мм.

Головною характеристикою інструмента є його стійкість  $T$ , хв – сумарний час його роботи між переточуваннями при визначеному режимі різання. Зазвичай стійкість токарних різців складає 30...90 хв. Стійкість інструмента залежить від фізико-механічних характеристик матеріалу інструмента і заготовки, режиму різання, геометрії інструмента і умов обробки.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення процесу обробки різанням.
2. Для чого призначені рухи різання при обробці різанням?
3. Для чого слугують допоміжні рухи при різанні?
4. Дайте визначення:
  - головного руху різання;
  - руху подачі.
5. Дайте визначення процесу обробки точінням.
6. Схарактеризуйте процес обробки свердлінням.
7. Опишіть схему обробки фрезеруванням.
8. Схарактеризуйте процес шліфування. Опишіть основні схеми шліфування.
9. Які головні і допоміжні рухи здійснюються при:
  - струганні;
  - протяганні?
10. Як здійснюється подача при протяганні?
11. Дайте визначення площини різання і основної площини.
12. Опишіть будову токарного різця та назвіть основні його елементи.
13. Дайте визначення для токарного різця:
  - передньої та головної задньої поверхонь;
  - головної та допоміжної ріжучих кромки;
  - вершини різця.
14. Дайте визначення кутів токарного різця:
  - переднього  $\gamma$ ;
  - заднього  $\alpha$ ;
  - кута нахилу головної ріжучої кромки  $\lambda$ .
15. Дайте визначення кутів, що вимірюються у основній площині:
  - головного кута в плані  $\varphi$ ;
  - допоміжного кута в плані  $\varphi_1$ ;
  - кута при вершині  $\varepsilon$ .
16. Опишіть вплив на процес різання геометричних параметрів різця.
17. Дайте визначення параметрів режиму різання при точінні:
  - глибини різання;
  - подачі;
  - швидкості різання.
18. Опишіть процес зняття шару матеріалу при точінні.
19. Які основні види стружки утворюються при різанні?
20. Що таке наріст? Поясніть процес його утворення при точінні.
21. Як впливає наріст на процес різання?
22. Які зовнішні сили діють на токарний різець при точінні?

23. Дайте визначення складових рівнодіючої сили різання:
- головної  $P_z$ ;
  - радіальної  $P_y$ ;
  - осьової  $P_x$ .
24. За значенням якої сили розраховують:
- потужність двигуна головного приводу;
  - механізм подач?
25. Як розподіляється між стружкою, різцем і деталлю теплота, що виділяється при різанні?
26. Які засоби охолодження інструмента застосовують при різанні?
27. Назвіть типи МОС, які використовуються при обробці різанням.
28. Як визначається швидкість різання при точінні?
29. Як впливають на величину швидкості різання:
- оброблюваний матеріал;
  - геометричні параметри різця;
  - мастильно-охолоджуюче середовище?
30. По яким поверхням зношується токарний різець?
31. Дайте визначення стійкості різця. Що таке період стійкості різця?
32. Що приймають за критерій зносу різця?

## Глава 22. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

### § 22.1. Загальні вимоги до інструментальних матеріалів

Різальні інструменти працюють в умовах значних силових навантажень, високих температур, тертя й зношування, тому інструментальні матеріали повинні мати певні експлуатаційні фізико-механічні властивості. Матеріал ріжучої частини інструментів повинен бути **т в е р д и м** і мати високі значення допустимих напружень на згин, розтяг, стиск, кручення. Для забезпечення процесу зняття шару стружки необхідно, щоб твердість матеріалу ріжучої частини інструмента значно перевищувала твердість матеріалу оброблюваної заготовки.

Високі міцнісні властивості необхідні для забезпечення опору різального інструмента деформаціям у процесі різання. Достатня в'язкість інструментального матеріалу забезпечує стійкість інструмента до дії ударних динамічних навантажень, які виникають при обробці заготовок із крихких матеріалів або з переривчастою оброблюваною поверхнею. Інструментальні матеріали повинні мати високу **ч е р в о н о с т і й к і с т ь**, тобто зберігати високу твердість і ріжучі властивості при високих робочих температурах.

Найважливішою характеристикою матеріалу ріжучої частини інструмента є **з н о с о с т і й к і с т ь**. Чим вона вище, тим повільніше зношується інструмент і вище його розмірна стійкість. Це означає, що заготовки, послідовно оброблені тим самим інструментом, матимуть мінімальне розсіювання розмірів оброблених поверхонь. З метою підвищення зносостійкості на ріжучу частину

інструментів спеціальними методами наносять одно- і багат шарові покриття з карбідів вольфраму, нітридів титану. Інструментальні матеріали повинні мати найменший процентний вміст дефіцитних і дорогих елементів, щоб забезпечувати мінімальну собівартість обробки різанням.

## **§ 22.2. Характеристики і області застосування інструментальних матеріалів**

**Інструментальні вуглецеві сталі** містять 1,0...1,3 % С. Для виготовлення інструментів застосовують якісні сталі У10А, У11А, У12А. Після термічної обробки сталі (HRC 60...62) мають червоностійкість 200...240 °С. За такої температури твердість сталі різко зменшується й інструменти не можуть виконувати роботу різання. Допустимі швидкості різання не перевищують 12...18 м/хв. Із цих сталей виготовляють мітчики, плашки, ножівкові полотна, свердла й зенкери малих діаметрів.

**Леговані інструментальні сталі** – вуглецеві інструментальні сталі, леговані хромом (Х), вольфрамом (В), ванадієм (Ф), кремнієм (С) та іншими елементами. Після термообробки леговані сталі (HRC 62...64) мають червоностійкість 220...260 °С. Леговані сталі, порівняно з вуглецевими, мають підвищену в'язкість у загартованому стані, більш високу прогартованість, меншу здатність до деформацій і появи тріщин при гартуванні. Допустима швидкість різання 15...25 м/хв. Для виготовлення протяжок, свердел, мітчиків, плашок, розверток використовують сталі 9ХВГ, ХВГ, ХГ, 6ХС, 9ХС.

**Швидкорізальні сталі** містять: 5,5...19 % W; 3,8...4,4 % Cr; 0,73...1,25 % С; 1...5,2 % V; 1...3 % Mo; до 8 % Co. Для виготовлення інструментів використовують сталі Р9, Р12, Р18, Р6М5, Р9Ф5, Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф2. Різальний інструмент зі швидкорізальної сталі після термічної обробки (HRC 62...65) має червоностійкість 600...640 °С і підвищену зносостійкість; він може працювати на швидкостях різання до 80 м/хв.

Сталь Р9, наприклад, рекомендують для виготовлення інструментів простої форми (різців, фрез, зенкерів). Кобальтові швидкорізальні сталі Р9К5, Р18К5Ф2, Р9К10 застосовують для обробки важкооброблюваних матеріалів в умовах переривчастого процесу різання. Ванадієві швидкорізальні сталі Р9Ф5, Р14Ф4 рекомендують для виготовлення інструментів, призначених для чистової обробки (протяжок, розверток, шеверів). Їх застосовують для обробки важкооброблюваних матеріалів при зрізанні стружки малого поперечного перерізу.

Вольфрамомолібденові сталі Р9М4, Р6М3 використовують для інструментів, що працюють в умовах чорнової обробки й для виготовлення протяжок, довбачів, шеверів, фрез.

Для економії швидкорізальних сталей, інших інструментальних матеріалів різальний інструмент виготовляють збірним або зварним. Різучу частину інструмента виготовляють у вигляді пластин з швидкорізальної сталі і кріплять її до державки інструмента, яку виконують з конструкційних сталей 45, 50, 40Х. Залежно від способу кріплення пластин, різці бувають:



- суцільні, виконані з одного інструментального матеріалу;
- збірні зварні, у яких ріжуча пластина з інструментального матеріалу складає з матеріалом державки нерознімне з'єднання (зварне, паяне, клейове тощо);
- збірні з механічним кріпленням пластин інструментального матеріалу до державки.

**Тверді сплави** – це тверді розчини карбідів вольфраму, титану й танталу (WC, TiC, TaC) у металевому кобальті (Co). Тверді сплави застосовують у вигляді пластин певних форм і розмірів, виготовлених за технологією порошкової металургії. Пластини попередньо пресують, а потім спікають при температурі 1500...1900 °С.

Тверді сплави поділяють на групи:

- вольфрамову – BK2, BK3, BK4, BK6M, BK6, BK8, BK10, BK15 та ін.;
- титановольфрамову – T30K4, T15K6, T14K8, T5K10, T5K12Y;
- титанотанталовольфрамову – TT7K12, TT10K8B.

Пластини твердого сплаву мають високу твердість (HRA 86...92), зносостійкість і червоностійкість (800...1250 °С), що дозволяє вести обробку зі швидкостями різання до 800 м/хв. Пластини припаюють до державок або корпусів інструментів мідними, латунними припоями або кріплять механічним способом.

У промисловості застосовують багатогранні непереточувані твердосплавні пластини (три-, чотири-, п'яти-, шестигранні), які кріплять механічним способом. Після зношування однієї з ріжучих кромek такої пластини в роботу вводять наступну. Недолік твердих сплавів – їх знижена пластичність.

Тверді сплави групи BK використовують для обробки заготовок із крихких металів, пластмас, неметалічних матеріалів; сплави групи ТВК – для обробки заготовок із пластичних і в'язких і сплавів. Дрібнозернисті тверді сплави BK6M застосовують для обробки заготовок із важкооброблюваних корозійностійких і жароміцних сталей і сплавів, твердих чавунів, бронз, загартованих сталей, сплавів легких металів, сплавів титану, порцеляни, кераміки, скла, феритів. Трикарбідні сплави ТТК відрізняються від груп сплавів BK і ТВК підвищеними зносостійкістю, міцністю й в'язкістю. Їх застосовують для обробки заготовок із важкооброблюваних сталей аустенітного класу.

**Синтетичні надтверді й керамічні матеріали** складають групу нових високопродуктивних інструментальних матеріалів, які забезпечують високу ефективність роботи систем механічної обробки.

У наш час інструментальна промисловість випускає матеріали на основі нітриду бору (композити) і на основі оксиду алюмінію (кераміка).

Існує велика розмаїтість надтвердих матеріалів (НТМ) на основі щільних модифікацій нітриду бору. Групи НТМ розрізняються технологією виробництва, структурами й фізико-механічними властивостями.

Широке застосування отримали НТМ на основі фазового перетворення графітоподібного нітриду бору в кубічний. Виробляють композит 01 (ельбор) і композит 02 (белбор). Їх застосовують для тонкого й чистового

точіння різцями в умовах безударного навантаження і торцевого фрезерування загартованих сталей і чавунів будь-якої твердості, твердих сплавів із вмістом кобальту більше 15 %.

НТМ на основі часткового або повного перетворення в ю р т ц и т н о г о нітриду бору в кубічний також широко використовуються у металообробці. Виробляють композит 10 (гексаніт-Р) і модифікації композита 09-ПТНБ (полікристал твердого нітриду бору), ПТНБ-ИК та ін. Композит 10 (гексаніт-Р) і пластини з композита 10Д (композит 10 на підложці із твердого сплаву) застосовують для попереднього й остаточного точіння і торцевого фрезерування сталей і чавунів будь-якої твердості, твердих сплавів в умовах безударного або ударного динамічного навантаження (наявність на оброблюваній поверхні отворів, пазів, ребер).

Виробляють також НТМ на основі спікання часток к у б і ч н о г о нітриду бору (КНБ). До них відносять: композит 05, кіборіт і ніборіт. Використовують такі технології виготовлення: вдавнення часток КНБ у металеву матрицю; спікання зерен КНБ із зернами зв'язки; спікання в умовах хімічної взаємодії зерен КНБ зі зв'язкою.

Композит 05 застосовують для попереднього й чистового точіння й торцевого фрезерування загартованих деталей із чавунів будь-якої твердості з наявністю поверхневої ливарної кірки.

**Інструментальні керамічні матеріали** поділяють на групи, що розрізняються хімічним складом, методом виробництва й областями раціонального використання.

Оксидна біла кераміка складається з  $Al_2O_3$  з легуючими добавками Mg,  $ZrO_2$  та ін. Марки кераміки: ЦМ332, ВО-13. Її застосовують для чистової й напівчистової обробки незагартованих сталей і сірих чавунів зі швидкостями різання до 900 м/хв.

Оксидно-карбідна (чорна) кераміка, що складається з  $Al_2O_3$  (до 60 %),  $TiC$  (20...40 %),  $ZrO_2$  (20...40 %), інших карбідів тугоплавких металів. Марка кераміки ВОК-60. Її застосовують для чистової й напівчистової обробки ковких, високоміцних і вибілених чавунів та загартованих сталей.

Кераміка на основі нітриду кремнію з легуванням оксидами іттрію, цирконію, алюмінію. Марку сілініт-Р, одержують способом гарячого пресування. Її застосовують для напівчистової обробки чавунів.

Основним напрямком конструювання інструментів з НТМ і кераміки є створення різців і фрез з механічним кріпленням цільних і двошарових круглих та багатограних ріжучих пластин.

**Абразивні та алмазні матеріали.** Абразивні матеріали – це дрібнозернисті порошкові речовини (хімічні сполуки елементів), які використовують для виготовлення абразивних інструментів: шліфувальних кругів, головок, сегментів, брусків. Природні абразивні матеріали (наждак, кварцовий пісок, корунд) застосовують обмежено через неоднорідність їхніх властивостей. У промисловості використовують штучні абразивні матеріали: електрокорунд, карбіди кремнію, карбіди бору, оксид хрому, синтетичні алмази, борсілокарбід, славутич, ельбор, гексаніт.

Абразивні матеріали мають високі твердість, червоностійкість (1800...2000 °С) і зносостійкість. Інструменти з абразивних матеріалів дозволяють обробляти матеріали зі швидкістю різання 15...100 м/с. Абразивні інструменти використовують, головним чином, для остаточної обробки заготовок, коли існують підвищені вимоги до точності й шорсткості оброблених поверхонь.

Шліфувальні електрокорундові круги застосовують для обробки заготовок із матеріалів з високою розривною міцністю. Інструменти із чорного карбіду кремнію застосовують для обробки заготовок із матеріалів з низькою розривною міцністю, а також із в'язких металів і сплавів; інструменти із зеленого карбіду кремнію – для обробки й заточування твердосплавних і мінералокерамічних різальних інструментів. Порошок карбіду бору використовують для притиральних і довідних робіт, наприклад, для доведення твердосплавних інструментів, а також для шліфування заготовок із дуже твердих матеріалів (рубіна, кварцу, корунду). Для виготовлення шліфувальних і полірувальних паст використовують оксид хрому, віденське вапно, трепел.

Борсілокарбід застосовують для обробки деталей із твердих сплавів, рубіна й високотвердих матеріалів. Ельбор слугує заміником алмазів; його застосовують для обробки заготовок із високотвердих матеріалів і конструкційних сталей. Славутич – надтвердий матеріал. Інструменти з нього не поступаються алмазним за зносостійкістю й перевершують їх за міцністю.

Алмази складають особливу групу матеріалів. У промисловості використовують природні (марки А) і синтетичні алмази (марок АСО, АСР, АСВ та ін.). Алмаз є найтвердішим матеріалом, має високі червоностійкість і зносостійкість, у нього практично відсутня адгезія з іншими матеріалами. Недолік – підвищена крихкість. Алмази використовують для виготовлення алмазних інструментів (круги, пилки, стрічки, бруски) і алмазних довідних порошоків. Кристалами алмазів оснащують різальні інструменти (різці, свердла). Маса одиничних кристалів, що йдуть на оснащення інструментів, становить 0,2...0,8 карата (1 карат ~ 0,2 г).

Алмазні різці найбільше використовують при тонкому точінні або розточуванні заготовок зі сплавів алюмінію, бронзи, латуней і неметалічних матеріалів. Алмазний інструмент застосовують для обробки заготовок із твердих матеріалів: германію, кремнію, напівпровідникових матеріалів, кераміки, жароміцних сталей і сплавів. При використанні алмазних інструментів підвищується якість поверхневих шарів деталей. Обробку ведуть зі швидкостями різання до 20 м/с. Поверхні деталей, оброблені за таких умов, мають низьку шорсткість і високу точність розмірів.

НТМ на основі алмазів за технологією виробництва поділяють на дві групи: полікристали алмазів, одержувані фазовим переходом графіту в алмаз, і одержувані спіканням алмазних зерен. До першої групи віднесені карбонадо (АСПК) і баллас (АСБ); до другої групи – СВБН, карбоніт і СКМ. Із СВБН виготовляють циліндричні вставки діаметром до 4 мм і товщиною до 3 мм, які припаюють до вершин твердосплавних пластин.

Полікристали впаюють у циліндричні й прямокутні вставки, які закріплюють в інструментах механічним способом. Виготовляють токарні, прохідні, підрізні й розточувальні різці, касетні регульовані торцеві фрези й інші інструменти.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Назвіть вимоги, що висувають до інструментальних матеріалів.
2. Для виготовлення яких інструментів застосовуються вуглецеві і легovanі інструментальні сталі?
3. Наведіть приклади швидкорізальних інструментальних сталей. Який метал, що входить в склад швидкорізальних сталей, забезпечує їх високі різальні властивості?
4. Яку червоностійкість забезпечують швидкорізальні сталі при різанні?
5. Які групи твердих сплавів використовуються у сучасному машинобудуванні?
6. Схарактеризуйте основні властивості твердих сплавів:
  - вольфрамових (ВК);
  - титановольфрамових (ТВК);
  - титанотанталовольфрамових (ТТК).
7. Які надтверді матеріали використовуються у сучасному машинобудуванні?
8. Схарактеризуйте композити на основі графітоподібного нітриду бора: композит 01 (ельбор) і композит 02 (белбор). Де застосовуються ці композити?
9. Схарактеризуйте композит 10 (гексанит-Р) на основі вюртцитоподібного нітриду бора. Де застосовуються цей композит?
10. Опишіть основні види інструментальної кераміки і назвіть галузі її застосування.
11. У якому вигляді випускаються тверді сплави, СТМ і мінералокераміка? Назвіть способи кріплення пластин із інструментальних матеріалів до корпусів і державок різальних інструментів.
12. Для яких видів обробки застосовуються абразивні матеріали?
13. Які абразивні матеріали застосовуються для виготовлення шліфувальних кругів?
14. Для яких видів обробки різанням використовують полікристали алмазів?

## **Глава 23. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ**

### **§ 23.1. Класифікація і позначення металорізальних верстатів**

Металорізальні верстати призначені для обробки різанням металів та інших конструкційних матеріалів.

За рівнем спеціалізації верстати поділяють на такі групи.

1. Універсальні, призначені для виконання різних операцій на різних деталях. Застосовують їх в одиничному і малосерійному виробництвах.

2. Спеціалізовані, на яких обробляють однотипні деталі різних розмірів. Використовують їх у серійному виробництві.

3. Спеціальні, призначені для обробки певної деталі. Такі верстати використовують у масовому виробництві.

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

За характером виконуваних робіт і типом різальних інструментів усі металорізальні верстати поділяють на 9 груп (табл. 23.1). Кожна група верстатів своєю чергою поділяється на декілька типів.

Класифікація металорізальних верстатів

Група верстатів	Шифр групи	Шифр типу									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Резервні	0										
Токарні	1	Автомати й напівавтомати			Револьверні	Свердильно-відрізні	Карусельні	Токарні і лобові	Багато-різцеві	Спеціалізовані	Різні токарні
		спеціалізовані	одношпиндельні	багатошпиндельні							
Свердильні й розточувальні	2	–	Вертикально-свердильні	Напівавтомати		Координатно-розточувальні	Радіально-свердильні	Горизонтально-розточувальні	Алмазно-розточувальні	Горизонтально-свердильні	Різні
				одношпиндельні	багатошпиндельні						
Шліфувальні й довідні	3	–	Круглошліфувальні	Внутрішнішліфувальні	Обдирнішліфувальні	Спеціалізовані шліфувальні	–	Заточувальні	Плоскошліфувальні	Притиральні і полірувальні	Різні, працюючі абразивом
Комбіновані	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Зубо- і різьбо-оброблювальні	5	Різьбо-різні	Зубодовбальні для циліндричних коліс	Зуборізні для конічних коліс	Зубофрезерні	Для нарізування черв'ячних коліс	Для обробки торців зубів	Різьбофрезерні	Зубооброблювальні і перевірочні	Зубо- і різьбошліфувальні	Різні зубо- і різьбо-оброблювальні
Фрезерні	6	–	Вертикальні консольні	Безперервної дії	–	Копіювальні й гравірувальні	Вертикальні безконсольні	Поздовжні	Консольні широкоуніверсальні	Горизонтальні консольні	Різні
Стругальні, довбальні і протяжні	7	–	Поздовжні		Поперечно-стругальні	Довбальні	Протяжні горизонтальні	–	Протяжні вертикальні	–	Різні стругальні
			одно-стійкові	дво-стійкові							
Розрізні	8	–	Розрізні, працюючі			Правильно-відрізні	Плоскі			–	–
			різцем	абразивним крутом	гладким диском		–	дискові	ножеві		
Різні	9	–	Обпильовальні	Пілона-січні	Правильно- і безцентрово-обдирні	Балансувальні	Для випробування свердел і шліфувальних крутків	Ділильні	–	–	–

Кожній моделі верстата присвоюється номер, що складається з трьох або чотирьох цифр, іноді з додаванням букв, якими позначають додаткові характеристики верстата. Перша цифра вказує номер групи верстата, друга – тип верстата в цій групі. Третя або третя і четверта цифри разом характеризують основний параметр верстата. Для токарних верстатів ці цифри визначають висоту центрів, для револьверних верстатів і токарних автоматів – максимальний діаметр оброблюваного прутка, для свердлильних верстатів – найбільший діаметр отвору, який можна просвердлити одним свердлом на цьому верстаті в сталі середньої твердості.

Буква, що стоїть після першої цифри, вказує на модернізацію (покращення конструкції) базової моделі верстата. Буква, що стоїть у кінці номера, означає модифікацію (видозміну) базової моделі.

Наприклад, найменування моделі 16К20 означає: 1 – група токарних верстатів; 6 – тип верстата – токарно-гвинторізний; К – модифікація верстата (у базову конструкцію верстата внесені деякі зміни); 20 – висота центрів над станиною 200 мм.

За ступенем точності верстата поділяють на п'ять класів: нормальної точності (Н), підвищеної точності (П), високої точності (В), особливо високої точності (А), особливо точні (С). Так, у найменуванні моделі 16К20П буква “П” означає, що клас точності верстата – підвищений, у випадку, коли букви на кінці позначення немає – верстат нормальної точності.

У моделях верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) наприкінці шифру вводять букву “Ф” з цифрою, яка позначає: Ф1 – ручний набір координат переміщення на клавіатурі й цифрова індикація положення робочих органів на дисплеї; Ф2 – позиційна система керування; Ф3 – контурне криволінійне програмне керування; Ф4 – верстат – обробний центр (ОЦ), з комбінованою системою керування для позиційної й контурної обробки. Наприклад, зубофрезерний напівавтомат з комбінованою системою ЧПК позначають 53А20Ф4; вертикально-фрезерний верстат із хрестовим столом і пристроєм цифрової індикації – 6560Ф1. Наявність у верстаті інструментального магазину відображається в позначенні моделі буквою М (наприклад, 2350ПМФ2 – свердлильний верстат з позиційною системою керування підвищеної точності та магазином інструментів).

## **§ 23.2. Приводи і кінематичні характеристики верстатів**

Механічним приводом (далі – привід, привід верстата) називають сукупність пристроїв, які передають рух від джерела руху до робочих органів верстата. Зазвичай у склад приводу входять одна або декілька механічних передач і джерело руху – двигун.

Приводи верстатів можуть бути механічними, гідравлічними, пневматичними й електричними, залежно від застосованого в них джерела енергії. У сучасних металорізальних верстатах як джерело руху зазвичай застосовують один або кілька електродвигунів, такий привід має назву електро механічного.

Для підтримання значень швидкості різання і величини подачі, які відповідають умовам різання, механічний привід верстата повинен забезпечувати можливість ступінчастого або безступінчастого регулювання робочих рухів – частоти обертання шпинделя і величини подачі.

У металорізальних верстатах ряд частот обертання із ступінчастим регулюванням складає геометричну прогресію із знаменником  $\varphi$ :

$$n_{\min} = n_1; n_2 = n_1\varphi; n_3 = n_1\varphi^2; \quad (23.1)$$

$$n_{\max} = n_z = n_1\varphi^{z-1}, \quad (23.2)$$

де  $z$  – кількість різних частот обертання.

Знаменник геометричного ряду

$$\varphi = \sqrt[z-1]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} = \sqrt[z-1]{D}, \quad (23.3)$$

де  $D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$  – діапазон регулювання числа обертів.

Механічною передачею називають механізм, що передає енергію від двигуна до робочого органу машини з перетворенням параметрів руху (частот обертання, обертальних моментів). Найбільш використовуваними передачами в металорізальних верстатах є: пасова, зубчаста, черв'ячна, рейкова, гвинтова.

У механічній передачі елемент, що передає рух, називають *ведучим*, а елемент, що отримує рух, – *веденим*.

Передаточне відношення механічної передачі – число, що показує у скільки разів частота обертання веденого елемента менше або більше, ніж частота обертання ведучого елемента передачі:

$$i = n_2 / n_1 = d_1 / d_2 = z_1 / z_2, \quad (23.4)$$

де  $n_1, n_2$  – частоти обертання ведучого і веденого елементів передачі, відповідно;  $d_1, d_2$  – робочі діаметри ведучого і веденого елементів передачі, відповідно;  $z_1, z_2$  – кількості зубців ведучого і веденого елементів передачі, відповідно.

З формули (23.4) отримаємо:

$$n_2 = n_1 \frac{d_1}{d_2} = n_1 \frac{z_1}{z_2} = n_1 i. \quad (23.5)$$

Якщо до складу приводу входить декілька передач, то його передаточне відношення буде дорівнювати добутку передаточних відношень цих передач, тобто  $i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_m$ , де  $m$  – кількість механічних передач у приводі.

### § 23.3. Механічні передачі і механізми верстатів

**Характеристики механічних передач.** Пасова передача здійснюється плоскими (див. рис. 23.1, а), клиновими (див. рис. 23.1, б), круглими (див. рис. 23.1, в) і поліклиновими (див. рис. 23.1, г) пасами.

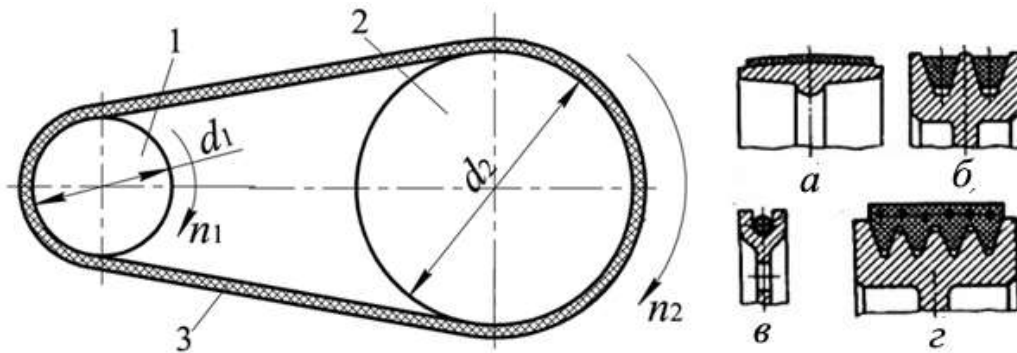


Рис. 23.1. Пасова передача:  
1 – ведучий шків; 2 – ведений шків; 3 – пас

Зубчаста передача складається з 2-х циліндричних (рис. 23.2, *а*) або конічних (рис. 23.3, *б*) зубчастих коліс, менше з яких називають шестернею 1, а більше – зубчастим колесом 2.

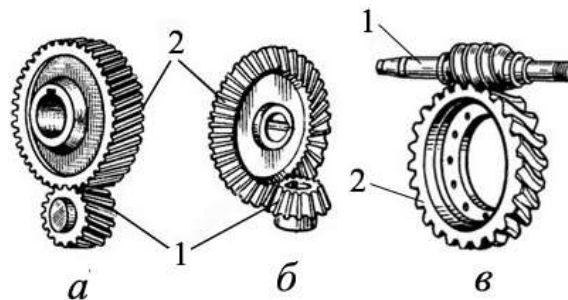


Рис. 23.2. Зубчасті передачі

Черв'ячна передача (рис. 23.2, *в*) складається з черв'яка 1 та черв'ячного колеса 2 і призначена для різкого зниження частоти обертання веденого вала.

Рейкова передача (рис. 23.3, *а*) складається із зубчастого колеса 1 і рейки 2 або черв'яка і рейки.

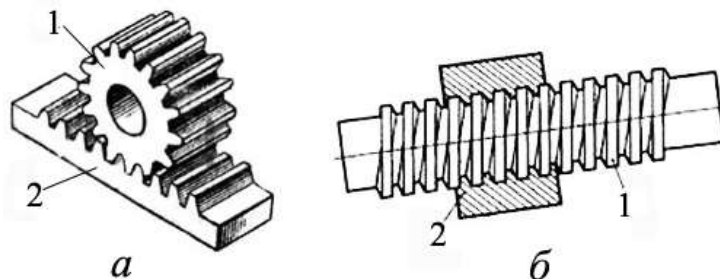


Рис. 23.3. Рейкова (*а*) і передача гвинт-гайка (*б*)

Рейкова передача призначена для перетворення обертального руху зубчастого колеса на поступальний рух рейки або навпаки.

Шлях, який пройдено рейкою, розраховується за залежністю

$$s = pzn = \pi mzn, \text{ мм}, \quad (23.6)$$

де  $n$  – частота обертання зубчастого колеса, об/хв;  $p$  – крок рейки, мм;  $z$  – число зубців зубчастого колеса;  $m$  – модуль колеса, мм.

Передача гвинт-гайка (рис. 23.3, *б*) складається з гвинта 1 та гайки 2 і призначена для перетворення обертального руху гвинта на



поступальний рух гайки.

Шлях гайки за  $n$  обертів гвинта 1 з кроком  $t$  мм при кількості заходів різьби  $k$  визначається за залежністю

$$S = ntk, \text{ мм.} \quad (23.7)$$

**Схеми передач і механізмів верстатів.** Крім розглянутих вище механічних передач у приводах металорізальних верстатів застосовуються різноманітні механізми. У таблиці 23.2 наведені умовні позначення окремих деталей, пристроїв, з'єднань, що входять до складу вказаних механізмів, а також механічних передач, розглянутих вище.

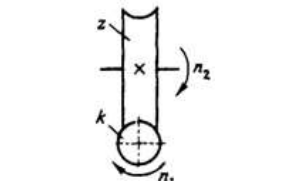
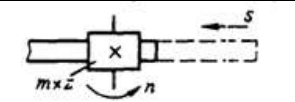
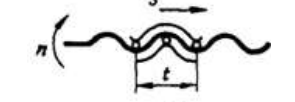
Для ступінчастого змінювання обертів шпинделя верстата або величини подачі широко застосовують коробки із зубчастими передачами, які є найбільш складними і відповідальними агрегатами металорізальних верстатів.

Таблиця 23.2

Умовні позначення передач і механізмів верстатів

Вал, ось	
Кінець шпинделя для центрових робіт	
Ходовий гвинт для передавання руху	
Глухе з'єднання двох співвісних валів	
Еластичне з'єднання двох співвісних валів	
Телескопічне з'єднання двох співвісних валів	
Кулачкова однобічна муфта зчеплення	
Фрикційна однобічна дискова муфта	
Фрикційна однобічна електромагнітна муфта	
Глухе, нерухоме з'єднання деталі з валом	
Рухоме вздовж осі з'єднання деталі з валом	
З'єднання деталі з валом шляхом витяжної шпонки	
Загальне позначення електродвигуна	
Пасова передача	
Зубчаста циліндрична передача	
Зубчаста конічна передача	

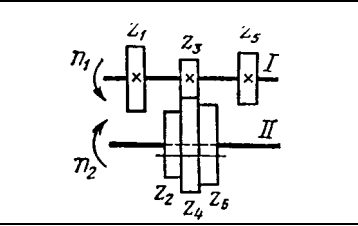
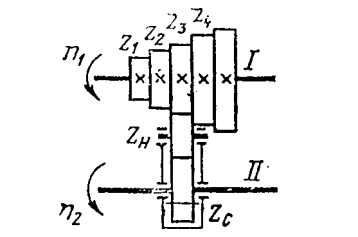
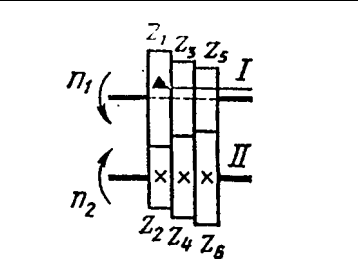
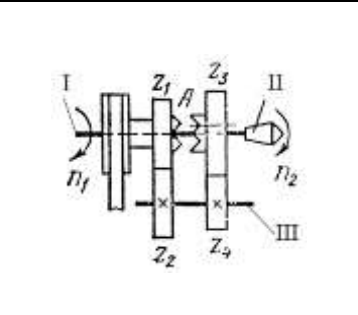
Закінчення табл. 23.2

Черв'ячна передача	
Рейкова передача	
Передача гвинт-гайка	

Незважаючи на різноманітність конструкцій коробок, складаються вони з невеликої кількості елементарних механізмів, побудованих на основі зубчастих передач, опис принципу роботи і кінематичні схеми яких наведені у таблиці 23.3.

Таблиця 23.3

## Принцип роботи і кінематичні схеми механізмів

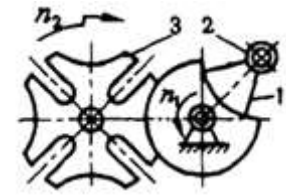
Пересувний блок зубчастих коліс, в якому зубчасті колеса $z_1, z_3, z_5$ жорстко закріплені на ведучому валу I, а зубчасті колеса $z_2, z_4, z_6$ створюють блок, який пересувається по веденому валу II. При цьому створюються або зачеплення $z_1/z_2$ , або $z_3/z_4$ , або $z_5/z_6$ . Таким чином забезпечуються три різних частоти обертання вала II.	
Конус зубчастих коліс з накидним зубчастим колесом застосовують в універсальних верстатах. Зубчасті колеса $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5$ жорстко закріплені на валу I. Рух на вал II передається зубчастим колесом $z_H$ , яке вільно насаджено на проміжному валу, і зубчастим колесом $z_C$ , яке переміщується по валу II на шпонці. Передаточні відношення: $z_1/z_C, z_2/z_C, z_3/z_C, z_4/z_C, z_5/z_C$ забезпечують п'ять різних частот обертання вала II.	
Конус зубчастих коліс з висувною ковзною шпонкою. Зубчасті колеса $z_1, z_3, z_5$ розташовані на валу I. Колесо, в якому розташована висувна шпонка, має жорсткий зв'язок з валом I. Через це колесо рух передається на спряжене з ним одне з зубчастих коліс $z_2, z_4$ або $z_6$ , отже, на вал II. При цьому створюються зачеплення $z_1/z_2$ або $z_3/z_4$ , або $z_5/z_6$ , отже, забезпечуються три різних частоти обертання вала II.	
Механізм з кулачковою муфтою забезпечує дві частоти обертання вала II: – при включеній муфті А здійснюється пряме передавання руху з вала I на вал II, отже, $n_2=n_1$ ; – при виключеній муфті А передавання руху здійснюється через пари коліс $z_1/z_2, z_4/z_3$ , отже:	

$$n_2 = n_1 \frac{z_1 z_4}{z_2 z_3}.$$

<p>Механізм з електромагнітними муфтами, в якому рух з вала I, що обертається з постійною частотою, передається на вал II за допомогою зубчастих коліс <math>z_1/z_2</math>, <math>z_3/z_4</math>. Вмикають одну з цих передач за допомогою електромагнітних фрикційних муфт А і Б. Передаточні відношення різні, і вал II має дві частоти обертання. Механізм використовується у верстатах з ЧПК.</p>	
<p>Механізм реверсування із циліндричними зубчастими колесами. Для зміни напрямку обертання веденого вала 2 перемикають кулачкову муфту А вправо або вліво. У лівому положенні муфти А вал II обертається в бік, протилежний напрямку обертання вала I; у правому положенні муфти А вал II обертається в напрямку, однаковому з напрямком обертання вала I.</p>	
<p>Механізм реверсування із конічними зубчастими колесами. Для зміни напрямку обертання веденого вала II перемикають кулачкову муфту А вправо або вліво.</p>	
<p>Фрикційний варіатор застосовують для безступеневого регулювання частоти обертання веденого вала. У варіаторі шків 1 і 2 мають криволінійну твірну і закріплені, відповідно, на ведучому I і веденому II валах. Осі роликів 3, притиснутих до поверхонь шківів, встановлюють під різним кутами до осі валів, що забезпечує плавну зміну частоти обертання веденого вала.</p>	
<p>Механізм з кулісою, що гойдається, перетворює обертальний рух на зворотно-поступальний. Куліса 5 закріплена на осі O, може гойдатися круг неї. Верхнім кінцем куліса через шарнір <math>O_1</math> зв'язана з повзуном 1. Куліса має прорізь 4, вздовж якої переміщується кулісний камінь 3, що вільно сидить на пальці кулісного колеса 2. При обертанні колеса 2, кулісний камінь переміщується вздовж куліси 5 і гойдає її, а куліса своєю чергою переміщує повзун 1 в прямому або зворотному напрямках.</p>	
<p>Храповий механізм слугує для перетворення обертального руху на переривчасто-поступальний і використовується в приводах руху подачі. При повороті диска А, жорстко закріпленого на валу I, повертається ексцентрично закріплений на ньому палець 1 і тягне за собою шатун 2, шарнірно з'єднаний з ним. Другий кінець шатуна шарнірно з'єднаний з важелем 3, який може вільно обертатись на валу II храпового колеса 7. На іншому кінці важеля встановлені напрямні 4, в яких вільно переміщується у вертикальному напрямку собачка 5. При обертанні диска А важіль 3 обертається на півоберта то проти стрілки годинника, то в зворотному напрямку. У першому випадку собачка 5 западає у впадину храпового колеса 7 і обертає його разом з важелем 3 і валом II проти стрілки годинника. У другому випадку собачка 5 проковзує по пологій поверхні зуба храпового колеса 7 і воно не рухається разом з валом II, в той час як важіль 3 повертається на півоберта у напрямку руху стрілки годинника.</p>	

Для отримання переривчастого руху у верстатах-автоматах застосовують механізм мальтійський хрест. Безперервний обертальний рух водила 1, закріпленого на ведучому валу, через палець 2 перетворюється на переривчастий обертальний рух мальтійського хреста. Якщо хрест має  $z$  пазів, то передаточне відношення механізму:

$$i = \frac{1}{z}$$



### § 23.4. Кінематичні схеми металорізальних верстатів

Кінематична схема верстата являє собою сукупність умовних позначень передач і механізмів, за допомогою яких передається рух від приводу виконавчим органам верстата. Кінематична схема зазвичай складається з декількох кінематичних ланцюгів – окремих послідовностей передач і механізмів, які передають рух певному виконавчому органу верстата.

У металорізальних верстатах розрізняють такі основні кінематичні ланцюги: головного руху; руху подачі; допоміжних рухів.

Використовуючи кінематичний ланцюг при відомому числі обертів ведучого вала, можна визначити частоту обертання будь-якого вала цього ланцюга. У розрахунках рухів кінцевих ланок кінематичного ланцюга переміщення однієї з них вважають вихідним, переміщення другої ланки матиме при цьому цілком певне значення. Рівняння, яке об'єднує розрахункові переміщення кінцевих ланок кінематичного ланцюга, називається рівнянням кінематичного ланцюга або рівнянням кінематичного балансу.

На рис. 23.4 зображена кінематична схема токарно-гвинторізного верстата 16К620. Розглянемо його кінематичні ланцюги.

Кінематичний ланцюг головного руху складається з таких передач і механізмів. Джерелом руху є головний електродвигун приводу ( $P=11$  кВт;  $n=1460$  об/хв), рух з вала якого передається на вал I коробки швидкостей через клинопасову передачу з діаметрами шківів 140/268 мм.

На валу I вільно сидять блок з двох зубчастих коліс 51–56 і зубчасте колесо 50 (цифри на схемі біля шківів означають їх діаметр, а біля зубчастих коліс – кількість їх зубців), а також фрикційна муфта М1, яка дозволяє вмикати, зупиняти шпиндельний вал і змінювати напрямок його обертання. При включенні муфти М1 вліво здійснюється пряме (робоче) обертання шпинделя. При цьому обертання від вала I на вал III передається через подвійний зубчастий блок 34–39. Залежно від його положення, вал III отримує дві частоти обертання (передаточні відношення 56/34 і 51/39). З вала III обертання передається на вал IV при переключенні потрійного блока 47–55–38 (передаточні відношення 29/47, 21/55 і 38/38).



верстата 16К20, схема якого наведена на рис. 23.4, структурна формула кінематичного ланцюга головного руху має вигляд:

$$1460 \cdot \frac{140}{268} \cdot 0,985 \left| \begin{array}{c|c|c} 56 & 29 & 60 \\ 34 & 47 & 48 \\ \hline & 21 & 30 \\ & 55 & 60 \\ \hline 51 & 38 & 30 \\ 39 & 38 & 60 \end{array} \right| = n_{\phi i}, \quad (23.8)$$

де передаточні відношення перебору:

$$i_{i \ddot{a} \delta} = \frac{45}{45} \cdot \frac{18}{72}; \quad i_{i \dot{a} \delta} = \frac{15}{60} \cdot \frac{18}{72}. \quad (23.9)$$

Використовуючи структурну формулу (23.8), з урахуванням (23.9) можна отримати рівняння кінематичного ланцюга головного руху для визначення мінімальної  $n_{\min}$  і максимальної  $n_{\max}$  частот обертання шпинделя:

$$n_{\min} = 1460 \cdot \frac{140}{168} \cdot 0,985 \cdot \frac{51}{39} \cdot \frac{21}{55} \cdot \frac{1}{16} \cdot \frac{30}{60} = 12,5 \text{ об/хв};$$

$$n_{\max} = 1460 \cdot \frac{140}{168} \cdot 0,985 \cdot \frac{56}{34} \cdot \frac{38}{38} \cdot \frac{60}{48} = 1600 \text{ об/хв}.$$

Зворотне (неробоче) обертання шпинделя здійснюється з різними частотами при включенні муфти М1 вправо через проміжний реверсивний блок 24–36 на вал III (передаточні відношення 50/24, 36/38). З вала III рух передається на шпиндель так само, як і у випадку прямого (робочого) руху, причому зворотній рух шпинделя буде прискореним.

Кінематичний ланцюг руху подачі передає рух таким чином. Від шпиндельного вала VII рух передається на вал VIII при пересуванні блока зубчастих коліс 60–45 вліво (передаточне відношення 60/60). Для нарізання різьби використовується ланка збільшення кроку, при цьому зубчасте колесо 45 блока 60–45 зачіплюється з колесом 45 вала IV. З вала VIII на вал IX через реверсний механізм передається пряме обертання при пересуванні колеса 45 вправо (передаточне відношення  $\frac{30}{25} \cdot \frac{25}{45}$ ). При зворотному обертанні колесо 45 пересувається вліво (30/45), і рух на вал X коробки подач передається через гітару змінних коліс. Гітару зі змінними колесами К, L, М, N (К=60; L=86; М=73; N=36) застосовують для:

– точіння і нарізання метричної і дюймової різьби при включенні її у вигляді  $K/N$ ;

– нарізання модульної і пітчевої різьби при включенні її у вигляді  $\frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N}$ .

При налагодженні верстата на робочу подачу від ходового вала і при нарізанні метричної та дюймової різьби обертання з вала X (муфта М3 включена вліво) передається через зубчасті колеса 28/28 на вал XI, з якого за допомогою пар 28/28 або 28/35, або 30/25, або 42/30 на вал XII, а потім на вал



## моделі 16К20Ф3С32

Ланцюг головного руху. Обертання шпинделя здійснюється від високомоментного електродвигуна постійного струму М1 ( $P = 10$  кВт,  $n = 1460$  об/хв). У шпindelній бабці перемиканням зубчастого блока Б вручну можна одержати три безступінчастих діапазони частот обертання шпинделя: 12,5...200; 50...800 та 125...800 об/хв.

Рух з вала I на вал VI (шпindelь) передається трьома можливими варіантами кінематичних ланцюгів:

$$1460 \cdot \frac{105}{264} \cdot 0,95 \cdot \frac{48}{48} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{24}{60} \cdot \frac{30}{60} = n_{\phi i} ;$$

$$1460 \cdot \frac{105}{264} \cdot 0,95 \cdot \frac{48}{48} \cdot \frac{30}{60} = n_{\phi i} ;$$

$$1460 \cdot \frac{105}{264} \cdot 0,95 \cdot \frac{48}{48} \cdot \frac{60}{48} = n_{\phi i} .$$

Частоти обертання шпинделя в одному діапазоні частково перекриваються частотою обертання шпинделя в іншому діапазоні.

Рух подачі. Приводами рухів поздовжньої й поперечної подач слугують високомоментні електродвигуни постійного струму: для руху поздовжньої подачі – М2, для руху поперечної подачі – М3. Електродвигуни працюють у сполученні з датчиками ВЕ178, які слугують для перетворення кутових переміщень на електричні імпульси й призначаються для інформаційного зв'язку положень об'єкта, що позиціонується, і пристрою числового програмного керування (ПЧПК).

Регулювання швидкостей подач – безступінчасте. Переміщення супорта за один імпульс: поздовжнього 0,005 мм; поперечного 0,002 мм. Як приводи супортів, що перетворюють обертотий рух на поступальний, використані безззорні кулькові гвинтові пари із кроком різьби гвинтів: поздовжнього 10 мм, поперечного 5 мм.

При нарізуванні різьби необхідно строго погоджувати частоту обертання шпинделя й швидкість переміщення поздовжнього супорта, виходячи з умови: за один оберт шпинделя переміщення поздовжнього супорта (різця) має рівнятися кроку різьби, що нарізують. Для узгодження рухів у верстаті використаний датчик ВЕ178 із приводом від шпинделя через зубчасту пару 60/60.

Крім зазначених кінематичних ланцюгів верстат має привід автоматичного закріплення й відкріплення оброблюваної заготовки; привід автоматичного повороту шестипозиційного дискового різцетримача; привід подачі мастильно-охолоджувальної рідини; привід системи мащення.

Верстат може працювати у парі із промисловим роботом, що забезпечує автоматичну установку заготовок у патроні верстата й зняття з верстата оброблених деталей. Після обладнання верстата промисловим роботом і тактовим столом для переміщення заготовок і деталей утворюється гнучкий виробничий модуль.



Порівнюючи кінематичні схеми верстатів 16К20 (з ручним управлінням) і 16К20Ф3С32 (з ЧПК), можемо відзначити, що наявність програмного управління верстатом значно спрощує його кінематику, забезпечує більші можливості налагодження, безступінчасте регулювання частот обертання шпинделя і рухів подач, автоматизацію основних і допоміжних операцій процесу обробки різанням.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. На які групи поділяються металорізальні верстати, залежно від рівня їх спеціалізації?
2. Як класифікують металорізальні верстати за ступенем точності?
3. Як складається номер верстата? Наведіть приклади номерів верстатів.
4. Якими способами регулюються частоти обертання у металорізальних верстатах?
5. Дайте визначення механічної передачі.
6. Що таке передаточне відношення механічної передачі?
7. Наведіть приклад залежності для визначення передаточного відношення механічної передачі.
8. Схарактеризуйте будову пасової передачі. Назвіть типи пасових передач, залежно від форми перерізу паса.
9. Які типи зубчастих передач застосовуються у металорізальних верстатах? Як визначається передаточне відношення зубчастої передачі?
10. Дайте опис будови черв'ячної передачі і назвіть область її застосування.
11. У яких випадках застосовуються рейкова передача і передача гвинт–гайка?
12. Які механізми використовуються у металорізальних верстатах:
  - для ступінчастої зміни частоти обертання;
  - для реверсування валів?
13. Дайте визначення кінематичної схеми металорізального верстата.
14. З яких основних кінематичних ланцюгів складається кінематична схема верстата?
15. Що таке рівняння кінематичного ланцюга?
16. Що таке структурна формула кінематичного ланцюга, як вона використовується для розрахунку частот обертання валів верстата?
17. Назвіть основні відзнаки кінематичних схем верстата з ЧПК і верстата з ручним управлінням.

## **Глава 24. ВЕРСТАТИ ТОКАРНОЇ ГРУПИ. ОСНОВНІ ВИДИ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ**

### **§ 24.1. Загальна характеристика обробки точінням**

Обробка заготовок точінням здійснюється у результаті двох робочих рухів: обертового руху заготовки (головний рух різання) і поступального руху різального інструмента – різця (рух подачі). Рух подачі здійснюється паралельно осі обертання заготовки (п о з д о в ж н я п о д а ч а), перпендикулярно до осі обертання заготовки (п о п е р е ч н а п о д а ч а), під кутом до осі обертання заготовки (п о х и л а п о д а ч а).

Застосовують кілька різновидів точіння:

- обточування – обробка зовнішніх поверхонь;
- розточування – обробка внутрішніх поверхонь;

– підрізання – обробка плоских торцевих поверхонь;  
 – відрізання – поділ заготовки на частини або відрізання готової деталі від заготовки – пруткового прокату.

На вертикальних напівавтоматах, автоматах і токарно-карусельних верстатах заготовки мають вертикальну вісь обертання, на токарних верстатах інших типів – горизонтальну. На токарних верстатах виконують ч о р н о в у , на п і в ч и с т о в у й ч и с т о в у обробку поверхонь заготовок.

## § 24.2. Основні типи токарних верстатів

Основні типи верстатів токарної групи такі.

1. Автомати й напівавтомати одношпindelні.
2. Автомати й напівавтомати багатошпindelні.
3. Револьверні.
4. Свердлильно-відрізнi.
5. Карусельні.
6. Токарні і лобові.
7. Багаторіздеві.

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

З усіх типів верстатів токарної групи на машинобудівних заводах і в ремонтних майстернях найчастіше застосовують токарні і лобові верстати. Залежно від висоти над станиною, їх поділяють на малі ( $H \leq 150$  мм), середні ( $H = 150 \dots 300$  мм) і великі ( $H > 300$  мм). Найпоширенішими є середні токарно-гвинторізнi верстати, типовим представником яких є 1К62 і його більш нова модифікація 16К20.

## § 24.3. Будова і оснастка токарного верстата та основні види токарних робіт

**Основні частини токарно-гвинторізного верстата.** Токарно-гвинторізнiй верстат має таку будову (рис. 24.1).

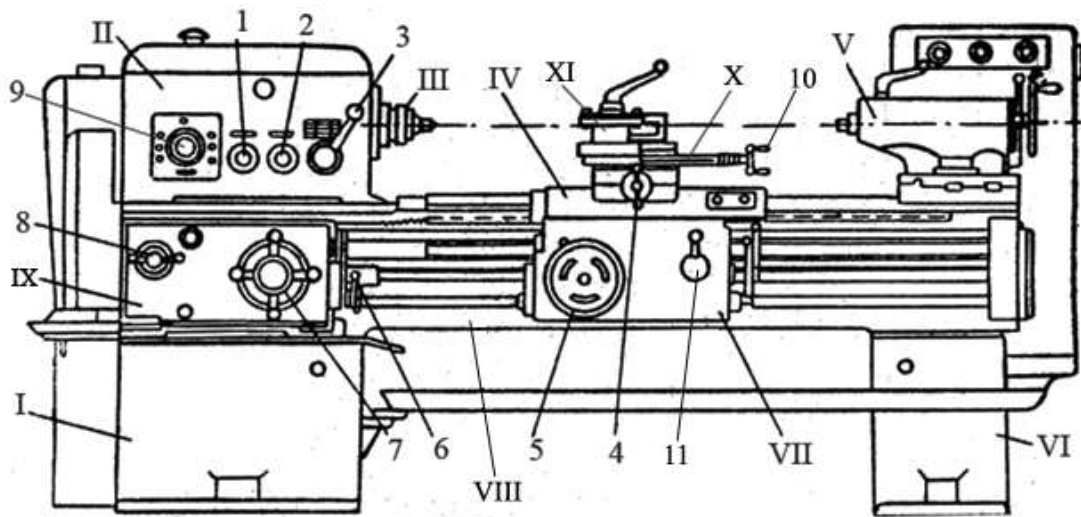


Рис. 24.1. Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата

На передній I і задній VI тумбах закріплена станина VIII з призматичними напрямними, яка слугує для монтажу вузлів верстата. В передній тумбі змонтований електродвигун головного приводу верстата, в задній тумбі встановлено бак для мастильно-охолоджуючої рідини (МОР) і насосну станцію для її подавання в зону різання.

У передній бабці II змонтовані головний вал верстата – шпиндель III, і коробка швидкостей. Остання передає обертальний рух шпинделю із закріпленою в ньому заготовкою і забезпечує зміну частоти обертання шпинделя за допомогою блоків зубчастих коліс, які переміщуються рукоятками.

Шпиндель має наскрізний отвір для пропускання прутків. У передній його частині встановлюють або затискний пристрій для установки заготовки (затискний патрон), або передній центр.

Коробку подач IX кріплять до лицевого боку станини. У ній змонтовані механізми і передачі, що дозволяють отримати різні швидкості руху різця відносно заготовки – рухи поздовжньої і поперечної подач. Механізм коробки подач отримує обертальний рух від шпинделя і передає його ходовому гвинту або ходовому валу.

Поздовжній супорт IV при ручному або автоматичному переміщенні по напрямним станини забезпечує поздовжню подачу різцю. По напрямним поздовжнього супорта, перпендикулярно до осі обертання заготовки, переміщується поперечна каретка, яка забезпечує поперечну подачу різцю. На поперечній каретці змонтований верхній поворотний супорт X, який також може переміщуватися у поперечному напрямку вручну або автоматично. На верхньому супорті змонтовано чотирьохпозиційний різцетримач XI, в якому можна одночасно встановлювати чотири різці. Верхні різцеві полозки можна переміщати по їх напрямних тільки вручну. Поворотний круг разом із різцевими полозками і різцетримачем можна повертати навколо вертикальної осі на будь-який кут у діапазоні  $\pm 90^\circ$ , що забезпечує можливість обробки конічних поверхонь.

До поздовжнього супорта кріпиться фартух VII, в якому змонтовані механізми і передачі, які перетворюють обертальний рух ходового валика або ходового гвинта на поступальні рухи супортів.

Задня бабка V встановлена з правого боку станини і переміщується по її напрямним. У піноль (рухома частина у формі гільзи) задньої бабки встановлюють задній центр або інструмент для обробки отворів (свердла, зенкери, розвертки). Бабка переміщується вручну по напрямним станини і може бути зафіксована в певному положенні. Піноль також переміщується в поздовжньому напрямі в корпусі бабки за допомогою гвинтової передачі і фіксується в потрібному положенні. Корпус задньої бабки зміщується відносно напрямних станини у поперечному напрямку на деяку величину, що застосовується у обточуванні зовнішніх конічних поверхонь.

**Органи керування верстатом.** Керування верстатом (див. рис. 24.1) здійснюється за допомогою рукояток, маховичків та інших органів керування, перелік яких поданий нижче:

- 1 – рукоятка перемикання ланки збільшеного кроку;
- 2 – “грибок” керування для нарізання правих і лівих різьб;
- 3, 9 – рукоятки перемикання швидкостей;
- 4 – рукоятка поперечного переміщення супорта;
- 5 – маховичок ручного поздовжнього переміщення супорта;
- 6 – рукоятка вмикання, вимикання і реверса обертання шпинделя;
- 7, 8 – рукоятки перемикання коробки подач;
- 10 – рукоятка ручного переміщення верхньої частини супорта;
- 11 – рукоятка вмикання автоматичних подач супорта.

**Пристрої для закріплення заготовок на токарному верстаті.** Для закріплення оброблюваних заготовок на токарних верстатах застосовують різні пристрої: кулачкові патрони, центри, планшайби, люнети. Надходять вони разом із верстатом, тому їх називають оснасткою верстата.

Найбільш поширеним затискним пристроєм є трикулачковий самоцентруючий патрон (рис. 24.2).

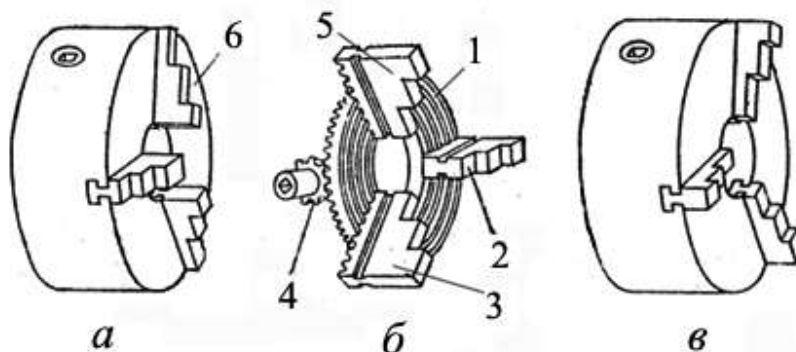


Рис. 24.2. Будова трикулачкового самоцентруючого патрона:

*a* – загальний вигляд патрона з прямими кулачками; *б* – механізм переміщення кулачків; *в* – патрон із зворотними кулачками

Кулачки 2, 3, 5 (рис. 24.3, *б*) переміщуються одночасно по спіралі на дискові 1, у витки якої кулачки заходять своїми нижніми виступами. Зворотній

бік диска являє собою конічне колесо, спряжене з трьома малими конічними колесами 4. При повороті ключем одного з коліс 4 прокручується диск 1, який за допомогою спіралі переміщує одночасно і рівномірно всі три кулачки по пазам корпуса 6 патрона. За такого руху кулачків відбувається одночасно центрування і закріплення заготовки.

У корпусі патрона можна встановлювати прямі (рис. 24.2, *a*) або зворотні (рис. 24.2, *б, в*) кулачки. Прямі кулачки призначені для затискування деталей по зовнішній поверхні у разі установа їх між центральними виступами кулачків або по внутрішній поверхні за наявності у них отвору достатнього діаметра. Зворотні кулачки являють собою повернені на  $180^\circ$  прямі кулачки й використовуються для затискування деталей верхніми виступами кулачків по зовнішній поверхні великого діаметра.

У трикулачковому патроні закріплюють заготовки круглого або шестигранного перерізів.

Чотирикулачковий несамоцентруючий патрон (рис. 24.3, *a*) являє собою масивний корпус з чотирма радіальними пазми, в кожному з яких встановлено кулачок. Кулачки можна переміщувати в радіальному напрямку, незалежно один від одного, тому в такому патроні можна закріплювати заготовки будь-якої форми.

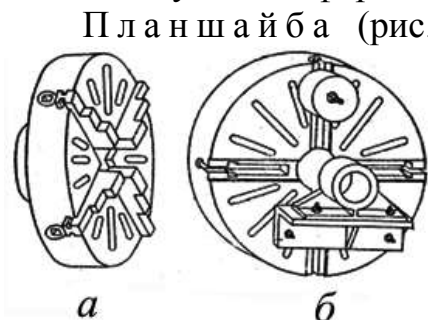


Рис. 24.3. Затискні пристрої токарного верстата:

*a* – чотирикулачковий патрон;  
*б* – планшайба

Планшайба (рис. 24.3, *б*) – масивний диск, який нагвинчують на шпindelь верстата. У планшайбі зроблено наскрізні радіальні пази, крізь які можна пропустити болти для закріплення заготовок або кріпильних пристроїв.

Центри (рис. 24.4, *a...д*) разом з повідковим патроном (рис. 24.4, *e*) застосовують для закріплення довгих заготовок, наприклад, валів.

Один центр (передній) встановлюють в конічний отвір шпинделя, а другий (задній) – в конічний отвір пінолі задньої бабки. Для установки заготовки в центрах в її торцях попередньо свердлять центрові отвори, кут опорного конуса яких дорівнює куту опорної частини конуса центра і становить зазвичай  $60^\circ$ .

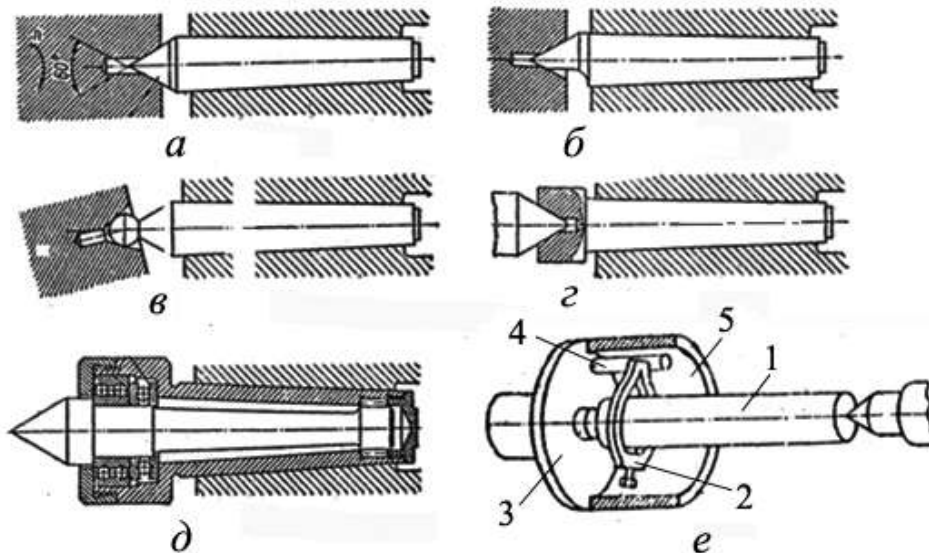


Рис. 24.4. Задні центри (а...д) і повідковий патрон (е) для обробки довгих заготовок на токарних верстатах

Залежно від виконуваної роботи застосовують різноманітні центри:

- прості (рис. 24.4, а) – для обробки зовнішніх поверхонь заготовок;
- зрізані (рис. 24.4, б) – для підрізування торцевої площини заготовки;
- кулькові (рис. 24.4, в) – для обробки поверхонь методом зміщення задньої бабки;
- зворотні (рис. 24.4, г) – для обробки заготовок настільки малого діаметра, що в них неможливо зробити центрові отвори (в цьому випадку кінці заготовок роблять конічними);
- обертові (рис. 24.4, д) – для обробки заготовок на великих обертах; обертовий центр спирається на підшипники кочення, які вмонтовано в корпусі.

Для передавання обертання закріпленій у центрах заготовці 1, на одному її кінці за допомогою болта закріплюють хомутик 2 (див. рис. 24.4, е). На шпиндель верстата нагвинчують повідковий патрон 3, у диску якого закріплено палець 4. Повідковий патрон має запобіжний кожух 5. При обертанні повідкового патрона разом із шпинделем палець упирається в хомутик і передає через нього обертання заготовці.

Л ю н е т и (рис. 24.5) – додаткові опори, які застосовують для зменшення прогину довгих заготовок від дії сил власної ваги і сил різання. Довгими заготовками вважають такі, в яких відношення довжини заготовки до її діаметра більше 12.

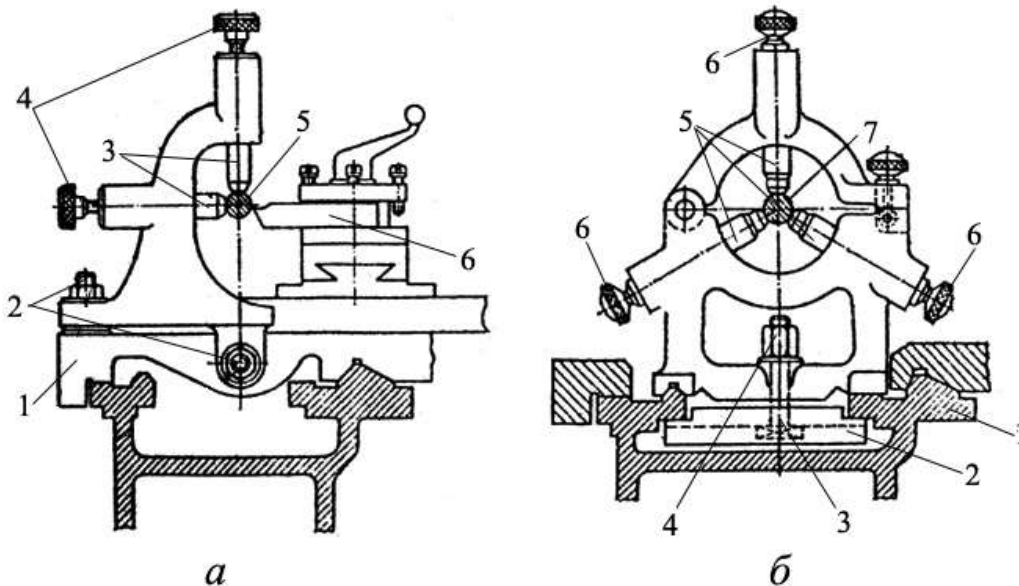


Рис. 24.5. Люнети для токарних верстатів:  
*a* – рухомий; *б* – нерухомий

Люнети бувають рухомі і нерухомі. Рухомий люнет (рис. 24.5, *a*) кріплять до супорта 1 двома болтами 2, тому під час обробки заготовки він переміщується разом із ним. Рухомий люнет має два кулачки 3, які за допомогою гвинтів 4 можна переміщувати в радіальному напрямку до контакту торцевої поверхні кожного кулачка з оброблюваною заготовкою 5. Різець 6 у різцетримачі встановлюють попереду кулачків, щоб кулачки люнета ковзали по обробленій поверхні.

Нерухомий люнет (рис. 24.5, *б*) кріплять до станини 1 за допомогою планки 2, болта 3 і гайки 4. Він має три кулачки 5, кожен з яких за допомогою гвинтів 6 можна переміщати незалежно один від одного в радіальному напрямку. Поверхня заготовки 7, по якій ковзають кулачки нерухомого люнета, повинна бути оброблена.

**Основні роботи, що виконують на токарно-гвинторізних верстатах:** обробка циліндричних поверхонь, площин, прорізування канавок, відрізання (див. рис. 24.6).

Циліндричні поверхні обробляють з поздовжнім переміщенням  $S_{\text{різ}}$  супорта або різцевих полозків. Зовнішні циліндричні поверхні обробляють прохідними прямими (рис. 24.6, *a*) або відігнутими різцями.

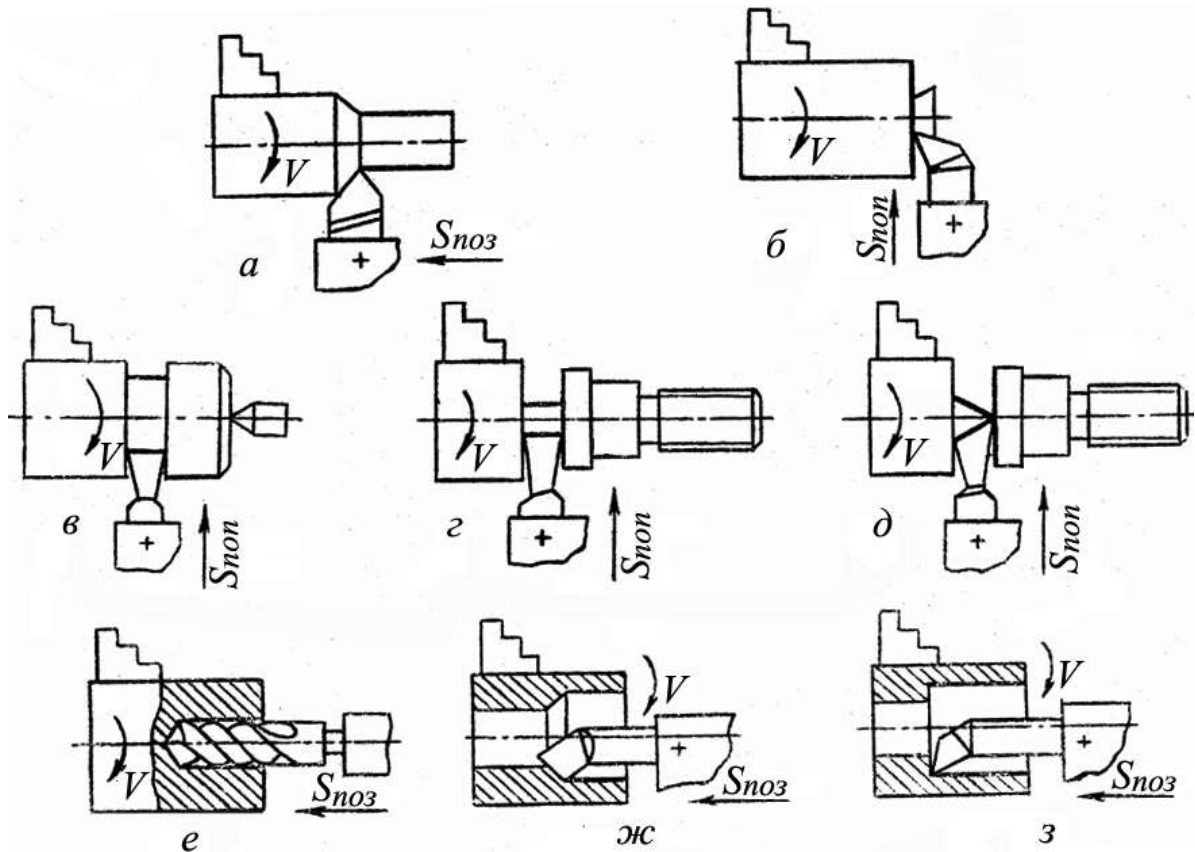


Рис. 24.6. Основні види токарної обробки

Пристрої для закріплення заготовок вибирають залежно від їх форми і розмірів. Заготовки типа “вал” залежно від відношення довжини до діаметра рекомендують кріпити так: при  $l/d \leq 4$  – у патроні; при  $4 < l/d \leq 12$  – у центрах; при  $12 < l/d \leq 40$  – у центрах з додатковою опорою заготовки на кулачки рухомого або нерухомого люнета.

Підрізування торців виконують підрізними (рис. 24.6, б), а також прохідними прямими або відігнутими різцями з поперечною подачею  $S_{iri}$ .

Канавки прорізають канавковими різцями (рис. 24.6, в), а відрізають заготовки з поперечною подачею  $S_{iri}$  канавковими і відрізними (рис. 24.6, г, д) різцями. При відрізуванні деталі різцями з нахиленою кромкою не потрібна подальша обробка торця.

Внутрішні циліндричні поверхні обробляють: осьовими інструментами (рис. 24.6, е) (свердлами, зенкерами, розвертками), які встановлюють в пінолі задньої бабки або за допомогою державки в різцетримачі; розточувальними різцями для наскрізних і глухих отворів (рис. 24.6, ж, з). Інструменту надають поздовжньої подачі  $S_{iic}$ .

**Обробка конічних поверхонь.** Їх обробляють такими методами.

1. Різцем 1 з похилою різальною кромкою (див. рис. 24.7, а) обробляють зовнішні і внутрішні конічні поверхні заготовки 2, довжина яких не перевищує 20...25 мм.

2. За допомогою повороту верхньої каретки 1 супорта (рис. 24.7, б) обробляють зовнішні і внутрішні конічні поверхні заготовки 2, довжина яких не перевищує довжини ходу різцевих полозків. Напрямні 3 різцевих полозків



встановлюють під кутом  $\varphi$  до осі обертання заготовки, який дорівнює половині кута при вершині оброблюваного конуса.

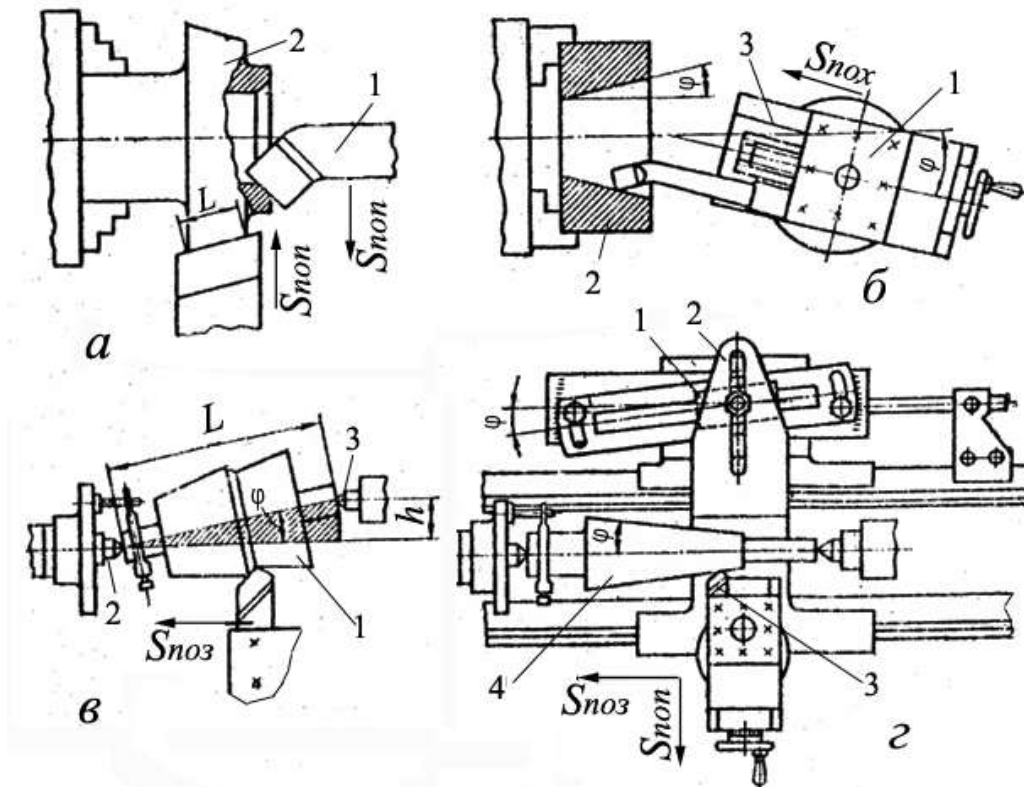


Рис. 24.7. Обробка конічних поверхонь на токарному верстаті

3. Методом зміщення задньої бабки (рис. 24.7, в) обробляють тільки зовнішні конічні поверхні, у яких довжина твірної порівняно велика, а кут при вершині конуса не перевищує  $10...12^\circ$ . Заготовку 1 в цьому випадку закріплюють у центрах 2 і 3, а корпус задньої бабки зміщують у поперечному напрямку на величину  $h = L \sin \varphi$ .

4. Більш продуктивним і точним є метод обробки конусів за допомогою копіювальної конусної лінійки (рис. 24.7, г), що кріпиться на кронштейні до станини. При автоматичній або ручній подачі повзунок 1, тяга 2 і різець 3 переміщуються паралельно твірній оброблюваного конуса.

**Обробка фасонних поверхонь.** Фасонні поверхні незначної довжини обробляють фасонними різцями з поперечною радіальною або тангенціальною подачею. У першому випадку різці мають профіль, який є дзеркальним відображенням профілю деталі (радіальні різці); у другому випадку – профіль, кожна точка якого формоутворює певну точку профілю деталі при тангенціальному напрямку поперечної подачі (тангенціальні різці).

Фасонні поверхні значної довжини обробляють з використанням копирів за допомогою механічної, гідравлічної або електромеханічної слідкуючої системи.

**Нарізання різьби** на токарному верстаті можна здійснити плашками, мітчиками або різьбовими різцями. Для нарізання різцем різьби з кроком  $P_{г0}$

верстат настроюють таким чином, щоб за кожний оберт шпинделя різець переміщувався на вказаний крок, тобто

$$P_{i\delta} = n_{i\delta} \cdot i \cdot P_{\delta\delta},$$

де  $i$  – передаточне відношення ланцюга, який передає рух від шпинделя до ходового гвинта з кроком  $P_{\delta\delta}$ .

Різьби звичайної точності нарізують, використовуючи коробку подач, а при нарізанні різьби підвищеної точності потрібного налагодження верстата досягають за допомогою гітари змінних зубчастих коліс.

Правильність положення різця перевіряють за допомогою шаблона, різьбу нарізають за кілька проходів. Після кожного з них різець відводять від заготовки і супорт повертають у вихідне положення.

При нарізанні багатходових різьб, після нарізування кожної гвинтової канавки перед наступною, верстат зупиняють і здійснюють ділення (поворот заготовки на кут  $\frac{2\pi}{n}$ , або переміщують різець вздовж осі при нерухомій заготовці на величину  $\frac{P_{i\delta}}{n}$ , де  $n$  – число заходів різьби.

#### § 24.4. Обробка на карусельних та багаторізцевих верстатах

**Токарно-карусельні верстати** (рис. 24.8) призначені для обробки важких заготовок великого діаметра і незначної довжини (звичайно до 0,7 діаметра).

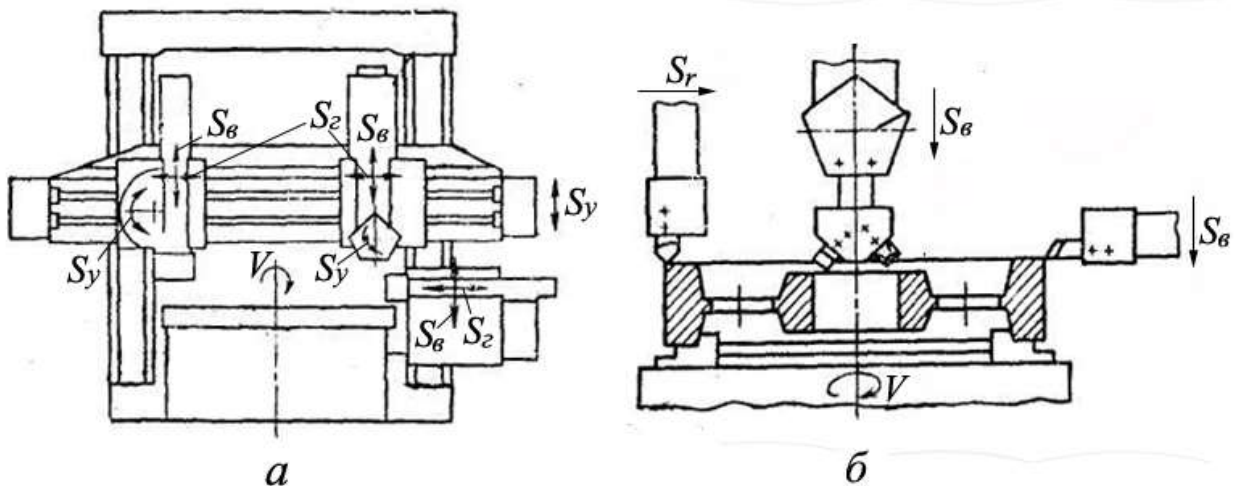


Рис. 24.8. Загальний вигляд (а) і схема обробки заготовки (б) на карусельному верстаті

Заготовки (шківки, маховики, станини і т. п.) встановлюють і закріплюють на планшайбі, що обертається навколо вертикальної осі. Ріжучі інструменти закріплюють у різцетримачах супортів та гніздах револьверної головки, які встановлені на стояках.

Карусельні верстати виконують одностійковими – для обробки заготовок діаметром до 1,5 м і двостійковими – для обробки заготовок

діаметром до 24 м, масою до 200 т. Вони мають 2, 3 або 4 супорти з незалежним управлінням, що дає можливість обробляти заготовку одночасно кількома інструментами, закріпленими в різних супортах.

**Багаторізцеві токарні верстати** мають два незалежні супорти: передній 1 і задній 2 (рис. 24.9). У кожному з них закріплюють по кілька різців, які працюють одночасно.

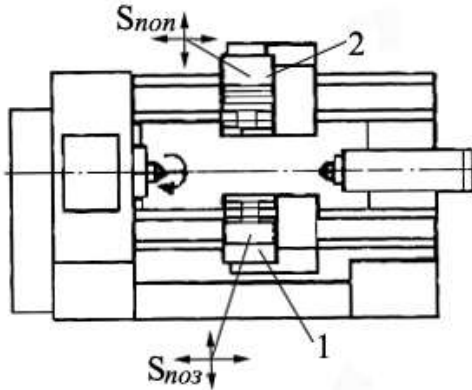


Рис. 24.9. Загальний вигляд токарного багаторізцевого верстата:  
1 – передній супорт; 2 – задній супорт

Передній супорт має тільки поздовжню подачу, тому в ньому встановлюють різці для обробки циліндричних поверхонь. Задній супорт має тільки поперечну подачу, тому в ньому встановлюють різці для обробки торцевих площин, фасок, канавок, коротких конічних і фасонних поверхонь.

На багаторізцевих верстатах обробляють різні деталі: ступінчасті вали, заготовки зубчастих коліс, диски тощо. Для закріплення заготовок застосовують різні пристрої: центри, трикулачкові самоцентруючі патрони, оправки тощо.

## § 24.5. Обробка на токарних автоматах і напівавтоматах

**Автоматами** називають верстати, на яких після налагодження обробка здійснюється автоматично.

**Напівавтоматами** називають верстати, в яких увесь цикл обробки і зупинення верстата після її закінчення здійснюється автоматично, а зміна заготовок і пуск верстата – вручну.

Частіш за все використовують автомати і напівавтомати токарно-револьверні, багатошпindelні паралельної і послідовної обробки.

**Токарно-револьверні автомати** (див. рис. 24.10) призначені для обробки достатньо великих партій деталей, що мають порівняно складну форму, для формоутворення якої застосовуються різні інструменти: різці, свердла, зенкери, розвертки, мітчики, плашки та ін. Типовими деталями, що обробляють на револьверних автоматах і напівавтоматах, є болти, гвинти, гайки, шайби, втулки, валики тощо.

Револьверні верстати відрізняються від токарних, головним чином, тим, що в них немає задньої бабки і ходового гвинта, а на поздовжньому супорті 5 особливої конструкції встановлено багатопозиційну револьверну головку. Всі потрібні інструменти встановлюють заздалегідь у певній послідовності в револьверній головці та поперечних супортах і під час обробки заготовки їх по черзі швидко вводять у роботу.

Розрізняють револьверні верстати з **в е р т и к а л ь н о ю** (рис. 24.10, а) і **г о р и з о н т а л ь н о ю** (рис. 24.10, б) осями обертання револьверної головки.

Верстати першого типу, крім револьверного супорта, мають один або два поперечні супорти для обробки заготовок відрізними, канавковими, фасонними різцями та іншими інструментами, що працюють з поперечною подачею.

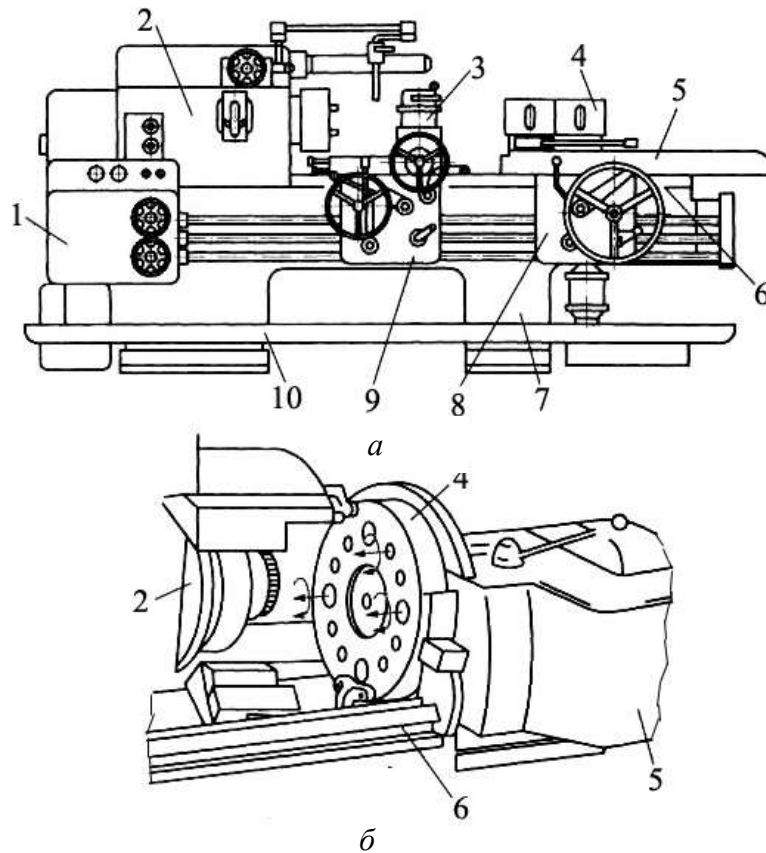


Рис. 24.10. Токарно-револьверний верстат з вертикальною (а) і горизонтальною (б) віссю обертання револьверної головки:

1 – коробка подач; 2 – шпиндельна бабка; 3 – поперечний супорт; 4 – револьверна головка; 5 – поздовжній супорт; 6 – напрямна; 7 – станина; 8, 9 – фартухи поздовжнього й поперечного супортів відповідно; 10 – піддон

На рис. 24.11 наведена схема налагодження токарно-револьверного верстата з вертикальною віссю револьверної головки для обробки різьбової пробки і показана послідовність операцій. Поверхні заготовки в поз. 2, 4, 7 обробляють з подачі поперечного супорта, в поз. 3, 4, 5, 6 – з поздовжньої подачі револьверної головки.

Верстати другого типу мають тільки один поздовжній супорт із круглою револьверною головкою, який дає змогу здійснити два рухи подачі: поздовжній – при переміщенні супорта по напрямних верстата, і круговий – повільне обертання головки при нерухомому супорті.

Верстати застосовуються в серійному виробництві для виготовлення деталей складної конфігурації із прутка або окремих заготовок. Залежно від цього верстати поділяють на пруткові й патронні.

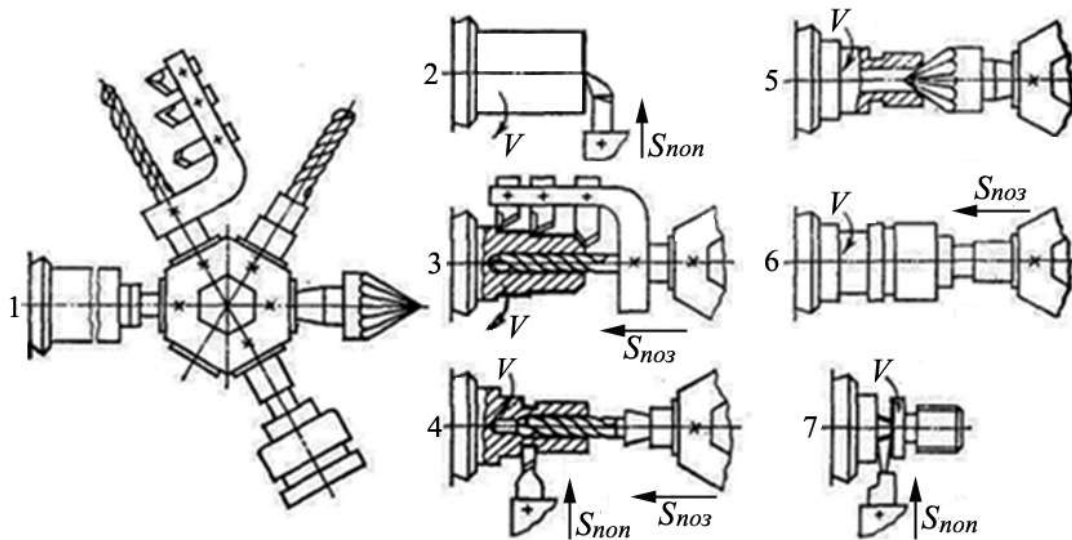


Рис. 24.11. Схема налагодження токарно-револьверного верстата для обробки різьбової пробки:

1 – подача прутка до упору; 2 – підрізання правого торця; 3 – точіння двох циліндричних поверхонь, зняття фаски і свердління отвору; 4 – зенкування отвору і точіння кільцевої канавки; 5 – зенкування; 6 – нарізання різьби; 7 – відрізка деталі

**Багатошпindelні автомати.** Токарні багатошпindelні автомати паралельної обробки заготовок (рис. 24.12, а) використовують у масовому виробництві для одночасної обробки декількох (за кількістю шпindelів) однакових деталей. Заготовки у вигляді прутків подають у зону обробки на довжину, рівну довжині оброблюваної деталі. Потім прутки затискаються цанговими патронами шпindelів і вмикається їхнє обертання. Обробку заготовок ведуть фасонними різцями, встановленими у передньому поперечному супорті проти кожного шпинделя верстата. По закінченні обробки заготовки відрізаються відрізними різцями, встановленими в задніх поперечних супортах, після чого цикл повторюється.

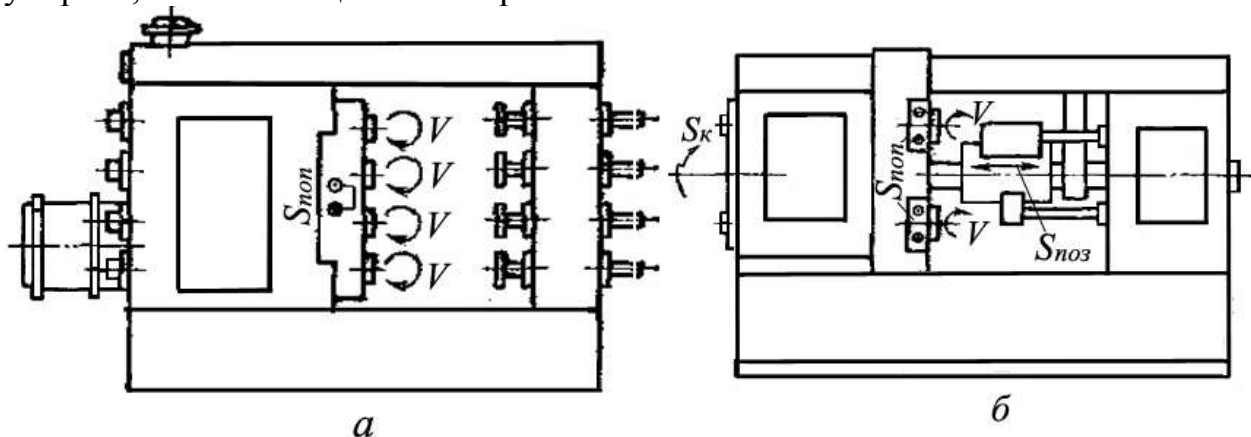


Рис. 24.12. Багатошпindelні автомати:  
а – паралельної обробки; б – послідовної обробки

На багатошпindelних автоматах паралельної обробки обробляються тільки зовнішні поверхні заготовок і тільки поперечною подачею різців.

Багатошпindelний автомат послідовної обробки (рис. 24.12, б) має у шпindelній бабці барабан, у якому розташовані шпindelі. На торцевому боці

шпindelної бабки проти шпindelів установлені поперечні супорти. Між шпindelною бабкою й задньою стійкою розташований осьовий супорт із каретками поздовжнього переміщення. Каретки осьового супорта розташовуються на одній осі зі шпindelями, проти яких вони встановлені. При обробці заготовок інструменти, що працюють із рухом поперечної подачі (прорізні, підрізні, фасонні, відрізні, галтельні різці), установлюють у затискних пристроях поперечних супортів. Інструменти, що працюють із рухом поздовжньої подачі (свердла, зенкери, розвертки, розточувальні й прохідні різці), закріплюють у затискних пристроях каретки.

Після того як всі одночасно працюючі інструменти відійдуть від заготовок у вихідне положення, шпindelний барабан разом із закріпленими прутками повернеться на одну позицію. Такі повороти здійснюються періодично так, що кожна закріплена заготовка послідовно пройде через всі позиції автомата, й кожний різальний інструмент обробить на ній відповідну поверхню. Таким чином, у кожній позиції автомата заготовка перебуває на різних стадіях обробки.

У передостанній позиції відрізний різець відрізає готову деталь від прутка. Після чергового повороту шпindelного барабана на  $1/z$ , де  $z$ — число шпindelів автомата, пруток подається на довжину, рівну довжині оброблюваної деталі. Після наступного повороту барабана починається новий цикл виготовлення наступної деталі.

## § 24.6. Обробка на токарних верстатах з ЧПК

У наш час більшість токарних верстатів оснащується системами числового програмного керування (ЧПК). Токарні верстати із ЧПК класифікують за декількома ознаками:

- за технологічним призначенням й типами оброблюваних заготовок – центрові, патронні, патронно-центрові, карусельні, пруткові;
- за розташуванням напрямних станини – горизонтальні, вертикальні і похилі;
- за способами закріплення інструментів, що використовуються – на супорті, у револьверній головці, в інструментальному магазині;
- за положенням осі обертання шпindelя – горизонтальні й вертикальні.

Центрові верстати призначені для обробки заготовок типу валів із прямолінійними й криволінійними контурами. На таких верстатах обробляють тільки зовнішні поверхні заготовки.

Патронні верстати слугують для обробки заготовок типу зубчастих коліс, фланців, шківів. На верстатах даного типу обробляють як зовнішні, так і внутрішні поверхні.

Патронно-центрові верстати призначені для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь складних за формою заготовок, вони мають технологічні

можливості центрових і патронних верстатів.

Карусельні верстати з ЧПК застосовують для обробки заготовок великих діаметрів, наприклад, корпусів турбін, основ верстатів і вантажопідйомних машин і т. ін. Такі верстати використовують у важкому й енергетичному машинобудуванні.

На рис. 24.13 показані дві схеми загального вигляду токарних верстатів з ЧПК: з похилою (рис. 24.13, а) і вертикальною (рис. 24.13, б) станинами.

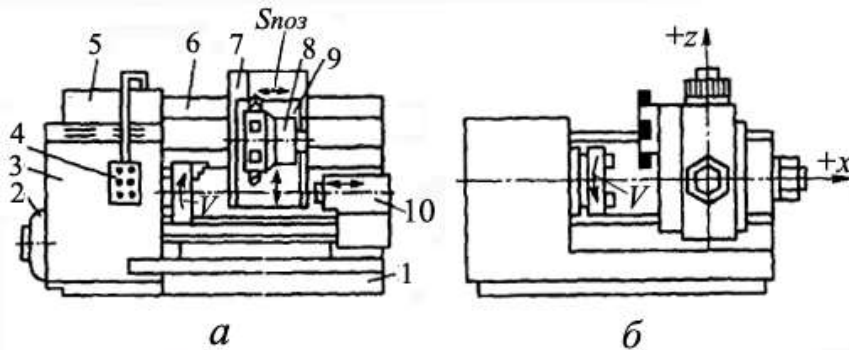


Рис. 24.13. Токарні верстати з ЧПК

Токарний верстат першого типу має похилу станину 1 з напрямними 6, по яких переміщається супорт 7 паралельно осі оброблюваної заготовки. По напрямних супорта переміщуються салазки 9, що забезпечують різальному інструменту рух поперечної подачі. На салазках змонтована інструментальна револьверна головка 8, у пазах якої закріплюються різці.

Головка автоматично повертається відносно осі, що забезпечує зміну різців. У передній бабці 3 верстата змонтовані: коробка швидкостей, за допомогою якої змінюється частота обертання шпинделя; коробка подач для зміни поздовжньої й поперечної подач і головний електродвигун 2. У задній бабці 10 встановлено задній центр, що слугує для підтиску правого кінця оброблюваної заготовки. Піноль задньої бабки має гідравлічний привід, що забезпечує сталість сили підтиску заготовки. У шафу 5 вмонтована електрична розподільна апаратура, управління якою здійснюється з пульта 4. Верстат поставляється замовникові із шафою, у який вмонтовані блоки системи ЧПК, що управляє циклом роботи верстата. Система ЧПК забезпечує зміну частоти обертання заготовки, зміну швидкості подачі, періодичний поворот інструментальної головки. Всі команди виконавчим механізмам оператор уводить за допомогою кнопок на панелі управління.

Якщо на верстаті встановлені дві револьверні головки (рис. 24.13, б), в одній з них закріплюють інструменти для обробки зовнішніх поверхонь, в іншій – для внутрішніх. Револьверні головки мають горизонтальну, вертикальну або похилу вісь обертання. У пазах револьверних головок установлюють змінні взаємозамінні інструментальні блоки, які перед цим налагоджують на заданий розмір обробки поверхні заготовок.

У конструкціях токарних верстатів з ЧПК використовують 4...12-позиційні револьверні головки та інші. У кожній позиції головки можна встановлювати по два інструменти для паралельної обробки зовнішньої й

внутрішньої поверхонь заготовки. Інструментальні магазини (місткістю 8...20 інструментів) у токарних верстатах з ЧПК використовують рідко. Їх використання доцільне при вбудовуванні верстатів у гнучкі виробничі модулі, роботизовані технологічні комплекси, а також у випадках, коли різальні інструменти мають невеликі періоди стійкості.

У сучасних токарних верстатах використовують системи ЧПК:

- SNC з пам'яттю для зберігання всієї керуючої програми;
- CNC – автономне керування верстатом з ЧПК, що має міні-ЕОМ або мікропроцесор;
- DNC – групове керування верстатами від загального керуючого комп'ютера.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Дайте визначення подач при обробці точінням:
  - поздовжньої;
  - поперечної;
  - похилої.
2. Назвіть основні види обробки точінням.
3. Назвіть основні типи верстатів токарної групи.
4. З яких основних частин складається токарно-гвинторізний верстат?
5. Опишіть будову і призначення шпинделя токарно-гвинторізного верстата.
6. Яке призначення у токарно-гвинторізному верстаті:
  - коробки швидкостей;
  - коробки подач;
  - поздовжнього супорта;
  - задньої бабки?
7. Назвіть основні пристрої, які використовуються у обробці деталей на токарно-гвинторізних верстатах.
8. Для чого призначено пристрої токарно-гвинторізного верстата:
  - кулачкового самоцентруючого патрона;
  - кулачкового несамоцентруючого патрона;
  - повідкового патрона;
  - планшайби?
9. Яке призначення центрів при обробці на токарно-гвинторізних верстатах?
10. Опишіть будову, спосіб кріплення і призначення люнетів на токарних верстатах.
11. Назвіть способи обробки конічних поверхонь на токарно-гвинторізних верстатах.
12. Як нарізують різьбу на токарно-гвинторізному верстаті?
13. Коротко схарактеризуйте токарно-карусельні верстати, опишіть область їх застосування.
14. Опишіть будову токарно-карусельного верстата.
15. Назвіть конструктивні особливості токарного багаторізцевого верстата.
16. Для яких видів робіт застосовують токарні багаторізцеві верстати?
17. Дайте визначення:
  - токарного автомата;
  - токарного напівавтомата.
18. Коротко опишіть будову токарно-револьверного автомата.
19. Які деталі обробляються на токарно-револьверних автоматах?
20. Які дві основних схеми токарних багатошпindelних автоматів використовують у машинобудівному виробництві?
21. Наведіть основні класифікації токарних верстатів з ЧПК.
22. Опишіть принцип роботи токарного верстата з ЧПК з похилою станиною.



23. Опишіть принцип роботи токарного верстата з ЧПК з вертикальною станиною.

24. Які типи систем ЧПК застосовуються у токарних верстатах?

## Глава 25. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА СВЕРДЛИЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

### § 25.1. Види обробки заготовок свердлінням і різальні інструменти

На свердильних верстатах виконують різноманітні операції з обробки отворів.

Свердління – отримання отворів у суцільному матеріалі деталей (рис. 25.1, а). Їго виконують свердлами, закріпленими у допоміжних інструментах (патронах, перехідних втулках та ін.), які встановлюють у шпинделі верстата. Головний рух і рух подачі здійснює свердло, а заготовка закріплена нерухомо на столі верстата.

При свердлінні глибоких отворів ( $l/d > 5$ ) обертального руху надають заготовці (головний рух), а поступального – свердлу (рух подачі), що знижує відхилення осі отвору вбік.

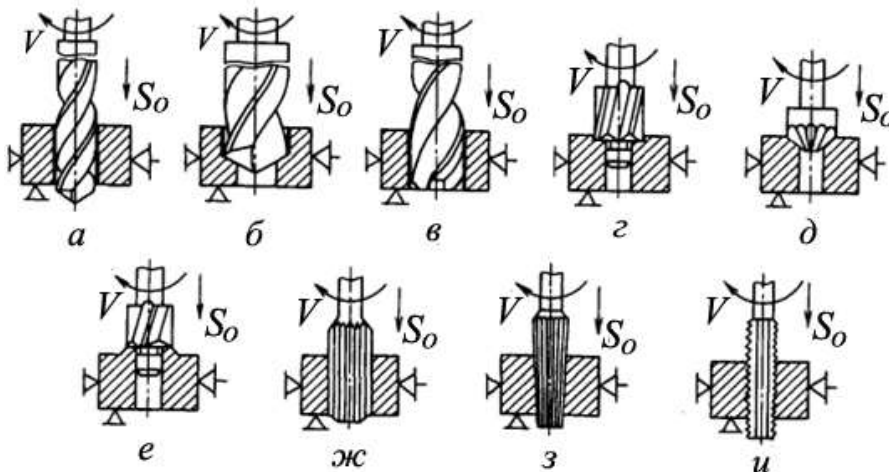


Рис. 25.1. Види обробки на свердильних верстатах

Найпоширенішим інструментом для свердління є спіральні свердла (рис. 25.2), які мають два зубці і п'ять різальних кромок:

- дві головні різальні кромки 1, створені перетином двох передніх поверхонь 4 і двох задніх поверхонь 5;
- поперечна ріжуча кромка 2, розташована на торцевій частині свердла;
- спіральні стрічки 3, які розташовані на циліндричній частині свердла, вони виконують дві функції: направлення свердла у отворі і калібрування готового отвору.

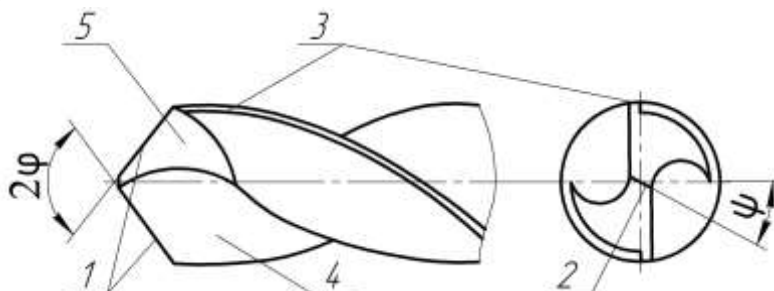


Рис. 25.2. Робоча частина спірального свердла:

$2\varphi$  – кут у плані;  $\psi$  – кут нахилу поперечної кромки

Спіральне свердло (рис. 25.3) має такі конструктивні елементи:

- різальну частину  $l_1$ , яка виконує основну роботу різання;
- шийку  $l_2$ , яка з'єднує робочу частину  $l_6$  свердла і хвостовик  $l_4$ , за допомогою якого свердло кріпиться у шпинделі свердлильного верстата;
- лапку  $l_3$ , яка слугує для демонтажу свердла з конічного отвору шпинделя;
- напрямну частину  $l_5$  для калібрування отвору і направлення у ньому свердла.

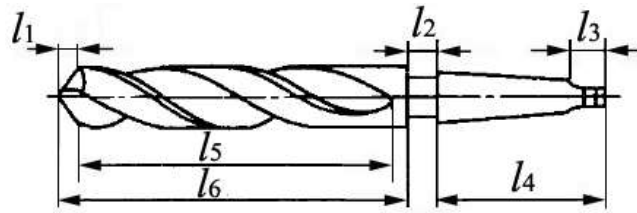


Рис. 25.3. Конструкція спірального свердла

Розсвердлення – отримання отворів діаметром понад 30 мм (див. рис. 25.1, б). Спочатку свердлять отвір діаметром до 15 мм, а потім – розсвердлюють його до потрібного розміру свердлом більшого діаметра.

Зенкерування – частіш за все є проміжною операцією між свердлінням та розвертанням (див. рис. 25.1, в). Крім того, зенкерування застосовується для обробки циліндричних литих, штампованих або попередньо просвердлених отворів зенкером для надання їм правильної геометричної форми, потрібних розмірів і необхідної шорсткості поверхні. Припуск, який знімається при зенкеруванні, складає 0,5...3 мм. Інструмент – зенкер (рис. 25.4, а), який має зазвичай 3...4 зуби і калібрувальну частину. Від свердла він відрізняється відсутністю поперечної різальної кромки.

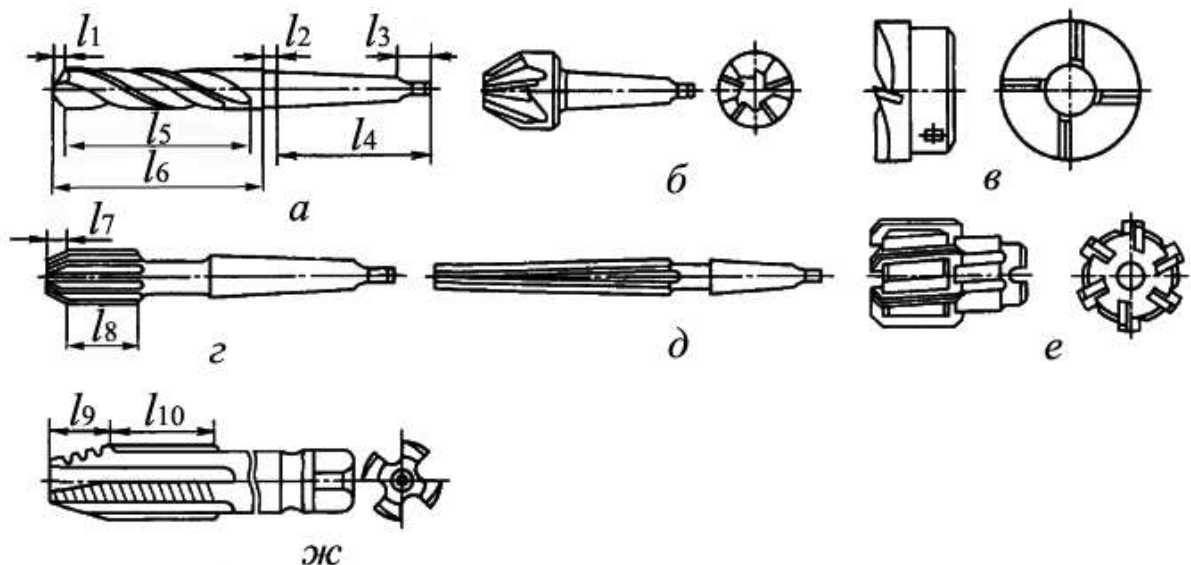


Рис. 25.4. Інструменти для обробки отворів на свердлильних верстатах

Різальна частина  $l_1$  зенкера виконує основну роботу різання. Калібрувальна частина  $l_5$  слугує для направлення зенкера в отворі й забезпечує необхідні точність і шорсткість поверхні. Інші конструктивні елементи (шийка  $l_2$ , лапка  $l_3$ , хвостовик  $l_4$  та ін.) зенкера і свердла мають однакові призначення та найменування.

**Зенкування** – процес утворення циліндричних або конічних заглиблень (див. рис. 25.1, *г, д*) у попередньо просвердлених отворах під головки болтів, гвинтів та інших деталей за допомогою циліндричних і конічних зенкерів (зенківок див. рис. 25.4, *б*).

**Цекування** – обробка торцевих поверхонь під гайки, шайби і кільця торцевими зенкерами з метою забезпечення перпендикулярності осей отворів цим поверхням (див. рис. 25.1, *е*). Цекування виконується спеціальним зенкером із ріжучими зубцями на торці – цековкою.

**Розвертання** – остаточна точна обробка отворів після свердління та зенкерування з метою надання їм точних розмірів і зниження шорсткості поверхні (див. рис. 25.1, *ж, з*). Частіш за все розвертання виконується в два проходи: чорновий (знімається припуск 0,15...0,5 мм) і чистовий (знімається припуск 0,05...0,2 мм). Інструмент – розвертка (див. рис. 25.4, *г*), який має 6...20 зубців, конічну різальну  $l_7$  і циліндричну калібрувальну  $l_8$  частини значної довжини, яка дозволяє отримувати отвори високої точності з низькою шорсткістю поверхонь. Для розвертання конічних отворів застосовують розвертки з конічною різальною частиною (див. рис. 25.4, *д*). Як циліндричні, так і конічні розвертки можуть виконуватися суцільними, із інструментальних (частіш за все швидкорізальних) сталей, або збірними (див. рис. 25.4, *е*). Державку збірних розверток виготовляють із конструкційних вуглецевих сталей, а її різальну частину оснащують пластинами з різних інструментальних матеріалів (швидкорізальних сталей, твердих сплавів, алмазів, кераміки тощо).

Збірними виконують також і зенкера (див. рис. 25.4, *в*). Крім того, зенкери і розвертки виконують суцільними, разом з хвостовиком (див. рис. 25.4, *а, б, г, д*), і насадними (див. рис. 25.4, *в, е*).

**Нарізання різьби в отворах** (див. рис. 25.1, *и*) здійснюється на свердлильних верстатах мітчиками (див. рис. 25.4, *ж*), які мають різальну (забірну)  $l_9$  і калібрувальну  $l_{10}$  частини.

## § 25.2. Основні типи свердлильних верстатів

Для свердлильних операцій застосовують певні типи верстатів.

**Вертикально-свердлильні** – найпоширеніші верстати цієї групи, що застосовують в одиничному і серійному виробництвах.

Будова вертикально-свердлильного верстата така. На фундаментній плиті 1 (див. рис. 25.5, *а*) змонтована колона 2, по напрямним якої у вертикальному напрямку переміщуються стіл 7 і консоль 3. У консоль вбудовано коробку

подач 5 і шпindel з встановленим у ньому свердлом 6. У верхній частині верстата розташовані електродвигун приводу і коробка швидкостей 4.

Радіально-свердлильні верстати (рис. 25.5, б) призначені для обробки отворів у великих важких деталях.

На фундаментній плиті 1 радіально-свердлильного верстата закріплена колона 2 з поворотною гільзою 3, по якій переміщується у вертикальному напрямку і установлюється в потрібному положенні за допомогою механізму 5 траверса 4. По горизонтальних напрямках траверси переміщується шпindelна головка 6, у якій розташовані коробка швидкостей 7 і коробка подач 8. Шпindel 9 з інструментом одержує головний обертовий рух різання  $V$  й рух  $S_f$  вертикальної (осьової) подачі. Заготовку закріплюють на столі 10 або безпосередньо на фундаментній плиті. Інструмент установлюють у робоче положення поворотом траверси разом з гільзою і переміщенням шпindelної головки по напрямних траверси.

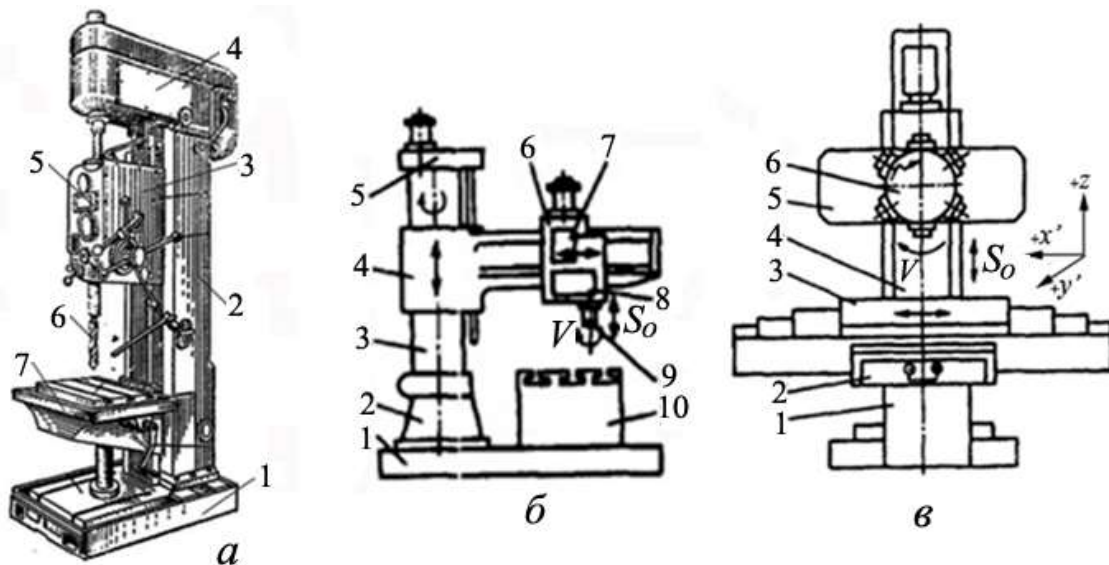


Рис. 25.5. Основні типи свердлильних верстатів:  
 а – вертикально-свердлильний; б – радіально-свердлильний;  
 в – свердлильний верстат з ЧПК

Радіально-свердлильні верстати, на відміну від вертикально-свердлильних, забезпечують (без зміни положення заготовки) суміщення осей різального інструмента й оброблюваних отворів переміщенням шпindelної головки.

Свердлильні верстати з ЧПК частіш за все використовують для обробки заготовок з великим числом отворів, в основному, корпусних деталей. У вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК (рис. 25.5, в) на основі 1 установлена колона 4, по вертикальних напрямках якої переміщається супорт 5 (рух подачі по осі  $Z$ ) з револьверною головою 6 для автоматичної зміни різального інструмента. Хрестовий стіл, що складається з салазок 2 і власне стола 3, виконує два взаємно перпендикулярних рухи по осях  $X'$  і  $Y'$ , що дозволяє точно встановлювати заготовку відносно інструмента без попередньої розмітки й спеціальних пристроїв. Швидке підведення інструмента до

заготовки, глибина свердління, зміна частоти обертання й рухи подачі здійснюються автоматично за програмою.

Багатошпиндельні свердлильні верстати мають кілька шпинделів, взаємне розміщення яких може бути постійним або змінюватися залежно від оброблюваної деталі. Такі верстати широко застосовуються в серійному і масовому виробництвах.

Горизонтально-свердлильні верстати застосовуються для свердлення глибоких отворів.

Центрувальні верстати призначені для виготовлення центрових отворів у деталях типу тіл обертання (вали, втулки тощо).

Агрегатні верстати – спеціальні верстати, виготовлені із стандартних і нормалізованих вузлів, не зв'язаних між собою кінематично. Їх застосовують у великосерійному і масовому виробництвах для свердління, розточування, нарізання різьби й фрезерування. Найчастіше на них обробляють корпусні деталі й вали, які в процесі обробки залишаються нерухомими.

### § 25.3. Режими різання при обробці на свердлильних верстатах

За швидкість головного руху різання при свердлінні беруть окружну швидкість точки ріжучої кромки, найбільш віддаленої від осі свердла, м/с:

$$V = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000}, \quad (25.1)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр свердла, мм;  $n$  – частота обертання свердла, об/хв.

Подача  $S_f$  (мм/об.) дорівнює осьовому переміщенню свердла за один його оберт.

За глибину різання при свердлінні отворів у суцільному матеріалі беруть половину діаметра свердла, мм:

$$t = \frac{D}{2}, \quad (25.2)$$

при розсвердленні

$$t = \frac{D - d}{2}, \quad (25.3)$$

де  $d$  – діаметр оброблюваного отвору, мм.

У процесі різання свердло зазнає опору з боку оброблюваного матеріалу. Сила  $P_f$ , що діє на свердло уздовж його осі, називається осьовою силою. У розрахунках для визначення осьової сили  $P_f$  (Н) і обертового моменту  $M_K$  (Н·м) використовують емпіричні формули:

$$P_O = C_P D^{q_P} S^{y_P} k_P; \quad (25.4)$$

$$M_K = C_M D^{q_M} S^{y_M} k_M, \quad (25.5)$$

де  $C_P$  і  $C_M$  – коефіцієнти, що враховують фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу й умови різання;  $q_P, y_P, q_M, y_M$  – емпіричні показники степенів;  $k_P, k_M$  – поправкові коефіцієнти на змінені умови різання.

Усі коефіцієнти і показники степенів наведені в довідниках з режимів обробки різанням.

Ефективна потужність (кВт), що витрачається на різання при свердлінні, дорівнює:

$$N_E = \frac{M_{Kn}}{60 \cdot 1000}. \quad (25.6)$$

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Дайте визначення процесу свердління.
2. Опишіть конструктивні елементи спірального свердла.
3. Що таке розсвердлення отворів?
4. Дайте визначення процесу зенкерування.
5. Будова і основні конструктивні елементи зенкера.
6. Дайте визначення операції зенкування. Назвіть елементи зенківки.
7. Як здійснюється процес розвертання отворів?
8. Наведіть основні відзнаки розвертки від свердла і зенкера.
9. Які припуски знімають при зенкеруванні та розвертанні?
10. Які осьові інструменти виконують:
  - суцільними з хвостовиком;
  - насадними?
11. Яким інструментом нарізають різьбу на свердлильному верстаті?
12. Опишіть конструкцію вертикально-свердлильного верстата.
13. Як побудований радіально-свердлильний верстат?
14. Де застосовують:
  - багатошпindelні свердлильні верстати;
  - горизонтально-свердлильні верстати;
  - центрувальні;
  - агрегатні?
15. Назвіть режими різання при свердлінні.
16. Як визначають при свердлінні:
  - швидкість різання;
  - подачу;
  - глибину різання при свердлінні і розсвердлюванні?

## **Глава 26. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ**

### **§ 26.1. Обробка заготовок фрезеруванням і різальні інструменти**

**Фрезерування** – це процес обробки різанням, при якому різальний інструмент (фреза) виконує обертальний головний рух різання, а заготовка, що обробляється, – поступальний або обертальний рух подачі.

**Фреза** – це різальний інструмент у формі тіла обертання, на поверхні якого маються ріжучі зубці.

На рис. 26.1, *a*, *б* показано схеми обробки площини циліндричною (*a*) і торцевою (*б*) фрезами.

Залежно від напрямку обертання фрези і напрямку подачі розрізняють зустрічне фрезерування (див. рис. 26.1, *в*), коли оброблювана заготовка

подається назустріч обертанню фрези, і попутне (див. рис. 26.1, *з*), коли напрям обертання фрези і напрям подачі збігаються.

При зустрічному фрезеруванні товщина шару металу, що зрізується зубцем фрези, змінюється від 0 до найбільшого значення  $t$ . Поступове збільшення товщини зрізаного шару сприяє плавній роботі фрези. Однак, перед тим як врізатися в оброблюваний метал, зуб фрези деякий час ковзає по поверхні різання, зміцненій у результаті пластичних деформацій при різанні попереднім зубцем. Це призводить до значного спрацювання зубців фрези. Сили, що виникають при фрезеруванні цим методом, намагаються відірвати оброблювану заготовку від стола.

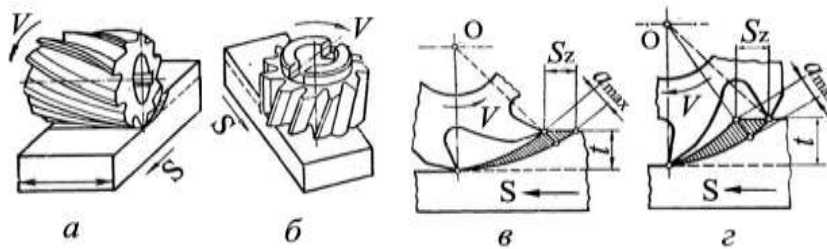


Рис. 26.1. Схеми фрезерування

При попутному фрезеруванні в момент врізання зубця відбувається удар, тому що зразу знімається шар найбільшої товщини, що поступово зменшується від  $t$  до 0, виключається проковзування зубців, сили різання намагаються притиснути заготовку до стола верстата. Все це сприяє зменшенню шорсткості поверхні. Попутне фрезерування доцільно використовувати для чистової, а зустрічне – для чорнової обробки.

На фрезерних верстатах обробляють горизонтальні, вертикальні і похилі площини, фасонні поверхні; фрезерують прямокутні, Т-подібні і типу ластівчиного хвоста пази; фрезерують шпонкові канавки, зубці прямозубих і гвинтових циліндричних зубчастих коліс; нарізають різь.

Горизонтальні площини фрезерують на горизонтально-фрезерних верстатах циліндричними фрезами (див. рис. 26.2, *а*) і на вертикально-фрезерних верстатах торцевими фрезами (див. рис. 26.2, *б*). Циліндричними фрезами доцільно обробляти горизонтальні площини шириною до 120 мм. Площини зручніше обробляти торцевими фрезами внаслідок більшої жорсткості їхнього закріплення в шпинделі й більш плавної роботи, тому що число одночасно працюючих зубців торцевої фрези більше, ніж у циліндричній.

Вертикальні площини фрезерують на вертикально-фрезерних верстатах кінцевими фрезами (див. рис. 26.2, *в*).

Похилі площини фрезерують торцевими і 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 дисковою однокутовою фрезою (див. рис. 26.2, *г*).

Уступи й прямокутні пази фрезерують кінцевими (див. рис. 26.2, а) і дисковими (див. рис. 26.2, б) фрезами на вертикально- і горизонтально-фрезерних верстатах.

Фасонні пази фрезерують фасонною дисковою фрезою (рис. 26.2, ж), кутові пази – однокутовою й двокучовою (рис. 26.2, з) фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах.

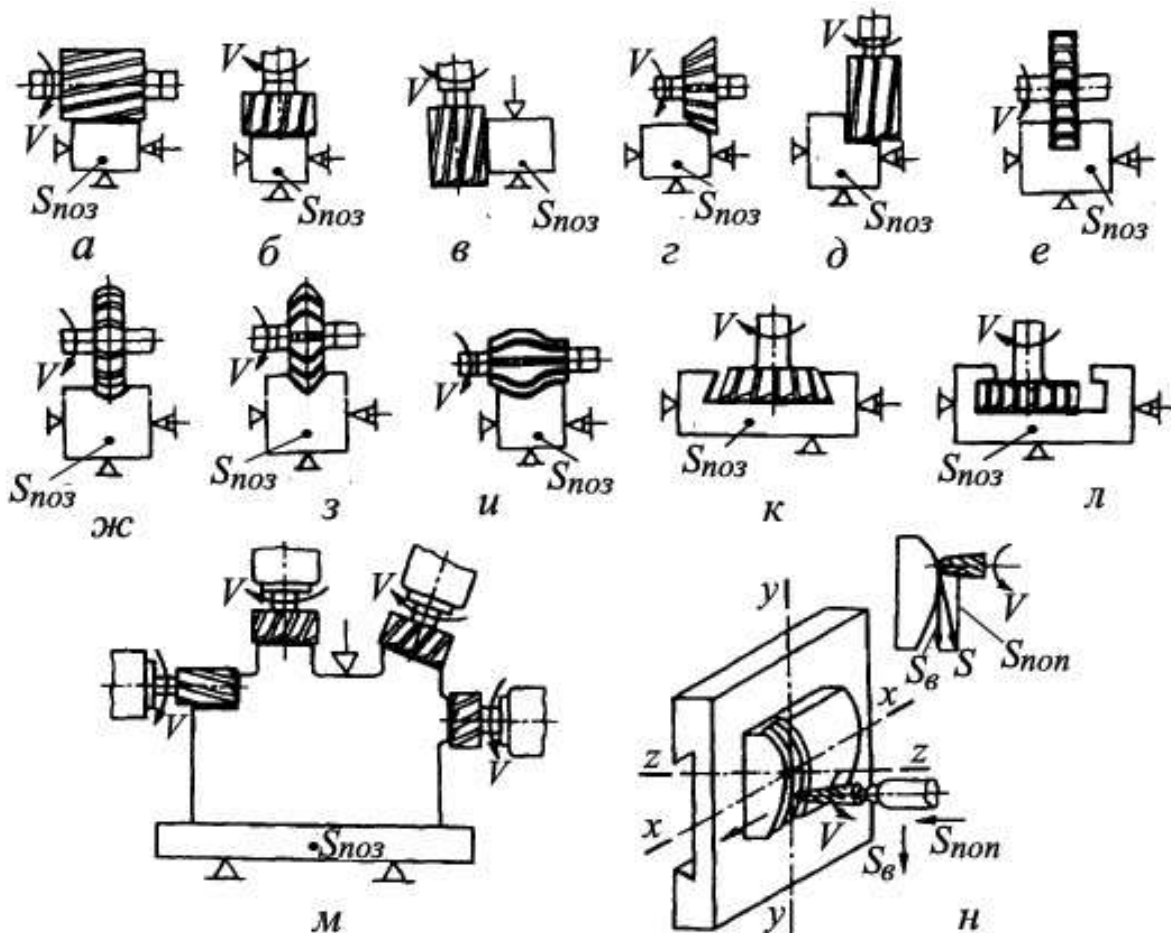


Рис. 26.2. Основні операції фрезерної обробки

Фасонні поверхні незамкненого контуру із криволінійною твірною й прямолінійною напрямною фрезерують на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах фасонними фрезами відповідного профілю (рис. 26.2, и). Застосування фасонних фрез є ефективним при обробці вузьких і довгих фасонних поверхонь. Широкі профілі обробляють набором фрез.

Клиновий паз фрезерують на вертикально-фрезерному верстаті за два проходи: прямокутний паз – кінцевою фрезою, потім скоси паза – однокутовою фрезою (рис. 26.2, к).

Т-подібні пази (рис. 26.2, л), які широко застосовують у машинобудуванні як верстатні пази, наприклад, на столах фрезерних верстатів, фрезерують зазвичай за два проходи: спочатку паз прямокутного профілю – кінцевою фрезою, потім нижню частину паза – фрезою для Т-подібних паців.

Горизонтальні, вертикальні, похилі площини й пази одночасно обробляють на поздовжньо-фрезерних двостійкових



верстатах торцевими й кінцевими фрезами з рухом поздовжньої подачі стола, на якому в пристрої закріплена корпусна заготовка (рис. 26.2, м).

Просторово-складні поверхні обробляють на копіювально-фрезерних напівавтоматах з ЧПК (див. рис. 26.2, н) пальцевою фрезею. Фрезерування ведуть по трьох координатах:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (об'ємне фрезерування). Його виконують після установки на верстат копіра відповідного профілю.

Об'ємне фрезерування найбільш успішно здійснюється на фрезерних верстатах із ЧПК. На відміну від копіювально-фрезерних напівавтоматів, де необхідні відносні переміщення фрези й заготовки задаються в параметричному виді, на верстатах зі ЧПК інформація про необхідну траєкторію інструмента записана на програмоносії у числовому вигляді.

**Інструмент для обробки на фрезерних верстатах.** Залежно від форми і призначення фрези бувають:

– циліндричні (рис. 26.3, а, б, в), які мають зубці тільки на циліндричній поверхні і застосовуються для обробки площин;

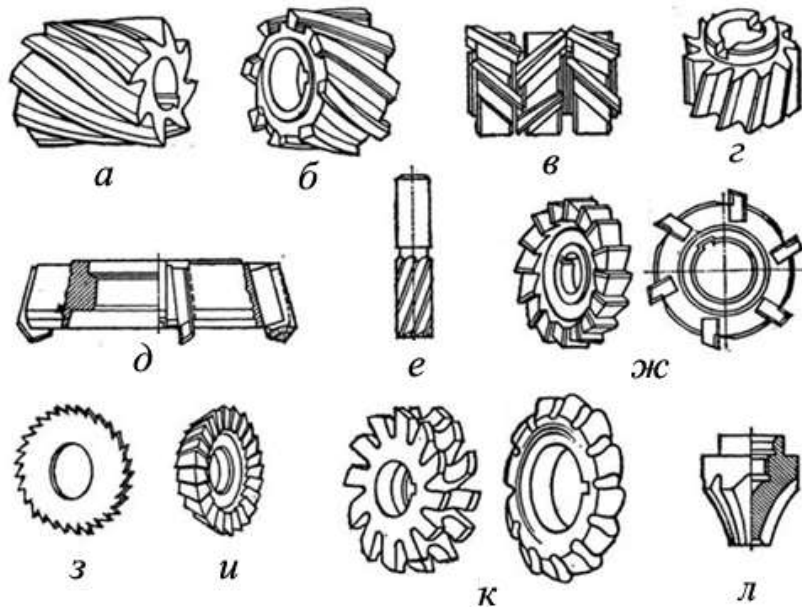


Рис. 26.3. Основні типи фрез

– торцеві (рис. 26.3, г, д), призначені для обробки горизонтальних площин на вертикально-фрезерних верстатах;

– кінцеві фрези (рис. 26.3, е) застосовують для обробки пазів, площин і фасонних поверхонь;

– дискові (рис. 26.3, ж) фрези використовують для фрезерування прямолінійних пазів, канавок і площин; виготовляють їх суцільними з швидкорізальної сталі та зі вставними ножами із швидкорізальної сталі або твердого сплаву;

– відрізні і шліцьові фрези (рис. 26.3, з) – дискові фрези малої товщини, які призначені для розрізування матеріалів і прорізування вузьких канавок, наприклад, у головках гвинтів;

– фасонні фрези (рис. 26.3, и, к, л) застосовують для обробки різних деталей із складним, у більшості випадків криволінійним профілем. До

фасонних фрез належать напівкруглі, опуклі і ввігнуті фрези, модульні фрези, фрези для обробки канавок мітчиків, спіральних свердел, зенкерів та іншого інструмента. Виготовляють фасонні фрези із швидкорізальної сталі.

## § 26.2. Основні типи фрезерних верстатів

Консольно-фрезерний горизонтальний (рис. 26.4, а) і вертикальний (рис. 26.4, б) верстати відносяться до універсального виду встаткування і мають багато загальних вузлів.

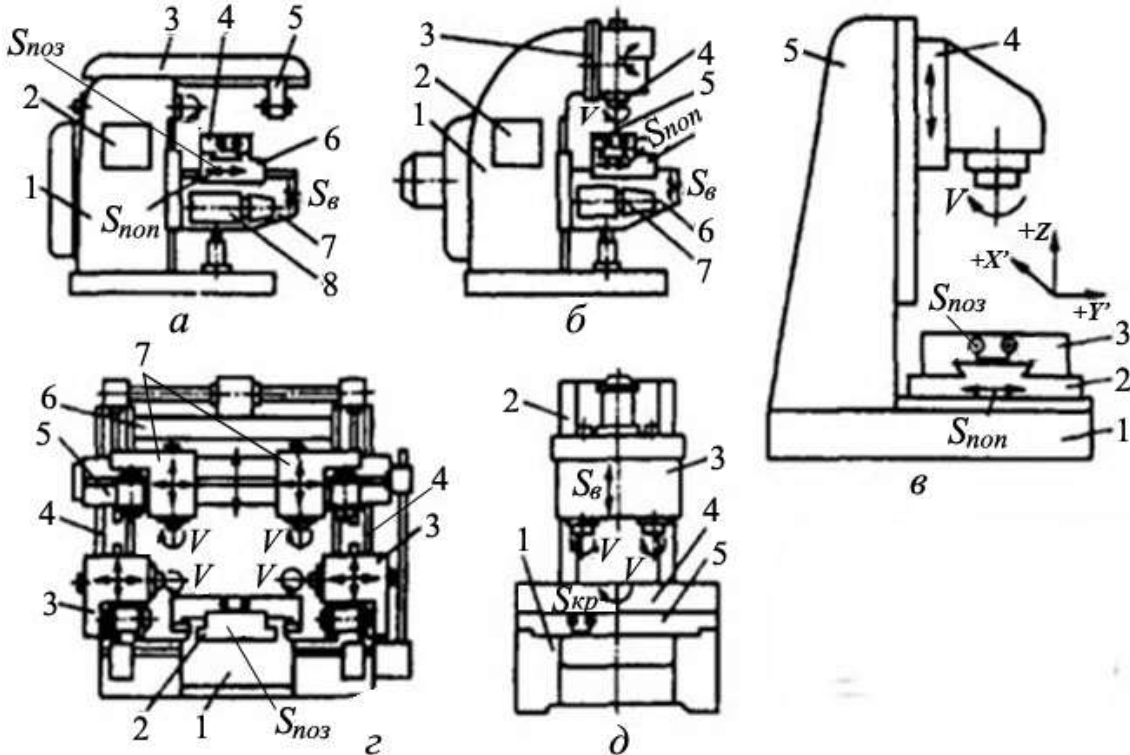


Рис. 26.4. Основні типи фрезерних верстатів

У станині 1 цих верстатів розміщена коробка швидкостей 2. По вертикальних напрямних станини переміщається консоль 7. Заготовка, що установлена на столі 4 у лещатах або в установочному пристрої, одержує рух подачі в трьох напрямках: поздовжньому  $S_{\text{тц}}$  (переміщення стола по напрямних салазок б), поперечному  $S_{\text{т}}$  (переміщення салазок по напрямних консолі) і вертикальному  $S_{\text{а}}$  (переміщення консолі по напрямних станини).

Головним рухом різання  $V$  є обертання шпинделя. Коробка подач 8 розміщена в консолі. На горизонтально-фрезерному верстаті хобот 3 призначений для закріплення підвіски 5, що підтримує кінець фрезерної оправки.

Горизонтально-фрезерні верстати, що мають поворотну плиту, яка дозволяє повертати робочий стіл у горизонтальній площині й установлювати його на необхідний кут, називають універсальними.

На вертикально-фрезерному верстаті шпиндельна головка 3 може повертатися у вертикальній площині.

Вертикально-фрезерний безконсольний верстат з ЧПК (рис. 26.4, в) має хрестовий стіл 3, який може переміщуватися по двох взаємно перпендикулярних координатах  $X'$  (переміщення стола 3 по салазках 2) і  $U'$  (переміщення салазок 2 по напрямних станини 1). По напрямній стійки 5 переміщується шпindelна головка 4 (координата  $Z$ ). Програмовані переміщення заготовки відносно інструмента одночасно по декількох координатах дозволяють одержувати складну фасонну поверхню.

Поздовжньо-фрезерний двостійковий верстат (див. рис. 26.4, з) має стіл 2, на якому встановлюють заготовку. Стіл може рухатись тільки у поздовжньому напрямку  $S_{i\zeta}$  по напрямних станини 1. На кожній з двох стійок 4 розташовані фрезерні головки 3, які можуть переміщуватися по їх напрямній вгору й униз. У верхній частині стійки з'єднані поперечкою 6, що підвищує загальну жорсткість верстата. По вертикальним напрямним стійки переміщається траверса 5. Дві верхні фрезерні головки 7 для їхньої установки переміщаються по напрямних траверси й можуть повертатися на кут до  $\pm 30^\circ$ . Шпindel кожної фрезерної головки при налагодженні верстата може висуватися в осьовому напрямку на 100...200 мм.

Внаслідок відсутності консолі верстата цього типу мають більшу жорсткість, що дозволяє працювати у підвищених режимах різання.

Карусельно-фрезерний верстат показаний на рис. 26.4, д. На станині 1 змонтована стійка 2, по вертикальних напрямних якої переміщається фрезерна головка 3 з двома шпинделями, один із яких призначений для чистової обробки. На круглому столі 4 (каруселі) з вертикальною віссю обертання в пристроях установлюють заготовки. Круглий стіл має салазки 5 для установки його на напрямні станини. Заготовки встановлюють і знімають зі стола без зупинки верстата. Фрезерування ведеться безупинно на столі, який повільно обертається (рух кругової подачі).

### § 26.3. Режими різання при фрезеруванні

Елементи режиму різання при фрезеруванні такі ж, як і при точінні: глибина різання, подача, швидкість різання і додатково – ширина фрезерування.

При фрезеруванні, на відміну від точіння і свердління, розрізняють три розмірності подачі:

- подача на один зубець фрези  $S_z$ , мм/зубець – переміщення заготовки при повороті фрези на кут між двома сусідніми зубцями;
- подача на один оберт фрези  $S_f$ , мм/об.;
- подача за хвилину  $S_{\dot{\alpha}\alpha}$ , мм/хв.

Вказані подачі зв'язані між собою залежністю

$$S_{\dot{\alpha}\alpha} = S_z n z, \quad (26.1)$$

де  $z$  – число зубців фрези;  $n$  – частота обертання фрези, об/хв.

Глибина різання  $t$ , мм – товщина шару матеріалу, що знімається за один прохід, виміряна перпендикулярно до оброблюваної поверхні.

Швидкість різання – колова швидкість найвіддаленішої від осі обертання точки різальної кромки фрези:

$$V = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000}, \quad (26.2)$$

де  $D$  – діаметр фрези, мм.

Ширина фрезерування  $\hat{A}$  – довжина поверхні контакту фрези з оброблюваною заготовкою, виміряна в напрямі, перпендикулярному напрямку подачі.

Товщина зрізу стружки  $\hat{a}$  є величиною змінною, тому під час обробки різко змінюється зусилля різання, порушується рівномірність фрезерування, і в процесі обробки можуть виникнути вібрації. Фрези з гвинтовими зубцями забезпечують більш плавну роботу, тому що врізання зубців, вихід їх з контакту відбувається не одночасно по всій ширині, а поступово.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення процесу фрезерування.
2. Опишіть схеми зустрічного і попутного фрезерування.
3. Які типи фрез використовуються при обробці площин і уступів?
4. Які кінематичні схеми фрезерування застосовуються при обробці площин?
5. Назвіть типи фрез, що застосовуються при обробці фрезеруванням.
6. Опишіть схему обробки фрезеруванням:
  - площин на горизонтально-фрезерних верстатах;
  - площин на вертикально-фрезерних верстатах;
  - похилих поверхонь;
  - прямокутних і фасонних канавок;
  - Т-подібних пазів і пазів “ластівчин хвіст”;
  - фасонних поверхонь на верстатах з ЧПК.
7. Назвіть основні типи фрезерних верстатів.
8. Опишіть компоновку консольно-фрезерного вертикального і горизонтального верстатів.
9. Назвіть основні параметри режимів різання при фрезеруванні.
10. Дайте визначення:
  - подачі на зубець;
  - подачі на один оберт;
  - хвилинної подачі.
11. Що таке глибина різання при фрезеруванні?
12. Дайте визначення швидкості різання при фрезеруванні.

## Глава 27. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА СТРУГАЛЬНИХ І ДОВБАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

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

Довбання відрізняється від стругання тим, що головний рух – зворотно-поступальне переміщення різця, відбувається у вертикальній площині.

Широке застосування стругальні верстати знаходять у верстатобудуванні

й важкому машинобудуванні, коли необхідно обробляти габаритні, великої маси заготовки станин, корпусів, рам, підстав, колон та інших деталей.

### § 27.1. Основні схеми обробки і різальні інструменти

**Схеми стругання і довбання.** На стругальних верстатах обробляють плоскі поверхні, уступи; кутові пази: Т- та V-подібні; призматичні, фасонні поверхні.

На довбальних верстатах обробляють плоскі вертикальні поверхні, багатогранники, багатогранні отвори, зовнішні пази, фасонні поверхні.

Площини горизонтальні (рис. 27.1, а), вертикальні (рис. 27.1, б) і похилі (рис. 27.1, в) на поперечно-стругальних верстатах обробляють відповідно з рухом поперечної  $S_{\text{ппр}}$ , вертикальної  $S_a$  і похилої  $S_{\text{ппо}}$  подач.

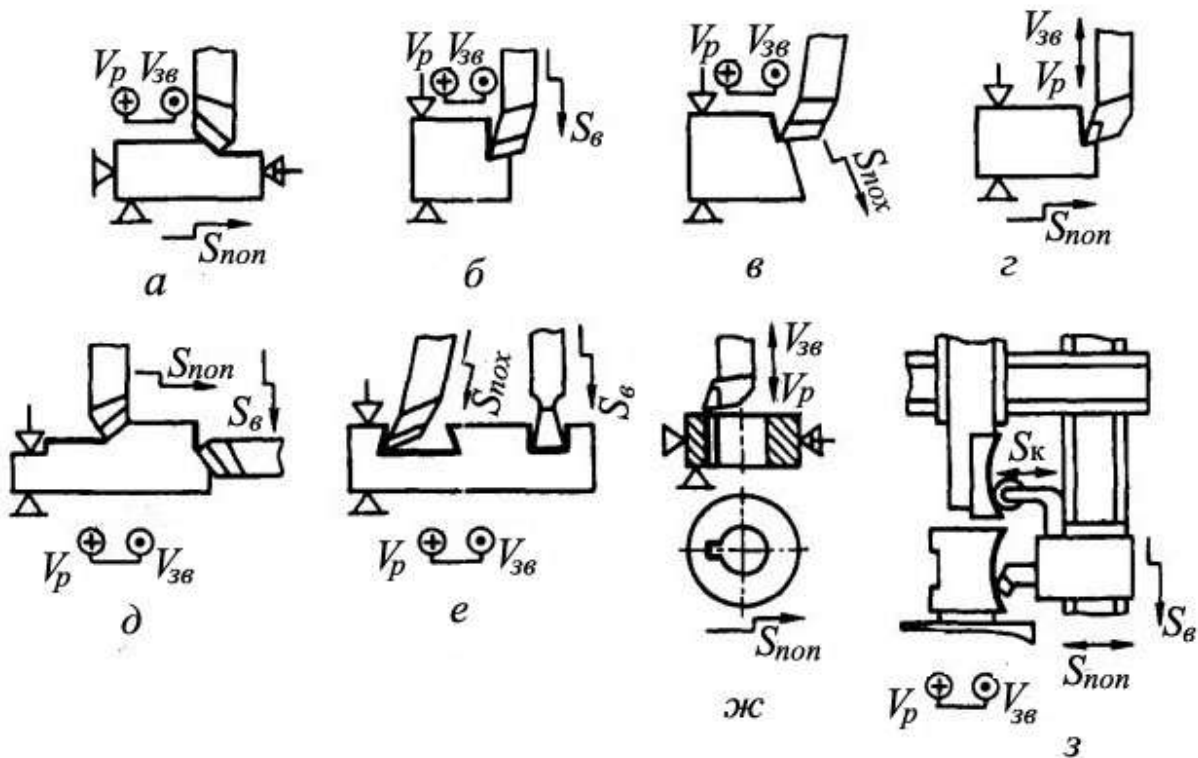


Рис. 27.1. Схеми обробки на стругальних і довбальних верстатах

У всіх цих випадках стругальний різець здійснює зворотно-поступальний рух різання (робочий  $V_p$  і зворотній холостий  $V_{\text{ца}}$ ) у горизонтальній площині. При струганні похилої площини вертикальний супорт повертають на кут, який дорівнює куту нахилу оброблюваної площини.

На рис. 27.1, з показане стругання вертикальної площини на довбальному верстаті. У цьому випадку довбальний різець здійснює зворотно-поступальний рух різання (робочий  $V_p$  і зворотній холостий  $V_{\text{ца}}$ ) у вертикальній площині.

На поздовжньо-стругальних верстатах одночасно здійснюється обробка горизонтальної й вертикальної площин (рис. 27.1, д).

Кутові і прямокутні пази одночасно обробляють на поздовжньо-стругальних верстатах (рис. 27.1, е). Стругання шпонкового паза (рис. 27.1, ж) виконують на довбальних верстатах.

Фасонні поверхні по копіру обробляють на поздовжньо-стругальних верстатах (рис. 27.1, з).

Стругання горизонтальних площин виконують прохідними різцями, вертикальних і похилих площин – підрізними різцями, пазів – прорізними різцями й т. д.

### Інструменти для обробки на стругальних і довбальних верстатах.

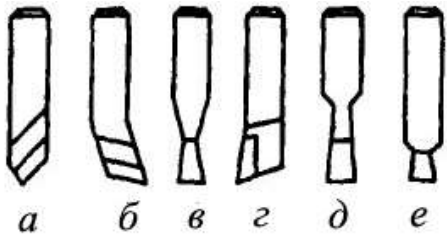


Рис. 27.2. Стругальні і довбальні різці

Залежно від призначення розрізняють такі типи стругальних різців (рис. 27.2): прохідні *a*, підрізні *б*, відрізні *в* і фасонні. Зазначені різці виконують правими й лівими, чорновими й чистовими; їхні конструкції аналогічні конструкціям різців для токарної обробки.

Довбальні різці виготовляють трьох основних типів: прохідні (рис. 27.2, *г*), прорізні (рис. 27.2, *д*) і для шпонкових пазів (рис. 27.2, *е*).

## § 27.2. Основні типи стругальних і довбальних верстатів

За конструктивними і технологічними ознаками стругальні верстати поділяють на типи: поперечно-стругальні, поздовжньо-стругальні, довбальні й спеціальні.

Поздовжньо-стругальні верстати поділяють на одностійкові й двостійкові. Поздовжньо-стругальний двостійковий верстат (рис. 27.3) має станину 1, з якою жорстко зв'язані дві вертикальні стійки 3 і 8, з'єднані поперечною 7.

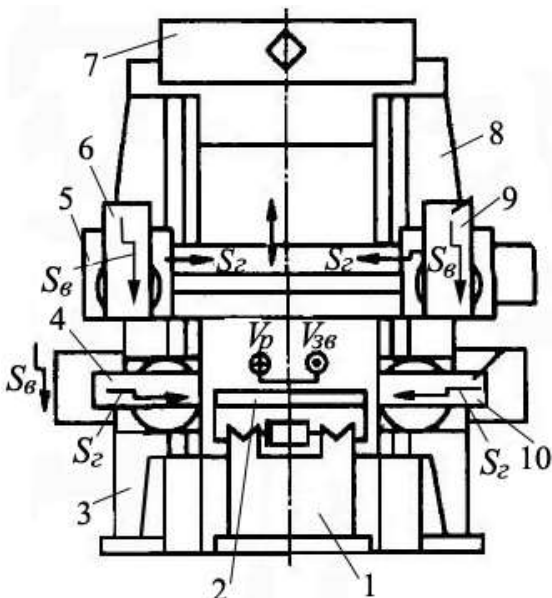


Рис. 27.3. Двостійковий поздовжньо-стругальний верстат

Стіл 2 із закріпленою на ньому заготовкою здійснює зворотно-поступальне переміщення по горизонтальних напрямних станини – головний рух різання  $V_p$  і рух зворотного ходу  $V_{3g}$ . По вертикальних напрямних стійки переміщується траверса 5, яку залежно від розміру заготовки встановлюють на певному рівні від площини стола.

На траверсі змонтовані два верхніх супорти 6 і 9, які отримують рух  $S_a$  поперечної подачі. Супорти можна повертати у вертикальній площині. По вертикальних напрямних стійок переміщуються бічні супорти 4 і 10. На

всіх супортах установлені відкидні різцетримачі для закріплення різців.

Поперечно-стругальні верстати призначені для обробки заготовок дрібних і середніх розмірів при найбільшій довжині стругання

200...2400 мм. Головний рух різання – зворотно-поступальний в горизонтальній площині завдають повзуну із супортом, у якому у відкидному різцетримачі встановлений різець. Супорт із різцем отримує рух вертикальної й похилої подач. Заготовці, встановленої на столі, надають рух поперечної подачі.

На довбальних верстатах головний рух різання – зворотно-поступальний у вертикальній площині, завдають повзуну, на якому встановлений різцетримач із різцем. Довжина ходу повзуна звичайно не перевищує 200 мм. Заготовку закріплюють на столі верстата, що має переривчастий рух поздовжньої й поперечної подач. Крім того, стіл отримує рух кругової подачі відносно своєї вертикальної осі.

### § 27.3. Режими різання при струганні і довбанні

Глибина різання  $t$ , мм для всіх видів стругання і довбання призначається так само, як і для точіння.

Подачу  $S$ , мм/подвійний хід вибирають максимальну для даної глибини різання і перерізу державки різця за таблицями довідників.

Швидкість різання при струганні площин, прорізуванні пазів, відрізанні розраховують за формулою (21.10), застосовуючи поправкові коефіцієнти на ударні навантаження інструментів.

#### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення операціям стругання і довбання.
2. Назвіть основні схеми обробки заготовок на стругальних і довбальних верстатах.
3. Які подачі здійснюються на поперечно-стругальних верстатах?
4. Які рухи здійснює стругальний різець?
5. На яких верстатах обробляють кутові і прямокутні пази?
6. Якими різцями виконують стругання горизонтальних і похилих площин та пазів?
7. Назвіть основні типи стругальних верстатів.
8. Дайте короткий опис конструкції двостійкового поздовжньо-стругального верстата.
9. Для якої обробки застосовують поперечно-стругальні верстати?
10. Назвіть основні параметри режиму різання при струганні та довбанні. Як призначають режими різання для стругання і довбання?

## Глава 28. НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ЗУБООБРОБЛЮВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

### § 28.1. Методи формоутворення зубців зубчастих коліс

Зубчасті колеса широко застосовують у передачах сучасних машин і приладів. Технологічний процес виготовлення зубчастих коліс є одним з найбільш складних і трудомістких. Найбільш складною його операцією є саме формоутворення робочих поверхонь зубців – зубонарізання.

Зубонарізання полягає у прорізуванні западин між зубцями і наданні їм потрібного профілю.

Застосовують два основних методи нарізання зубців зубчастих коліс.

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

За методом копіювання зубчасті колеса нарізають дисковою модульною фрезою (рис. 28.1, *а*) на горизонтально- чи універсально-фрезерних верстатах або кінцевою модульною фрезою (рис. 28.1, *б*) на вертикально-фрезерних верстатах послідовно по одній западині з використанням ділильної головки.

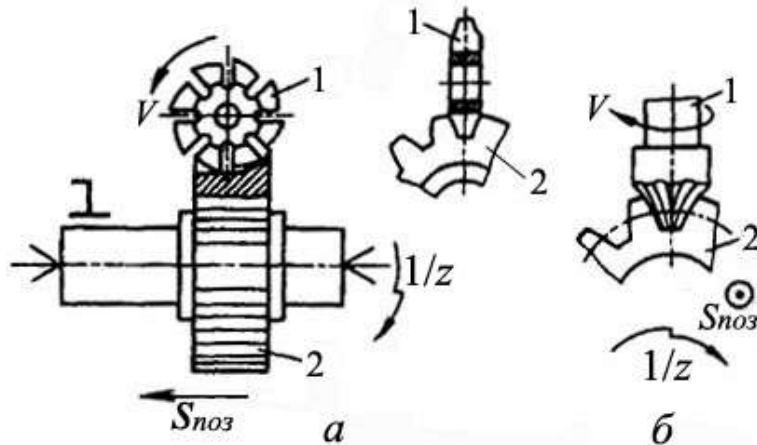


Рис. 28.1. Схеми фрезерування зубців циліндричного колеса методом копіювання

У процесі фрезерування западини фрезі надають обертовий головний рух різання, а заготовці – рух поздовжньої подачі. Після закінчення фрезерування однієї западини стіл відводять у вихідне положення, а заготовку повертають на  $1/z$  оберту ( $z$  – число зубів зубчастого колеса, що нарізають). Кінцевими модульними фрезами нарізають зубчасті колеса великих модулів і шевронні колеса. Недоліком цього методу є невисока точність й низька продуктивність зубонарізання.

Метод обкату (рис. 28.2, *а*) заснований на зачепленні зубчастої пари: різального інструмента і заготовки. Ріжучі кромки інструмента мають профіль зуба сполученої рейки або сполученого колеса. Бічна поверхня зуба на заготовці утворюється як обвідна послідовних положень ріжучих кромки інструмента в їхньому відносному русі. Різні положення ріжучих кромки відносно профілю зубців, який формується на заготовці, одержують у результаті кінематично узгоджених обертальних рухів інструмента і заготовки на зуборізному верстаті.

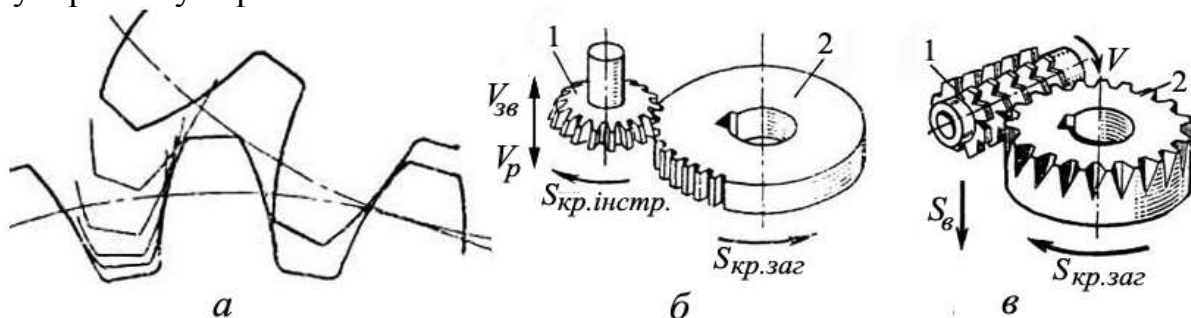


Рис. 28.2. Нарізання зубців циліндричного зубчастого колеса методом обкату



У результаті узгодження рухів інструмента і заготовки, остання повертається навколо виробляючої рейки або колеса, ніби перебуваючи з ними у постійному зачепленні, яке називають верстатним зачепленням. У цей час різальні кромки інструмента прорізають на заготовці западини між зубцями.

Метод обкату забезпечує безперервне формоутворення зубців колеса. Зубчасті колеса нарізають переважно цим методом внаслідок його високої продуктивності та високої точності обробки.

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

На рис. 28.2, б показано схему формоутворення зубців циліндричного колеса методом обкату за допомогою довбача, а на рис. 28.2, в – за допомогою черв'ячної модульної фрези.

### § 28.2. Різальні інструменти для нарізання зубчастих коліс за методом обкату

Черв'ячна модульна фреза (рис. 28.3, а) являє собою гвинт із прорізними нормально до витків канавками. У результаті цього на черв'яку утворюються ріжучі зубці, розташовані по гвинтовій лінії. Профіль зубця фрези в нормальному перетині має трапецеїдальну форму і являє собою зуб рейки з переднім  $\gamma$  і  $\alpha$  заднім кутами заточки.

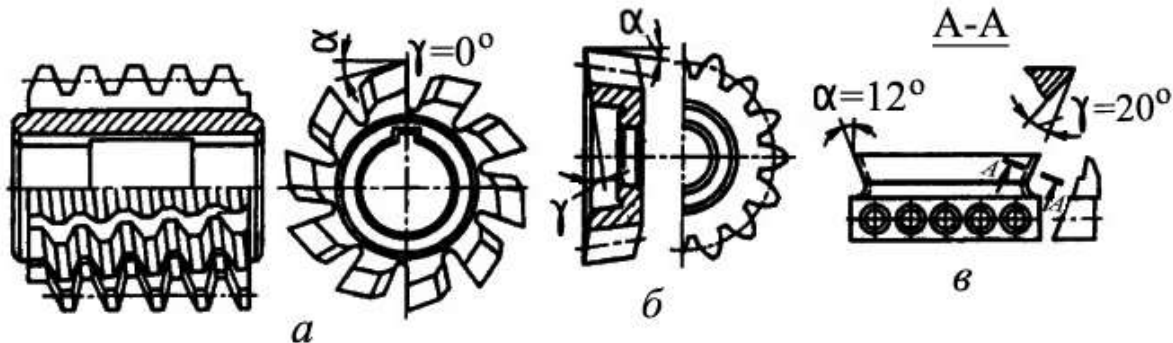


Рис. 28.3. Інструменти для нарізання зубчастих коліс за методом обкату

Черв'ячні фрези виготовляють однозахідними і багатозахідними. Чим більше число заходів, тим вище продуктивність фрези, але нижче точність. Черв'ячними модульними фрезами нарізають циліндричні колеса із прямими й косими зубцями і черв'ячні колеса.

Зуборізний довбач (рис. 28.3, б) являє собою зубчасте колесо, зубці якого мають евольвентний профіль із переднім  $\gamma$  і заднім  $\alpha$  кутами заточки. Розрізняють два типи довбачів: прямозубі – для нарізання циліндричних коліс із прямими зубцями, й косозубі – для нарізання циліндричних коліс із косими зубцями.

Зубостругальний різець (рис. 28.3, в) має призматичну форму з відповідними кутами заточки й прямолінійною ріжучою кромкою. Передній  $\gamma$  і задній  $\alpha$  кути утворюються при установці різця в різцетримачі верстата. Ці різці

застосовують попарно для нарізання конічних зубчастих коліс із прямими зубцями.

Різальні інструменти, що працюють за методом обкатки, дозволяють нарізати одним інструментом даного модуля колеса того ж модуля з будь-яким числом зубців.

### § 28.3. Основні типи зубооброблювальних верстатів

Найбільше використовуються у промисловості зубооброблювальні верстати, на яких формоутворення зубців здійснюється за методом обкату. На цих верстатах зубчасті колеса, залежно від використовуваного різального інструмента, нарізають різними технологічними методами.

Зубофрезерні верстати призначені для нарізання циліндричних коліс зовнішнього зачеплення із прямими й косими зубцями й черв'ячних коліс. На рис. 28.4, а показаний зубофрезерний напівавтомат.

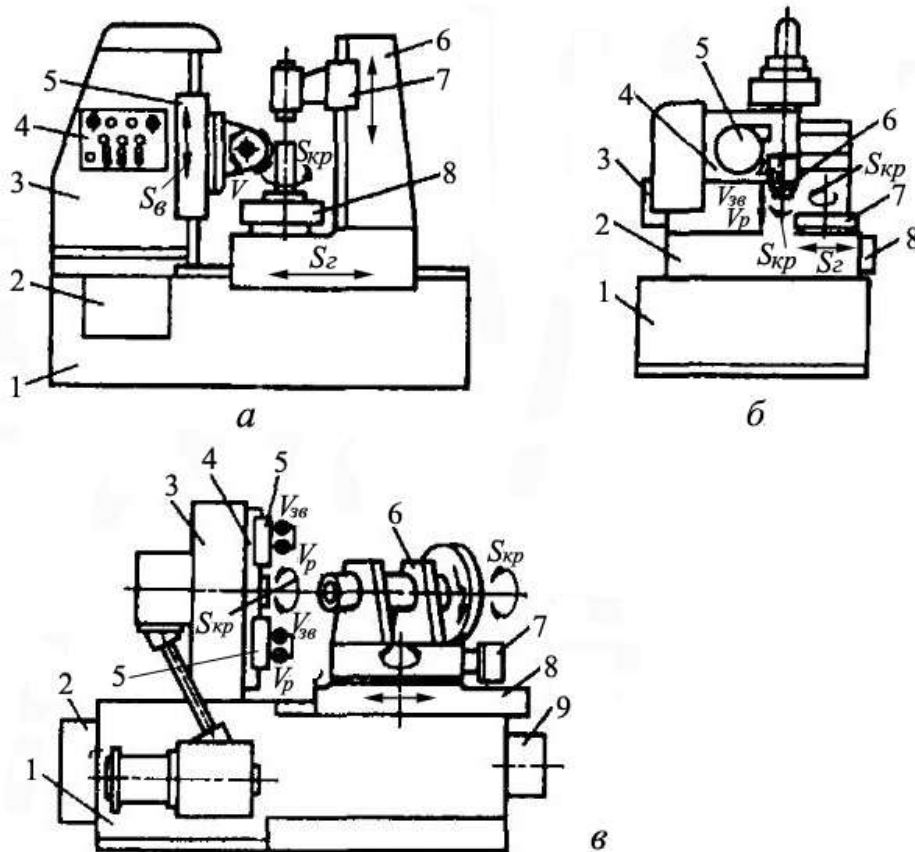


Рис. 28.4. Основні типи верстатів для нарізання зубчастих коліс

На станині 1 ліворуч установлена нерухома стійка 3. Фрезу, закріплену на оправці, установлюють у шпинделі фрезерного супорта 5, що переміщається по вертикальних напрямних стійки. Супорт може повертатися у вертикальній площині. Заготовку закріплюють на оправці поворотного стола 8. На корпусі стола, що переміщується по горизонтальних напрямних станини, установлена задня стійка 6 з рухомих кронштейном 7 для підтримування верхнього кінця оправки. У станині розташована коробка швидкостей 2, за допомогою якої встановлюють частоту обертання шпинделя.

У нерухомій стійці знаходяться механізми гітар розподілу, диференціала й коробки подачі із електромагнітними муфтами. Гітара ділення (обкатування) надає заготовці колової швидкості, необхідної для автоматичного поділу заготовки на задане число зубців. Гітара диференціала надає заготовці додатковий обертовий рух при нарізуванні коліс із косим зубом. Вона дозволяє збільшити або зменшити швидкість обертання заготовки шляхом настроювання ділильної гітари і одержати лівий або правий нахил зубів колеса. За допомогою коробки подачі установлюють швидкість вертикального руху подачі фрези або швидкість горизонтального (радіального) руху подачі заготовки.

До нерухомої стійки корпусу прикріплений пульт управління 4 верстатом. Цикл роботи верстата автоматизований. Всі робочі й допоміжні рухи (швидке підведення заготовки до інструмента, зубонарізання, швидкий відвід колеса й інструмента у вихідне положення й зупинка верстата) здійснюються автоматично.

Зубодовбальні верстати призначені для нарізання циліндричних зубчастих коліс зовнішнього і внутрішнього зачеплення із прямими й косими зубцями. На таких верстатах можна нарізати блоки зубчастих коліс із малою відстанню між вінцями коліс, а також шевронні колеса.

На рис. 28.4, б показаний вертикальний зубодовбальний верстат. Станина верстата складається із двох частин – нижньої 1 і верхньої 2. Довбач, закріплений у шпинделі 6, одержує обертальний й одночасно зворотно-поступальний рухи. Супорт 4 переміщається по напрямним станини 2 у поперечному напрямку. Заготовку закріплюють на шпинделі стола 7 і надають їй обертового руху. Крім того, заготовка може здійснювати зворотно-поступальний рух у горизонтальній площині для відведення її від довбача перед кожним його допоміжним ходом. Гітара швидкостей 8 призначена для зміни частоти подвійних ходів довбача у мінуту. Гітара ділення 3 надає довбачу окружної швидкості для автоматичного поділу заготовки на задане число зубців. За допомогою механізму подачі 5 установлюють радіальну подачу довбача.

Зубодовбальні верстати працюють у напівавтоматичному циклі.

Зубостругальні верстати (див. рис. 28.4, в) застосовують для нарізання конічних зубчастих коліс. На станині 1 ліворуч розташована стійка 3 з люлькою 4. По напрямних люльки переміщаються два різцевих супорти 5, у яких закріплені зубостругальні різці. Останні поперемінно здійснюють зворотно-поступальний рух в напрямку до вершини конусів конічних коліс – плоского й заготовки. Частоту подвійних ходів різців у мінуту встановлюють настроюванням гітари швидкостей 2. Люлька змонтована на планшайбі й при обкатуванні обертається навколо горизонтальної осі, імітуючи обертання плоского конічного колеса.

У шпинделі ділильної бабки 6 на оправці закріплюють заготовку. Салазки 8 ділильної бабки, переміщаючись по поздовжніх напрямних станини, підводять заготовку до різців і відводять її від них. Величини підведення й відведення заготовки регулюються за допомогою механізму 9. Настроюванням гітари ділення 7 заготовки при відведенні її від різців забезпечують поворот на

один кутовий крок, тобто на  $1/z$  оберту. Ділильна бабка 6 може повертатися навколо вертикальної осі для установки осі шпинделя (заготовки) під кутом  $\delta$  (кут при вершині конуса колеса, що нарізують) до осі люльки.

Застосування ЧПК одержало розвиток у зубофрезерних й зубодовбальних верстатах, у яких його використовують у вигляді комплексної системи управління циклом обробки и налагодження, включаючи установлювальні переміщення вузлів і заміну частини механічних кінематичних зв'язків на зв'язки з електронним керуванням приводами. Застосування електронних систем керування циклом обробки розширює універсальність зубооброблювальних верстатів, а також дозволяє простими способами одержувати зубці з більш раціональною формою.

#### § 28.4. Елементи режиму різання при зубонарізанні

Швидкістю головного руху різання при зубофрезеруванні є швидкість на вершині зубця фрези, а рухом подачі – переміщення фрези уздовж осі обертання заготовки.

Швидкість головного руху різання, м/с:

$$V = \frac{\pi D_{\delta} n_{\delta}}{60 \cdot 1000}, \quad (28.1)$$

де  $D_{\delta}$  – діаметр фрези, мм;  $n_{\delta}$  – частота обертання фрези, об/хв.

Подачу вимірюють у міліметрах на один оберт заготовки й вибирають за нормативами з режимів різання залежно від числа зубців, необхідних шорсткості й точності обробки. При обробці однозахідною модульною черв'ячною фрезою необхідно, щоб за час одного оберту фрези заготовка, на якій потрібно одержати  $z$  зубців, повернулася на  $1/z$  кола.

При нарізанні циліндричних коліс із прямими зубцями використовують прямозубі довбачі. Головний рух різання – зворотно-поступальний рух довбача; рух довбача вниз – робочій хід  $V_p$ , рух його вгору – допоміжний хід  $V_{\text{çä}}$ . Обидва рухи (робочий і допоміжний) складають подвійний хід довбача.

Швидкість головного руху різання при зубодовбанні, м/с:

$$V = \frac{2L \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (28.2)$$

де  $L$  – довжина ходу довбача, мм;  $n$  – число подвійних ходів довбача за хвилину.

Довбач і заготовка, перебуваючи в зачепленні, обертаються зі швидкістю, обернено пропорційною числу їхніх зубців:

$$\frac{n_{\text{çää}}}{n_{\text{ä}}} = \frac{z_{\text{ä}}}{z_{\text{çää}}}, \quad (28.3)$$

де  $n_{\text{çää}}$  – частота обертання заготовки, об./хв;  $n_{\text{ä}}$  – частота обертання довбача, об./хв;  $z_{\text{ä}}$  – число зубців довбача;  $z_{\text{çää}}$  – число зубців колеса, що нарізують.

Обертання довбача (рух кругової подачі довбача) і обертання заготовки (рух кругової подачі заготовки) є рухами обкатування.

Рух кругової подачі виражається довжиною дуги ділительного кола довбача, на яку він повертається за один подвійний хід (мм/пд. хід). Поперечним переміщенням супорта довбачу надають рух радіальної подачі – рух врізання довбача у заготовку. Рух радіальної подачі надається довбачу до досягнення повної глибини западини між зубцями, після чого обробка здійснюється при постійній міжцентровій відстані.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Назвіть два основних методи нарізання зубчастих коліс.
2. У чому полягає нарізання зубчастих коліс методом копіювання?
3. Опишіть схему зубонарізання методом обкату.
4. Назвіть інструменти для нарізання зубчастих коліс методом копіювання і обкату.
5. Опишіть конструкцію і назвіть основні геометричні параметри черв'ячної модульної фрези.
6. Назвіть переваги і недоліки однозахідних і багатозахідних черв'ячних зуборізних фрез.
7. Опишіть конструкцію зуборізного довбача.
8. Назвіть основні типи зуборізних верстатів.
9. Коротко опишіть конструкцію і принцип роботи зубофрезерного напівавтомата.
10. Опишіть конструкцію і принцип роботи вертикального зубодовбального верстата.
11. Опишіть устрій і принцип роботи зубостругального верстата.
12. Які типи зубчастих коліс нарізують: на зубофрезерних, зубодовбальних, зубостругальних верстатах?
13. Назвіть елементи режиму різання при зубофрезеруванні.
14. Як визначаються при зубофрезеруванні швидкість різання та подача заготовки?
15. Наведіть залежність для визначення швидкості різання при зубодовбанні.

## **Глава 29. ОСНОВИ ОБРОБКИ НА ШЛІФУВАЛЬНИХ І ЗАТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ**

### **§ 29.1. Суть і призначення шліфування**

Шліфування – процес обробки заготовок різанням шліфувальним кругом – інструментом, в якому хаотично розташовані абразивні зерна втримуються матеріалом зв'язки.

Абразивний матеріал (абразивні зерна), твердість якого перевищує твердість оброблюваного матеріалу і який здатний у здрібненому стані здійснювати обробку різанням, називають шліфувальним. Залежно від виду використовуваного шліфувального матеріалу розрізняють алмазні, ельборові, електрокорундові, карбідкремнієві й інші абразивні інструменти (шліфувальні круги).

При обертovому русі шліфувального круга в зоні його контакту із заготовкою частина зерен зрізує матеріал у вигляді дуже великої кількості тонких стружок (до 100 тис. за хвилину). Шліфувальні круги зрізують стружки на дуже великих швидкостях – від 30 до 125 м/с. Процес різання кожним зерном здійснюється майже миттєво. Оброблена поверхня являє собою сукупність мікрослідів абразивних зерен і має малу шорсткість.

Абразивні зерна здійснюють на заготовку істотний силовий і тепловий

вплив. Для зменшення теплового впливу процес шліфування проводять з рясною подачею мастильно-охолоджувальних рідин.

Шліфування застосовують для чистової й оздоблювальної обробки деталей з високою точністю. Для заготовок із загартованих сталей шліфування є одним з найпоширеніших методів формоутворення. З розвитком маловідходної технології прогнозується зменшення частки обробки лезовим інструментом та збільшення – абразивним.

Відомості про шліфувальні матеріали, що випускаються, зв'язуваннях і області їхнього застосування наведені в довідковій літературі.

## § 29.2. Основні схеми шліфування

Форми деталей сучасних машин являють собою сполучення зовнішніх і внутрішніх плоских, кругових циліндричних і кругових конічних поверхонь. Інші поверхні зустрічаються рідше. Відповідно до зазначених форм деталей машин найбільш застосованими є схеми шліфування, наведені на рис. 29.1.

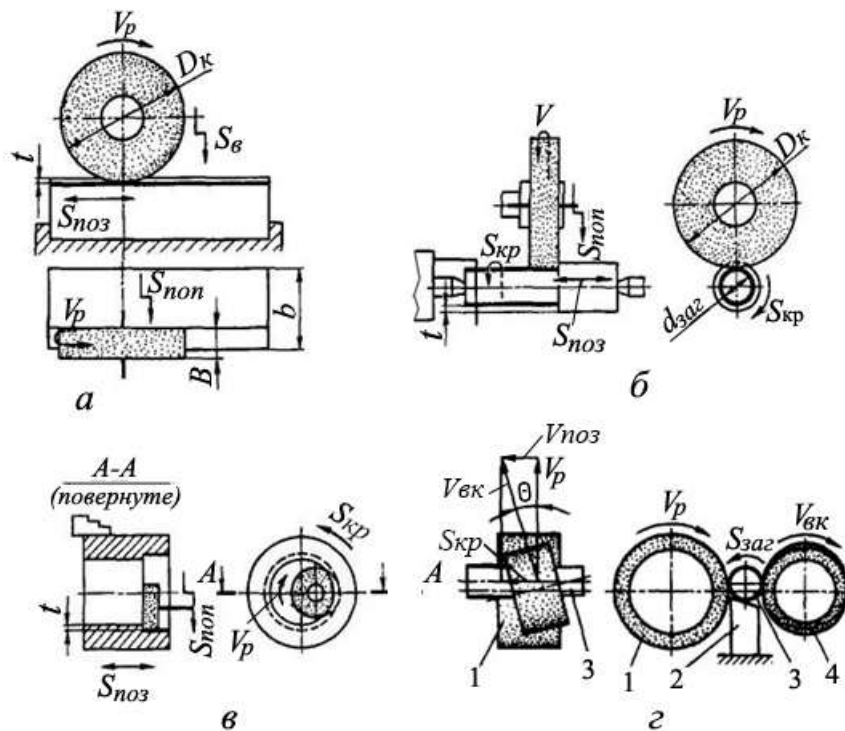


Рис. 29.1. Схеми обробки на шліфувальних верстатах

Для всіх технологічних способів шліфувальної обробки головним рухом різання  $V_p$  (м/с) є обертання шліфувального круга.

При плоскому шліфуванні зворотно-поступальне переміщення заготовки необхідне для забезпечення поздовжньої подачі  $S_{ii\zeta}$  (м/хв) (рис. 29.1, а). Для обробки поверхні на всю ширину  $b$  заготовка або круг повинні мати рух поперечної подачі  $S_{iii}$ . Цей рух відбувається переривчасто (періодично) у крайніх положеннях заготовки наприкінці поздовжнього ходу. Періодично відбувається й рух подачі  $S_a$  на глибину різання. Це переміщення здійснюється

також у крайніх положеннях заготовки, але наприкінці поперечного ходу.

При круглому шліфуванні (див. рис. 29.1, б) рух поздовжньої подачі забезпечується зворотно-поступальним переміщенням заготовки. Подача  $S_{i\dot{i}\zeta}$  (мм/об. заг.) відповідає осьовому переміщенню заготовки за один її оберт. Обертання заготовки є рухом кругової подачі  $S_{\dot{\epsilon}\delta}$ . Подача  $S_{i\dot{i}i}$  (мм дв./хід або мм/хід) на глибину різання для наведеної схеми обробки відбувається у крайніх положеннях заготовки.

Внутрішнє шліфування застосовують для одержання високої точності отворів, як правило, на заготовках, що пройшли термічну обробку. Можливе шліфування наскрізних, ненаскрізних (глухих), конічних і фасонних отворів. Діаметр шліфувального круга становить 0,7...0,9 діаметра отвору, що шліфується. Кругу надають високу частоту обертання: вона тим вище, чим менше діаметр круга.

Рухи, здійснювані інструментом і заготовкою при внутрішньому шліфуванні, показані на 29.1, в. Кругову подачу  $S_{\dot{\epsilon}\delta}$  здійснює заготовка, а поздовжню  $S_{i\dot{i}\zeta}$  і поперечну подачу на врізання  $S_{i\dot{i}i}$  – шліфувальний круг.

Процес безцентрового шліфування (див. рис. 29.1, г) характеризується високою продуктивністю. Заготовки обробляють у незакріпленому стані, для них не потрібно центрових отворів.

Заготовку 3 установлюють на ніж 2 між двома кругами – шліфувальним 1 і ведучим 4. Ці круги обертаються в одному напрямку, але з різними швидкостями. Тертя між ведучим кругом і заготовкою більше, ніж між нею і робочим кругом. Внаслідок цього заготовка захоплюється в обертання зі швидкістю, близькою до окружної швидкості ведучого круга.

Перед шліфуванням ведучий круг встановлюють похило під кутом  $\theta$  (1...7°) до осі обертання заготовки. Вектор  $V_{\dot{a}\epsilon}$  швидкості цього круга розкладається на складові, і виникає швидкість руху подачі  $S_{i\dot{i}\zeta}$ . Тому заготовка переміщається по ножу уздовж своєї осі й може бути прошліфована на всю довжину. Чим більше кут  $\theta$ , тим більше подача.

### § 29.3. Шліфувальні інструменти

Шліфувальні інструменти розрізняють за геометричною формою й розмірами, родом і сортом абразивного матеріалу, зернистістю або розмірами абразивних зерен, зв'язкою або видом зв'язувальної речовини, твердістю, структурою або будовою круга.

Зерна абразивних інструментів являють собою штучні або природні мінерали і кристали. Абразивні матеріали відрізняються високою твердістю, що визначається за мінералогічною шкалою. Зерна абразивів поділяють за крупністю на групи й номери. Основна характеристика номера зернистості – кількість і крупність його основної фракції. Речовину або сукупність речовин, застосовуваних для закріплення зерен шліфувального матеріалу й наповнювача в абразивному інструменті, називають зв'язкою. Наповнювач у зв'язці

призначений для надання інструменту необхідних фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей.

Найширше застосовують інструменти, виготовлені на керамічний, бакелітовій або вулканітовій зв'язці.

Керамічну зв'язку готують із глини, польового шпату, кварцу й інших речовин шляхом їхнього тонкого здрібнювання й змішування в певних пропорціях. Бакелітова зв'язка складається, в основному, зі штучної смоли – бакеліту. Вулканітова зв'язка являє собою штучний каучук, підданий вулканізації для перетворення його на міцний, твердий ебоніт.

Підтвердістю абразивного інструмента розуміють здатність зв'язки чинити опір викиданню абразивних зерен з робочої поверхні інструмента під дією зовнішніх сил.

Для шліфування заготовок із твердих сплавів і високотвердих матеріалів успішно застосовують алмазні круги. Алмазний круг складається з корпусу й алмазозносного шару. Корпус виготовляють із алюмінію, пластмас або сталі. Товщина алмазозносного шару в більшості кругів становить 1,5...3 мм. Частіш за все для виготовлення таких інструментів використовують синтетичні алмази. Питома вага їхнього застосування перевищує 80 %. Наразі створено нові штучні матеріали, які практично не вимагають правки й зберігають свої властивості при нагріванні до 1200 °С.

На шліфувальні круги наносять позначення, названі маркуванням. Воно необхідне для правильного вибору інструмента при проведенні конкретної роботи. Приклади позначення абразивного і алмазного шліфувальних кругів наведені на рис. 29.2.



Рис. 29.2. Приклади маркування абразивного (а) і алмазного (б) шліфувальних кругів

Залежно від виду шліфувальних робіт і матеріалу, який обробляється, застосовують шліфувальні круги різноманітної форми. На рис. 29.3, а наведено маркування форм профілю абразивних кругів, на рис. 29.3, б – систему позначень, яка застосовується для маркування алмазних шліфувальних кругів.



У процесі шліфування ріжучі властивості кругів змінюються: абразивні зерна зношуються, затуплюються, частково розколюються, пори між зернами заповнюються шліфувальними відходами, в результаті чого зростає сила різання. Поверхня круга внаслідок нерівномірного зношування втрачає свою первісну форму, і точність обробки знижується.

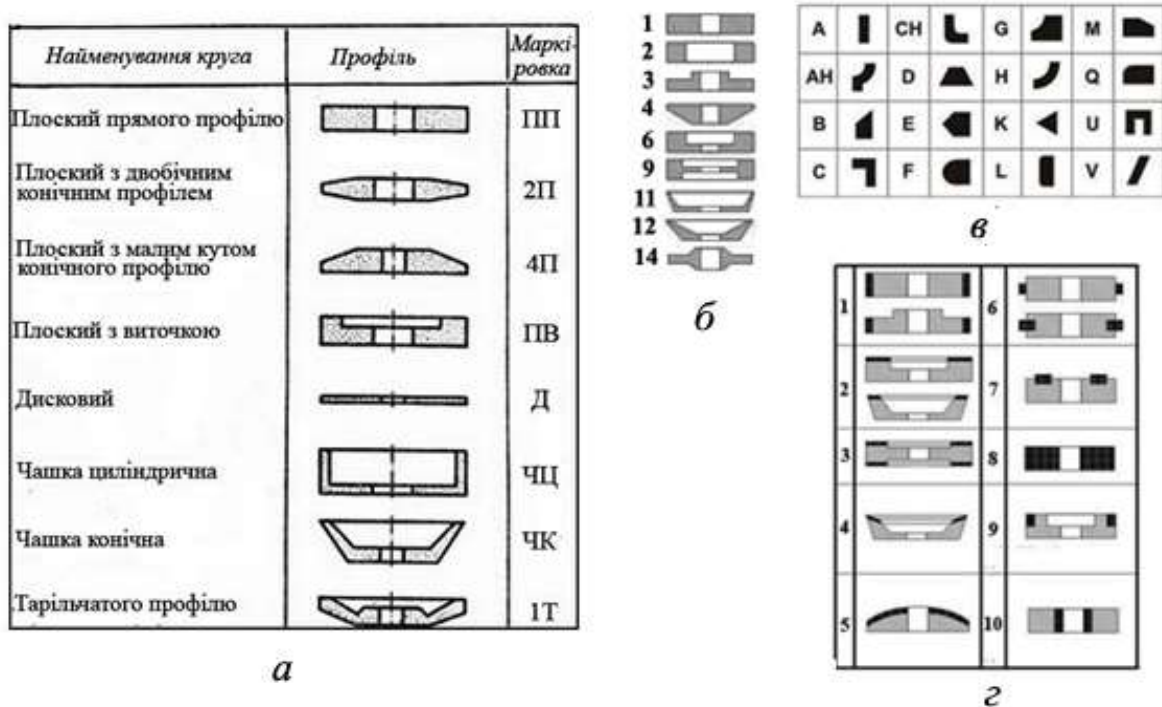


Рис. 29.3. Маркування шліфувальних кругів:

*а* – форми профілю абразивних кругів; *б* – позначення корпусу алмазного круга;  
*в* – позначення форми алмазоносного шару; *г* – позначення розташування алмазоносного шару на корпусі круга

Правильному вибору зв'язки надається достатньо велике значення. Якщо зв'язка слабо втримує зерна, то вони будуть видалятися з круга раніше, ніж затупляться. Відбуватиметься “осипання” круга. При надмірно міцному втриманні зерна сильно затуплюються, а на робочій поверхні круга з'являється характерний блиск – засалювання круга. У тому й іншому випадках якість шліфованої поверхні знижується.

У правильно вибраному крузі зв'язка не втримує зерна, що затупилися. Вони випадають під дією сил тертя, а на поверхні круга з'являються зерна з гострими різальними кромками.

Для відновлення ріжучих властивостей абразивні інструменти піддають правці, найчастіше алмазом при рясному охолодженні. Алмаз, укріплений у спеціальній державці (алмазний олівець), переміщається вручну або автоматично з рухом подачі відносно круга, що обертається. Товщина шару, що видаляється з поверхні шліфувального круга, звичайно не перевищує 0,01...0,03 мм. На деяких верстатах круги правлять обертовими алмазними роликками. Час безперервної роботи інструмента між двома правками

характеризує період його стійкості. Залежно від вимог до якості обробки й режимів різання стійкість інструмента орієнтовно становить 5...40 хв.

Перед установкою на шпиндель верстата шліфувальні круги піддають контролю. На кругах діаметром більше 150 мм повинна бути позначена максимально допустима окружна швидкість. Кожний круг попередньо випробовують на спеціальних верстатах при обертанні зі швидкістю, яка в 1,5 рази перевищує зазначену в маркуванні.

Якщо в процесі шліфування з деяких причин маса круга розподілена нерівномірно відносно осі його обертання, виникає вібрація верстата, на обробленій поверхні з'являється характерна хвилястість або огранка. Шліфування на верстаті стає небезпечним, тому що круг починає працювати з ударами й може розірватися. Через це шліфувальні круги повинні бути збалансовані.

Процес балансування передбачає усунення нерівноваженості маси круга відносно осі шпинделя верстата. Круг разом із закріплюючими його фланцями монтують на балансувальній оправці й установлюють на опорах так, щоб він міг вільно повертатися відносно осі обертання. При статичній нерівноваженості круг, повертаючись, установлюється важкою частиною вниз. У процесі балансування нерівноваженість усувається переміщенням спеціальних тягарців, розташованих на фланцях або в спеціальних пристроях.

Найкращі результати дає балансування в динамічному режимі при обертанні шпинделя верстата із установленим кругом, а також на спеціальних автоматизованих установках.

#### § 29.4. Типи шліфувальних верстатів

Конструкція круглошліфувальних верстатів і їхнє компонування відповідає основним схемам шліфування.

Круглошліфувальний верстат складається з таких основних вузлів (див. рис. 29.4, а): станини 1, стола 2, передньої бабки 3 з коробкою швидкостей, шліфувальної бабки 4, задньої бабки 5, приводу стола 6.

Круглошліфувальні верстати поділяють на прості, універсальні й врізні. На універсальних верстатах кожну з бабок можна повернути на певний кут навколо вертикальної осі й закріпити для наступної роботи. Прості верстати укомплектовані неповоротними бабками.

У врізних верстатах відсутній поздовжній рух подачі стола, і шліфування ведеться по всій довжині заготовки широким шліфувальним кругом з рухом поперечної подачі. Зворотно-поступальне переміщення стола для руху поздовжньої подачі здійснюють за допомогою гідроциліндра й поршня.

Рух кругової подачі  $S_{\partial\partial}$  заготовки забезпечує спеціальний електродвигун. Шліфувальний круг отримує обертання від клинопасової передачі. Коли круг зношується і діаметр його зменшується, використовують іншу пару шківів, і швидкість руху різання збільшується.

При шліфуванні зовнішніх циліндричних і конічних поверхонь оброблювана заготовка може бути встановлена в центрах верстата, цанзі, патроні або спеціальному пристрої.

Найбільш поширені методи шліфування в центрах. Для підвищення точності обробки центри встановлюють нерухомо. Рух кругової подачі заготовки забезпечується за рахунок повідкового пристрою. Можливе консольне закріплення заготовок у кулачкових патронах.

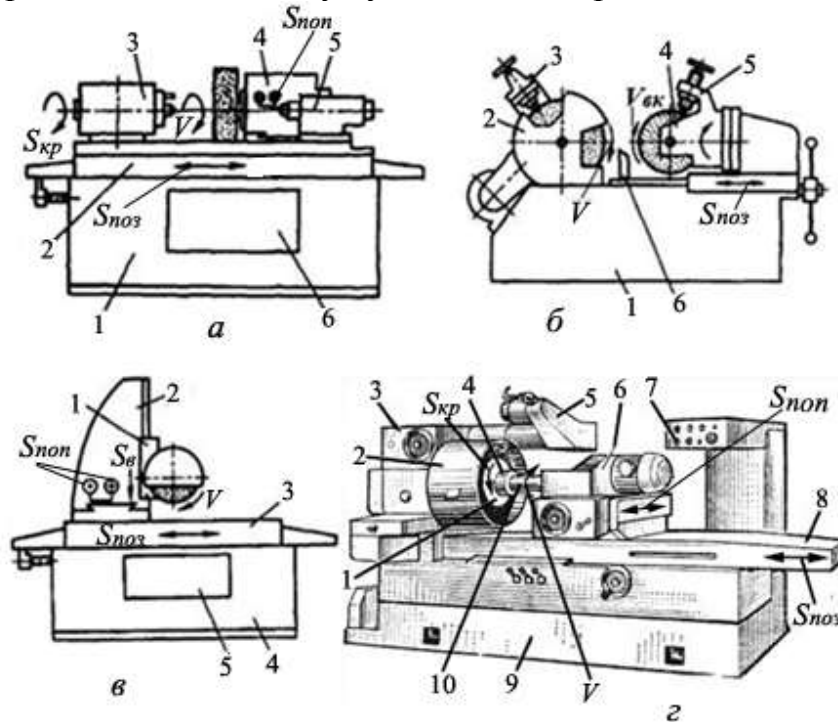


Рис. 29.4. Основні типи шліфувальних верстатів

На станині 1 безцетрово шліфувального верстата (рис. 29.4, б) установлені два круги: шліфувальний на бабці 2 і ведучий на бабці 4. Кожний з кругів піддається періодичній правці за допомогою механізмів 3 і 5. Заготовка обертається на ножі 6 і одночасно контактує з обома кругами. Щоб заготовка переміщувалась по ножу з рухом поздовжньої подачі, бабку ведучого круга повертають на невеликий кут. Якщо шліфують заготовки з уступами, то бабку ведучого круга не повертають, а вся вона переміщається по напрямних станини до певного положення.

Плоскошліфувальний верстат із прямокутним столом (рис. 29.4, в) складається зі станини 4, стола 3, стійки 2, шліфувальної бабки 1 і приводу стола 5.

Рух подачі здійснюють вручну або автоматичним приводом верстата. Поздовжнє переміщення стола забезпечується найчастіше за допомогою гідравлічного пристрою – поршня, циліндрів і органів керування.

У іншого типу верстатів замість зворотно-поступального руху стіл здійснює обертовий рух. У цьому випадку його виконують круглим, з вертикальною віссю обертання. Компонування такого верстата передбачає також вертикальне розташування осі шліфувального круга. Площини

обробляють торцевою поверхнею круга.

Внутрішньошліфувальний верстат має таку будову. На верхній площині станини 9 (рис. 29.4, *з*) встановлена бабка виробу 3, на якій в захисному кожуху 2 кріпиться в патроні 1 заготовка 4, яка обертаючись, здійснює рух кругової подачі  $S_{\partial\partial}$ . У шліфувальній бабці 6 кріпиться робочий шпиндель зі встановленим у ньому шліфувальним кругом 10, який здійснює рух різання  $V_{\partial}$ . Стіл 8 шліфувальної бабки горизонтально переміщується по напрямним станини, здійснюючи повздовжню подачу  $S_{ii\zeta}$ . Крім того, шліфувальна бабка 6 має можливість як автоматичного, так і ручного переміщення по напрямним стола 8, здійснюючи поперечну подачу  $S_{iii}$ . На бабці 3 виробу розміщений пристрій 5 для шліфування торців.

Для внутрішнього шліфування поверхонь отворів малих діаметрів (кілька міліметрів) верстатисти постачають спеціальними швидкохідними шпинделями. Частота обертання круга – до 300 тис. об./хв.

### § 29.5. Заточувальні верстати і обробка на них

Заточувальні верстати є різновидом шліфувальних верстатів, які використовуються для відновлення різальних властивостей різальних інструментів – заточування. Цей тип шліфувальних верстатів відрізняється, в основному, набором спеціальних пристроїв для установки на верстаті різальних інструментів при шліфуванні їх робочих поверхонь.

Заточувальні верстати поділяють на дві основних групи: спеціальні, призначені для заточування окремих видів інструментів (наприклад, верстати для заточування токарних різців, фрез, протяжок, довбачів тощо); універсальні, призначені для заточування практично всіх видів різальних інструментів, а також для виконання операцій круглого та плоского шліфування деталей невеликих габаритів.

Найбільш поширені універсальні заточувальні верстати, прикладом яких є універсально-заточувальний верстат ЗД642Е (рис. 29.5).

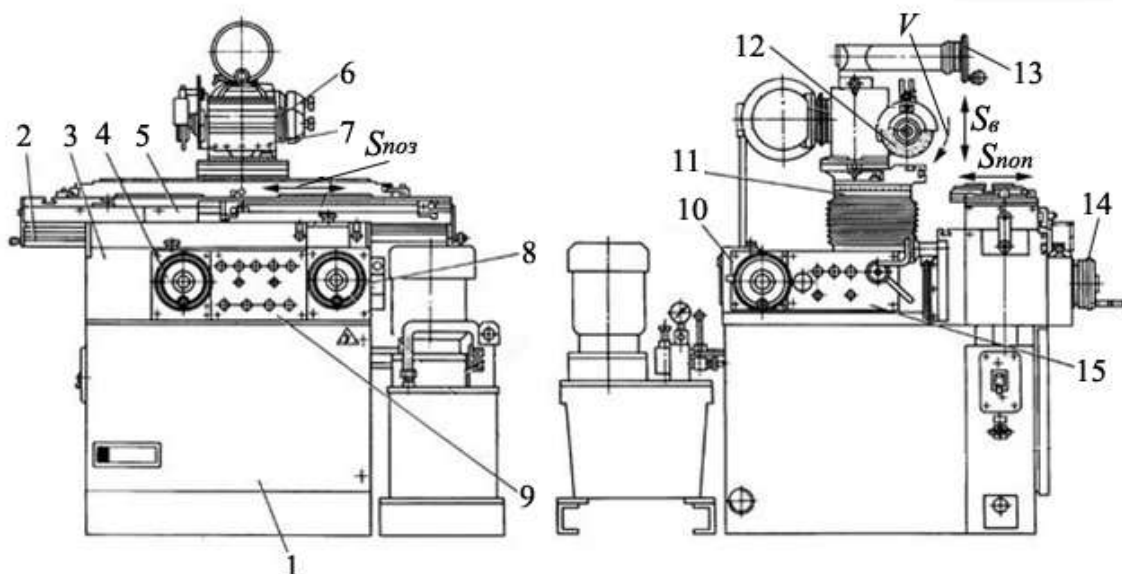


Рис. 29.5. Будова універсально-заточувального верстата 3Д642Е

На верхній частині станини 1 верстата закріплена підстава 3 стола 5. На ньому встановлена шліфувальна бабка 7 зі шліфувальною головкою 6, на шпинделі якої встановлено шліфувальний круг 12. Шліфувальна бабка змонтована на колоні 11 і може переміщуватись по ній у вертикальному напрямку за допомогою спеціального редуктора відносно каретки 10.

Управління верстатом здійснюється за допомогою переднього пульта 9, розташованого на панелі 8, і лівого пульта управління 15.

При роботі верстата поздовжнє переміщення  $S_{\text{вд}}$  стола здійснюється гідроприводом або вручну. При роботі від гідроприводу реверсування руху повздовжньої подачі стола здійснюється за допомогою спеціальних важелів, встановлених на його торцях, які перемикають золотники управління гідроциліндра.

Для переміщення стола вручну штоки гідроциліндра від'єднуються від стола. Переміщення здійснюється з переднього робочого місця обертанням маховичка 14.

Поперечна подача  $S_{\text{ппр}}$  стола здійснюється в двох режимах: режим грубої (швидкої) і режим тонкої поперечних подач. Швидка поперечна подача здійснюється обертанням маховичка 4 при відключеному механізмі тонкої подачі. Тонка поперечна подача здійснюється обертанням малого маховичка, розташованого у центрі маховичка 4 при включеному механізмі тонкої подачі. Вертикальне переміщення  $S_a$  шліфувального круга здійснюється ручним переміщенням колони за допомогою маховичка 13.

Верстат укомплектований набором пристроїв, які дозволяють виконувати заточування як різців, так і багатолезових інструментів – циліндричних, торцевих і дискових фрез, протяжок тощо.

На рис. 29.6 показаний приклад заточування задньої поверхні багатолезового інструмента – фрези. Заточування інструмента здійснюється по задній поверхні зуба. Фреза 2 встановлюється в центрах на столі верстата

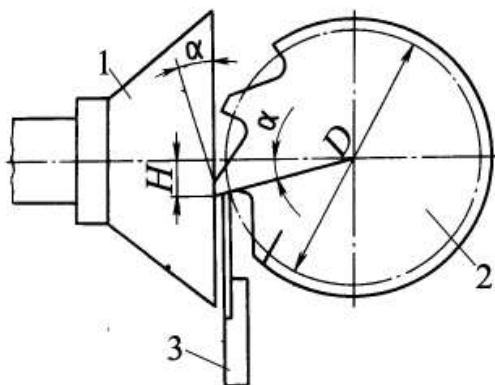


Рис. 29.6. Схема заточування циліндричної фрези на універсально-заточувальному верстаті

відносно чашкового шліфувального круга 1 таким чином, що їхні осі розташовані на одній лінії у горизонтальній площині. На столі встановлюють спеціальний пристрій – упорку 3 таким чином, щоб її опорна поверхня розташовувалась на відстані  $H$  від лінії центрів круга і фрези. У цьому положенні забезпечується розташування задньої поверхні заточуваного зуба фрези під кутом  $\alpha$  до торцевої площини круга, якою і здійснюється заточування.

У разі заточування за декілька проходів із задньої поверхні зуба фрези зішліфовується шар зношеного металу.

Величину опускання упорки  $H$  залежно від діаметра інструмента і величини заднього кута визначають з таблиць довідників або розраховують за наближеною формулою  $H = 0,085D\alpha$ , мм, де  $D$  – діаметр фрези, мм;  $\alpha$  – задній кут зуба фрези, рад.

### § 29.6. Параметри режимів різання при шліфуванні і заточуванні

Основними параметрами режиму різання при шліфуванні є:

- швидкість шліфувального круга (швидкість різання)  $V_d$ , м/с;
- швидкість обертального або поступального руху заготовки  $V_c$ , м/хв;
- глибина шліфування  $t$ , мм – шар металу, який знімається периферією (торцем) шліфувального круга в результаті поперечної подачі  $S_{ii}$  на кожний хід (подвійний хід) при круглому або плоскому шліфуванні;
- поздовжня подача  $S_{ii_c}$  – переміщення шліфувального круга в напрямку його осі в міліметрах на один оберт заготовки при круглому шліфуванні або в міліметрах на кожний хід стола при плоскому шліфуванні периферією круга.

Всі вказані параметри визначаються залежно від схеми шліфування (кругле, плоске, безцентрове або внутрішнє), оброблюваного матеріалу, параметрів шліфувального круга, технологічних вимог (потрібна точність і шорсткість оброблюваних поверхонь) за довідковими таблицями.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення операції шліфування.
2. Опишіть основні схеми шліфування:
  - круглого;
  - плоского;
  - внутрішнього;
  - безцентрового.
3. Опишіть будову шліфувального круга.
4. Які абразивні матеріали застосовуються для виготовлення шліфувальних кругів?
5. Які зв'язки використовуються у абразивних кругах?
6. Назвіть основні форми шліфувальних кругів.
7. Як маркуються абразивні і алмазні шліфувальні круги?
8. Наведіть приклади маркування профілю:
  - шліфувальних кругів;
  - алмазних кругів.
9. Опишіть процес правки шліфувального круга.
10. Як здійснюється балансування шліфувального круга?
11. Назвіть основні типи шліфувальних верстатів.
12. Опишіть будову і принцип роботи: круглошліфувального, плоскошліфувального, внутрішньошліфувального та безцентровошліфувального верстатів.
13. Для чого застосовується операція заточування?
14. Опишіть будову універсально-заточувального верстата.
15. Наведіть приклад схеми заточування багатолезового інструмента на універсально-заточувальному верстаті.
16. Назвіть елементи режиму різання при шліфуванні.

## Глава 30. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ РІЗАННЯМ

### § 30.1. Сутність автоматизації обробки на металорізальних верстатах

Автоматизація являє собою сукупність заходів зі створення і застосування засобів і систем управління технологічним процесом механічної обробки, які звільняють робітника частково або повністю від особистої участі в процесі обробки заготовок.

Робота автоматичного пристрою має зазвичай циклічний характер. Час кожного циклу складається з робочого і допоміжного часу. Основна умова роботи автоматичного пристрою – виконання елементів циклу без втручання людини. У металорізальних верстатах автоматизують операції вмикання й вимикання подач, швидкого підведення й відведення робочих органів верстатів, завантаження заготовок і т. д. Універсальні автомати й напівавтомати забезпечують високу продуктивність праці шляхом максимального суміщення допоміжних і робочих рухів.

Послідовність виконуваних автоматом запрограмованих дій називають робочим циклом. Якщо для поновлення робочого циклу потрібне втручання робітника, то такий пристрій називають **напівавтоматичним**.

Процес, устаткування або виробництво, що не вимагає присутності людини протягом певного проміжку часу для виконання низки повторюваних робочих циклів, називають **автоматичним**. Якщо частина процесу виконується автоматично, а інша частина вимагає присутності оператора, то такий процес називають **автоматизованим**.

Під **безлюдним режимом роботи** розуміють такий ступінь автоматизації, при якому верстат, виробнича ділянка, цех або весь завод може працювати автоматично протягом принаймні однієї виробничої зміни (8 год).

Переваги, що досягаються використанням автоматичних систем у виробництві: можливість значного підвищення продуктивності праці; більш економічне використання ресурсів (праці, матеріалів, енергії); більш висока й стабільна якість продукції; скорочення часу від початку проектування до одержання виробу; можливість розширення виробництва без збільшення трудових ресурсів.

Склад засобів автоматизації, їх будова, спосіб управління залежать від типу виробництва, в умовах якого вони використовуються.

Залежно від програми випуску виробів виробництво умовно поділяють на три типи: одиничне, серійне й масове.

**Одиничне виробництво** – виготовлення одиничних неповторюваних екземплярів продукції або продукції з малим обсягом випуску.

**Серійне виробництво** – періодичне технологічно безперервне виготовлення деякої кількості однакової продукції (партії) протягом тривалого

проміжку календарного часу. Залежно від обсягу випуску цей тип виробництва поділяють на дрібно-, середньо- і великосерійне.

М а с о в е в и р о б н и ц т в о – технологічно й організаційно безперервне виробництво вузької номенклатури виробів у великих обсягах за незмінними креслениками протягом тривалого часу, коли на більшості робочих місць виконується одна й та ж операція.

### § 30.2. Автоматизація завантаження заготовок

Завантаження заготовок на верстати, преси, складальні й інші машини – частина операції їх обробки. Відомо, що повний (штучний) час обробки деталі на верстаті визначається за формулою

$$t_{\phi d} = t_i + t_{\ddot{a}}, \quad (30.1)$$

де  $t_i$  – основний (машинний) час, тобто час, витрачений безпосередньо на обробку деталі різанням;  $t_{\ddot{a}}$  – сумарний допоміжний час, затрачуваний на технічне й організаційне обслуговування верстата, відпочинок і особисті потреби робітника та технологічні перерви.

Аналіз допоміжного часу показує, що на універсальних верстатах витрати часу на завантаження й зняття заготовок є найбільшими й становлять від 20 до 70 % усього допоміжного часу на обробку.

Автоматизація завантаження на верстати різних заготовок – одна з найбільш складних задач автоматизації технологічних процесів. Складність полягає у великій розмаїтості технологічних процесів обробки й складання, форм і розмірів заготовок. Підвищення продуктивності обробки деталей прямо пов'язане зі зниженням штучного часу обробки деталі, обох його складових.

Заготовки в машинобудуванні бувають чотирьох видів: б у н т о в і (дріт або стрічка, згорнуті в бунт-котушку), п р у т к о в і (прутки, смуги), ш т у ч н і (лиття, штамповані заготовки, напівфабрикат, що надходить на подальшу обробку після відрізування від прутка й ін.), п о р о ш к о в і (прес-порошки, гранули й ін.) для одержання пластмасових, металокерамічних і керамічних деталей.

У масовому й великосерійному виробництвах створюють с п е ц і а л ь н і завантажувальні й розвантажувальні пристрої відповідно до форми, виду і розмірів конкретної заготовки.

У всіх типах серійного виробництва використовуються у н і в е р с а л ь н о - н а л а г о д ж у в а н і пристрої, які можливо швидко переналагодити під кожну з різних за формою й розмірами заготовок при зміні оброблюваної деталі.

На рис. 30.1 показана схема м а г а з и н н о г о завантажувального пристрою (МЗП). Магазин 1 – ємність певної форми. У нього завантажують орієнтовані в один ряд заготовки. Магазин розташовують вертикально, горизонтально або похило. Заготовки 2 переміщуються у магазині від зони завантаження до виходу під дією власної ваги (магазини з кутом до горизонталі



не менш  $45^\circ$ ) або примусово штовхачем (магазини горизонтальні або похилі з кутом нахилу до горизонту до  $15^\circ$ ).

Механізм поштучної видачі заготовок – відсікач 3 із приводом відсікача 4, розташований біля магазину. Живильник 5 безпосередньо передає заготовку від магазину в робочу зону. Привод живильника може бути механічним, пневматичним або гідравлічним. У двох останніх випадках він складається зі штока 6, поршня 7, циліндра 8 і пружини 9. Підпружинена планка 10 утримує заготовку в гнізді живильника.

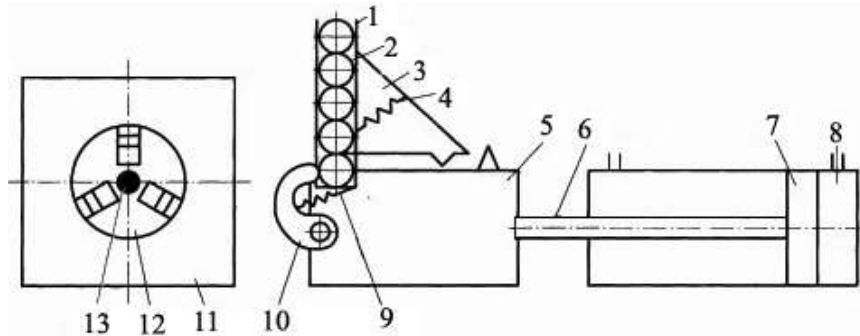


Рис. 30.1. Схема магазинного завантажувального пристрою

Живильник подає заготовку в робочу зону 11, де вона встановлюється й закріплюється в пристрої 12 на верстаті, потім живильник 5 починає рух у зворотному напрямку (до магазину 1). Підпружинена планка 10 відгинається, щоб не зрушити заготовку в пристрої 12 і не зламатися. Повернення планки 10 у вихідне положення здійснюється пружиною 9. Після розкріплення деталі кулачками або іншими затискними елементами пристрою, найчастіше під дією пружини, виштовхувач 13 (скидач) видаляє готову деталь із пристрою 12.

Бункерні завантажувальні пристрої (БЗП) складаються з МЗП з ємністю-бункером, куди завантажують неорієнтовані заготовки, і автомата живлення – механізму для орієнтації й захоплення заготовок. Прикладом БЗП є механізм орієнтації й захоплення, виконаний, наприклад, у вигляді обертового диска з гачками по периферії, призначений для завантаження втулок, трубок і ковпачків, у яких висота більше діаметра  $d$  (рис. 30.2).

Засипані в бункер 1 заготовки, котяться по похилому дну в корпус 6 і зустрічають на своєму шляху гачки 2, установлені на обертовому диску 4.

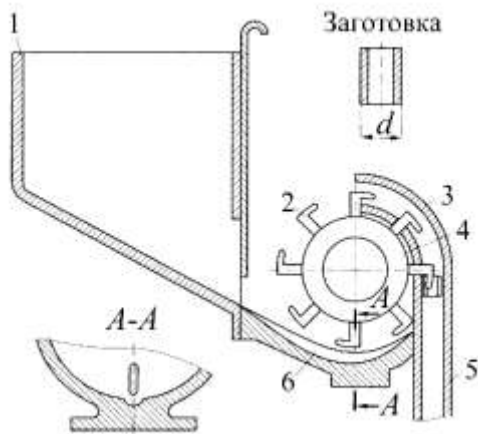


Рис. 30.2. Бункерний  
завантажувальний пристрій

Захоплені гачками заготовки передаються у приймач 3, а потім потрапляють у магазин-трубку 5. Якщо трубка заповнена повністю або заготовка стала на гачку у неправильне положення й не може потрапити в приймач 3, то обертання диска 4 автоматично припиняється за допомогою муфти граничного моменту.

Захоплення заготовки може відбутися не при кожному русі пристрою. В середньому за одиницю часу для забезпечення безперебійної роботи устаткування продуктивність БЗП повинна бути приблизно постійною і на 10...15 % більше продуктивності верстата.

### § 30.3. Автоматизація установаження й закріплення заготовок та інструмента

**Автоматизація установаження і закріплення заготовок.** Зменшити час на установаження й закріплення заготовок на верстатах, розкріплення і зняття готових деталей можна шляхом використання пристроїв зі швидкодіючими приводами.

Установлюючи заготовки в універсальні пристрої, висококваліфікований робітник багато часу витрачає на вивіряння (наприклад, на сполучення осі шпинделя з віссю заготовки) інструмента. Щоб зменшити цей час, використовують непереналагоджувані спеціальні, універсально-налагоджувальні, збірно-розбірні й універсально-збірні пристрої. Щоб взагалі виключити таку операцію, рекомендують застосовувати пневматичні, гідравлічні, електричні, магнітні, вакуумні приводи затискних елементів пристроїв, керованих автоматично.

Пристрої автоматизації у сучасних верстатах часто вбудовують у конструкції самих верстатів, вони є їх невід'ємною частиною. Верстати попередніх випусків оснащують засобами автоматизації під час їхньої модернізації.

Іноді в багатопозиційних верстатах, автоматах і автоматичних лініях час на установку, закріплення, розкріплення і зняття деталей поєднують із часом на обробку деталей в інших позиціях.

Оброблювану заготовку в пристрої розташовують у певному положенні й на певній відстані відносно різального інструмента, тобто орієнтують відносно різальних кромки інструмента, щоб забезпечити задану точність її обробки.

Під час установаження наступних заготовок настроювання, виконане для першої заготовки, може порушитися через те, що розміри заготовок відрізняються в межах допуску, а вимірювальні й технологічні бази не суміщені (похибки базування). Крім того, виникають великі деформації, спричинені

зусиллями затискача (похибки закріплення). Сума похибок базування і закріплення складає похибку установаження.

Найпоширенішими засобами автоматизації установаження і знімання заготовок та інструментів є швидкопереналагоджувані пристрої.

На верстатах із програмним управлінням фрезерно-свердлильно-розточувальної групи й на багатоопераційних верстатах широко застосовуються універсальні швидкопереналагоджувані трикулачкові патрони, ділільні столи, стійки, лещата й ін., які поставляють у комплекті з верстатами.

Прикладом таких пристроїв є швидкопереналагоджувані пневматичні лещата (див. рис. 30.3), які застосовуються для скорочення допоміжного часу у процесі обробки на одноцілевих верстатах із ЧПК невеликих партій заготовок.

Лещата мають підставу 1 і поворотний корпус 2 з убудованим пневмоциліндром 9. При повороті рукоятки 8 розподільного крана в положення затиску стиснене повітря надходить у штокову порожнину пневмоциліндра, у результаті чого поршень 10 зі штоком 11 опускається вниз, повертаючи у напрямку руху стрілки годинника важіль 3, що переміщує рухому губку 4 вправо, притискаючи оброблювану заготовку до нерухомої губки 5.

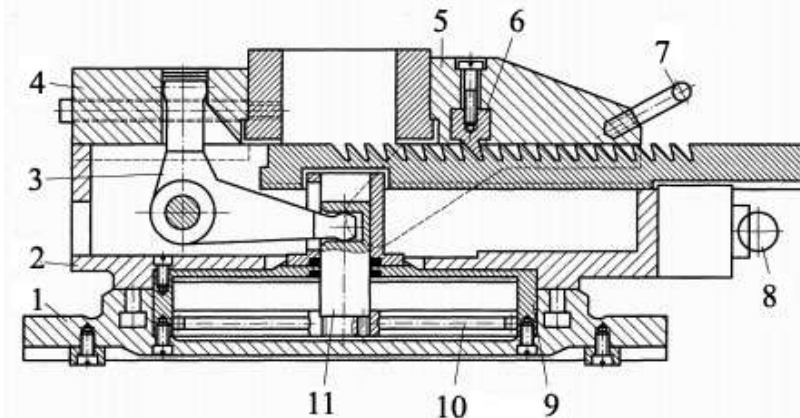


Рис. 30.3. Швидкопереналагоджувані пневматичні лещата

Хід затисної губки 20 мм. Швидке переналагодження рухомої губки здійснюється поворотом її рукояткою 7 проти руху стрілки годинника, при цьому виступ планки 6 виходить із паза корпусу лещат. Після цього губку переміщують у необхідне положення доти, поки виступ планки 6 не ввійде у відповідний паз корпусу.

**Пристрої для автоматичної зміни інструмента.** З метою скорочення часу простою верстатів, що витрачається на зміну інструмента, багатоцільові верстати в більшості випадків оснащуються пристроями для автоматичної зміни інструмента.

Пристрої для автоматичної зміни інструмента складаються з таких компонентів:

- інструментальні магазини, що є накопичувачами інструмента;

– завантажувально-розвантажувальні пристрої – інструментальні завантажувальні автооператори (маніпулятори), призначені для знімання й установки інструмента в шпинделі верстата;

– проміжні транспортні пристрої – носії інструмента, призначені для передавання інструмента від магазину до завантажувально-розвантажувальних пристроїв;

– проміжні накопичувальні позиції, що є місцем заміни інструмента у випадках великих відстаней магазину від шпинделя й великих ємностей магазину.

Інструментальні магазини – накопичувачі інструментів, призначені для зберігання інструментів; вони можуть бути поділені на дві основні групи.

До першої групи віднесено магазини, у яких інструменти, необхідні для обробки певної заготовки, установлюються в необхідній послідовності. Інструменти частіше за все закріплюються в гніздах магазину й не міняються протягом усього часу обробки партії заготовок. Послідовна зміна інструмента здійснюється поворотом револьверної головки.

Магазини другої групи призначені тільки для зберігання інструментів. Їх поділяють на магазини дискового, барабанного, ланцюгового й секційного типів. Найбільша кількість інструментів може бути встановлена в ланцюгових і багатодискових магазинах. З магазинів інструменти транспортуються до робочого органа верстата.

Магазини шпиндельних гільз, що є накопичувачами інструментальних шпинделів, розташовані паралельно один одному – вертикально або горизонтально, розділяють на три типи: кільцеві, барабанні й лінійні. На рис. 30.4, *а* представлений багатоопераційний верстат фірми Wissbrood (Швейцарія) з барабанним магазином 1 шпиндельних гільз. У магазині з горизонтальною віссю обертання встановлені двадцять шпиндельних гільз 2, шпинделі яких по черзі з'єднуються з приводом головного руху за допомогою муфти 3, а гільзи – з приводом подач 4 (рис. 30.4, *б*).

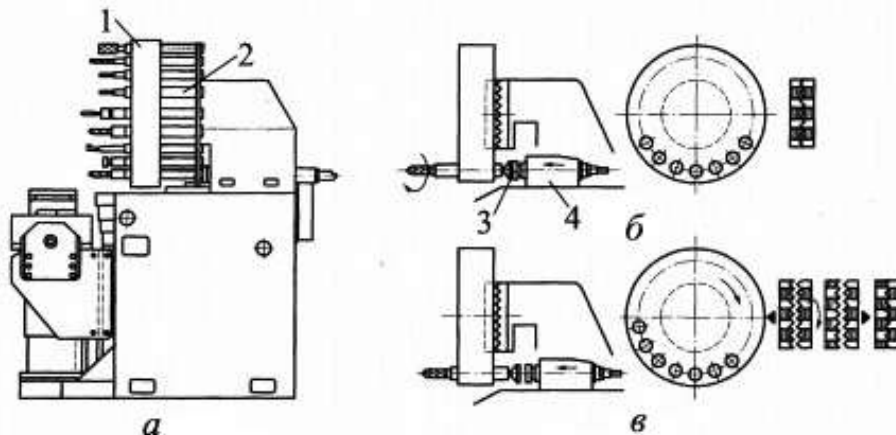


Рис. 30.4. Багатоопераційний верстат з барабанним магазином фірми Wissbrood:

*а* – загальний вигляд; *б* – привод подач; *в* – зміна інструмента

Зміна інструмента при повороті магазина здійснюється після від'єднання муфти шпинделя від привода і розфіксації магазина (рис. 30.4, в). Після повороту магазина в положення, при якому черговий інструмент займає робоче положення, магазин фіксується, а шпиндель і гільза приєднуються до відповідних приводів. Позиціонування магазина здійснюється за допомогою зубчастої муфти. Точність повторної установки гільз – 0,002 мм.

### § 30.4. Автоматизація на базі верстатів-автоматів

Автоматами називають верстати, на яких всі основні й допоміжні рухи здійснюються без участі оператора і які працюють у ритмі періодично повторюваного циклу. У цикл входять операції установа й закріплення заготовки на верстаті, обробка її поверхонь, знімання обробленої деталі, установа й закріплення наступної заготовки.

Напівавтомати – це верстати, які працюють у автоматичному циклі, для повторення якого потрібне періодичне втручання робітника (найчастіше для знімання деталі й установа заготовки).

У роботу універсальних автоматів закладені певні принципи обробки заготовок:

- о д и н а р н и й – кожен заготовку обробляє тільки один різальний інструмент;
- п а р а л е л ь н и й – кожен заготовку обробляють кілька інструментів, що працюють одночасно;
- п о с л і д о в н и й – кожен заготовку обробляють кілька інструментів, що вступають у роботу послідовно, один за одним;
- п а р а л е л ь н о - п о с л і д о в н и й – кожен заготовку обробляють кілька груп інструментів, причому інструменти однієї групи працюють паралельно, а інструменти декількох груп – послідовно;
- р о т а ц і й н и й – кожен заготовку обробляє один інструмент або одна група інструментів при одночасному ротаційному обертовому русі заготовок і інструментів;
- б е з п е р е р в н и й – кожен заготовку обробляє один інструмент або кілька інструментів при безперервному подаванні заготовок.

Циклом роботи автоматів і напівавтоматів керують розподільні вали, на яких установлені дискові або барабанні кулачки, що управляють роботою всіх механізмів.

Процес виготовлення деталей на універсальних автоматах повністю визначається профілем і взаємним розташуванням кулачків, що являють собою програмоносії, закріплені на розподільному валу в орієнтованому відносно один до іншого положенні. Всі дії робочих органів автоматів відбуваються в повній відповідності із циклом його роботи. Універсальність автоматів полягає в можливості виготовлення дуже великої кількості різних деталей у певних діапазонах розмірів.

Робочий цикл автомата відповідає одному оберту розподільного вала. Частота його обертання змінюється за допомогою органів настроювання, наприклад, гітари змінних зубчастих коліс.

За описаною схемою можуть працювати автомати різного технологічного призначення, зокрема більшість металорізальних автоматів. Вони порівняно прості й надійні в роботі. Разом з тим такі автомати не реагують на зміну якості деталей у ході обробки.

Приклади будови і опис принципу дії деяких типів автоматів і напівавтоматів наведено у главі 24.

### **§ 30.5. Використання верстатів з ЧПК для автоматизації обробки різанням**

Основна перевага верстатів із програмним управлінням полягає в скороченні часу обробки та спрощенні переналагодження. Металорізальні верстати оснащують цикловим (ЦПК) і числовим (ЧПК) програмним керуванням.

Верстати із ЦПК мають позиційну систему керування з панелями упорів, що відключають рух подачі супорта або повзуна. Таку систему використовують, наприклад, для обробки заготовок типу ступінчастих валів. Програма задається розміщенням спеціальних стержнів-штекерів у гніздах панелі, розташованої на окремому пульті системи ПК, що дає можливість запрограмувати кілька різних етапів обробки.

Верстати з ЦПК достатньо прості й відносно дешеві. Однак переналагодження їх трудомістке. Зміна програми вимагає перестановки великої кількості упорів і штекерів у нові положення. Для розширення технологічних можливостей верстатів використовують системи ЧПК.

Обробка на верстатах з ЧПК має низку переваг. Так, значно скорочується обсяг розмічальних робіт, підвищується продуктивність праці і точність обробки, стає можливим багатOVERSTATNE обслуговування, знижуються витрати на пристрої, контрольно-вимірвальні інструменти і пристрої.

Разом із цим верстати з програмним керуванням у 1,5...10 разів дорожчі, ніж звичайні верстати, поступаються з надійності автоматом і напівавтоматом й раціонально використовуються тільки при завантаженні у дві зміни.

На рис. 30.5 показана кінематична схема вертикально-фрезерного верстата з ЧПК моделі 6Р13ФЗ.

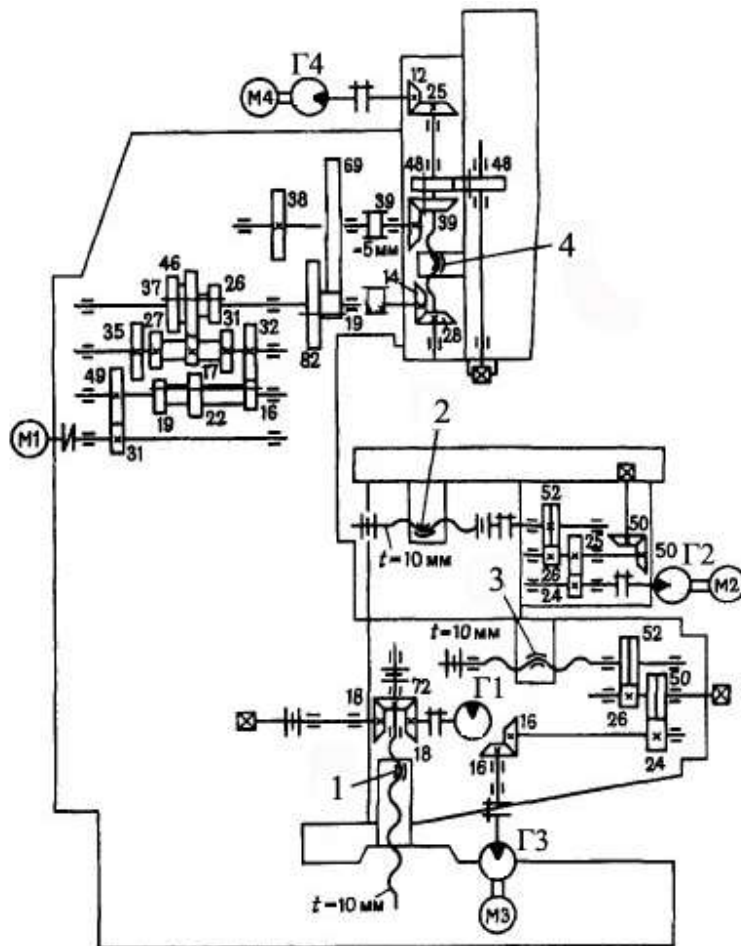


Рис. 30.5. Схема вертикально-фрезерного верстата з ЧПК моделі 6P13Ф3

Механізм руху подачі верстата забезпечує переміщення заготовки, установленної на столі, в двох взаємно перпендикулярних напрямках – поздовжньому й поперечному. Шпиндель верстата разом з повзуном переміщається у вертикальній площині. Ці три рухи здійснюються за допомогою трьох виконавчих механізмів. Кожний з них складається з електродвигунів  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$ , які керують гідродвигунами  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_3$ ,  $\Gamma_4$ . Останні надають руху робочим органам верстата (столу і повзуну) через зубчасті колеса й кулькові гвинтові пари 2, 3, 4. Кожному імпульсу, що надходить від системи ЧПК, відповідає переміщення повзуна зі шпинделем на столі на 0,01 мм, швидкість руху подачі становить 20...6000 мм/хв.

Консоль верстата зі столом і полозками отримує установлювальне вертикальне переміщення від гідродвигуна  $\Gamma_1$  через пару конічних коліс 18/72 і гвинтову пару 1.

Програма дій органів верстата задається за допомогою чисел у закодованому вигляді на програмоносії – перфорованій або магнітній стрічці. Система ЧПК має інтерполятор – обчислювальний пристрій, що перетворює кодовий запис на перфострічці в командні імпульси, які перетворюються спеціальним кроковим двигуном на переміщення органів верстата по координатних осях.

Наступна ланка автоматизації – оснащення верстатів з ЧПК пристроями (магазинами) для розміщення й автоматичної заміни інструмента. Різальний інструмент за командою від програми подається в робоче положення у будь-якій послідовності за допомогою спеціальної автоматичної руки. Це дозволяє обробляти заготовку з чотирьох-п'яти боків. Такі верстати називають багатocільовими. На них можна виконувати свердління, зенкерування, розвертання, розточування, нарізування різьби, фрезерування.

Приклад одного з таких багатocільових верстатів наведено на рис. 30.6. Заготовка у вигляді корпусної деталі встановлюється й закріплюється на столі 8, після чого переміщається по стрілці А (у напрямку  $x$ ) у робочу позицію 6. Шпиндельна бабка 2 верстата переміщується по напрямних станини в напрямку  $z$ .

Автоматична рука 4, роблячи складні просторові рухи, переносить із ланцюгового магазину 3 відповідний різальний інструмент і встановлює його в шпиндель 1. У ході обробки корпусної деталі пристрій програмного керування 5 забезпечує координатне переміщення елементів верстата по осях  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , поворот навколо вертикальної осі стола в позиції 6 на необхідний кут; вибір і зміну різального інструмента. Оброблена із чотирьох боків заготовка пересувається у напрямку стрілки В по напрямній 7 на позицію 9.

Поки в позиції 6 виконується обробка, у позиції 8 на іншому столі закріплюється друга заготовка, що у напрямку стрілки А також передається в позицію обробки. Готова деталь із позиції 9 передається у напрямку стрілки С у позицію стола 8, де її знімають зі стола, а на її місце встановлюють наступну заготовку. Допоміжні рухи максимально суміщені. Під час обробки заготовки магазин 3 переміщається, і в район дії руки 4 потрапляє потрібний інструмент. На його зміну витрачається кілька секунд. При обробці забезпечується підвищена точність, тому що установка кожного органа верстата у робоче положення виконується з високою точністю позиціонування: від  $\pm 0,01$  до  $\pm 0,002$  мм. Точність обробки знаходиться у межах до  $\pm 0,01$  мм.



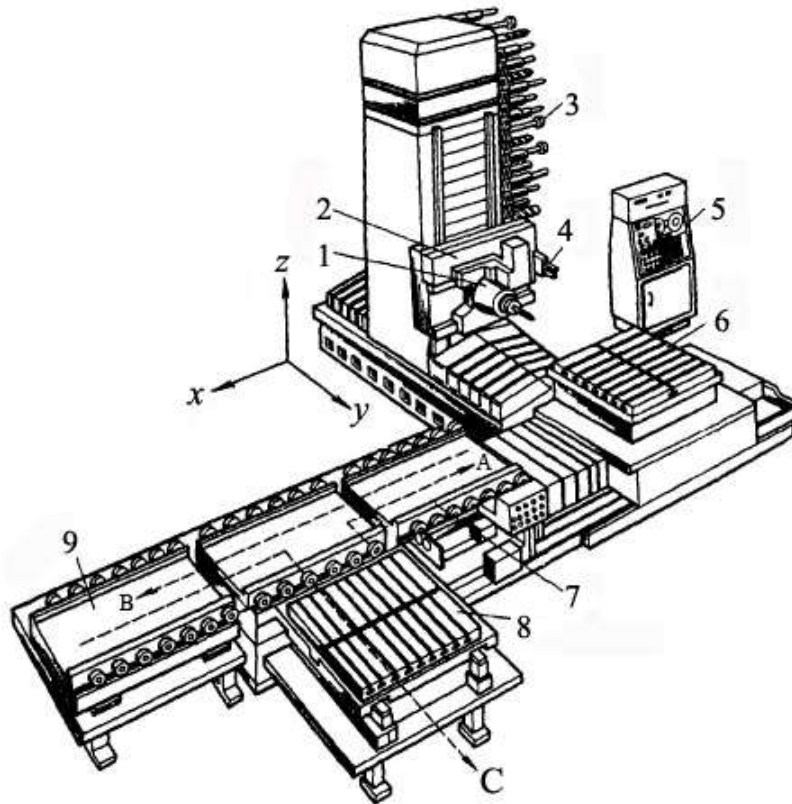


Рис. 30.6. Багатоопераційний верстат

Один з напрямків розвитку систем ЧПК передбачає створення централізованої системи, у якій один великий комп'ютер, розташований на значній відстані, керує групою верстатів. Команди управління передаються при цьому по звичайних лініях.

### § 30.6. Автоматичні лінії як засіб автоматизації обробки різанням

Другий етап автоматизації – створення автоматичних ліній. При цьому вирішуються задачі не тільки обробки на металорізальних верстатах, а й задачі створення механізмів міжверстатного транспортування, зміни орієнтації заготовок, накопичення заділів, систем керування машинними комплексами.

Автоматична лінія – це система автоматично діючих верстатів, які зв'язані транспортуючими засобами і мають єдиний керуючий пристрій.

Для підвищення універсальності автоматичних ліній при їх створенні застосовують принцип агрегування, тобто лінію компонують зі стандартизованих елементів. Нова конструкція оброблюваної деталі потребує нового компонування лінії з елементів, використаних раніше. Стандартизованими є столи, шпиндельні силові головки, кронштейни, приводи переміщень основних органів верстатів, керуюча апаратура й ін. Вартість і строки створення нових компонувань при цьому істотно скорочуються.

До складу автоматичної лінії для механічної обробки заготовок певного виду входить таке встаткування й пристрої:

- металорізальні верстати – автомати й агрегати для виконання технологічних операцій;

- механізми для закріплення заготовок на робочих позиціях і їхнього можливого повороту;
- пристрої для транспортування заготовок від верстата до верстата, видалення стружки й ін.;
- прилади й апаратура для контролю, сортування деталей, а також для керування.

У наш час лінії агрегатних верстатів набули широкого застосування в різних галузях машинобудування для виготовлення корпусних виробів (блоки циліндрів і головки блоків циліндрів двигунів, корпуси електродвигунів, редукторів і передавальних механізмів, картери коробок передач), а також шатунів, колінчастих валів, базових деталей гідро- і пневмоапаратури й т. п.

Типова планувальна схема автоматичної лінії агрегатних верстатів подана на рис. 30.7.

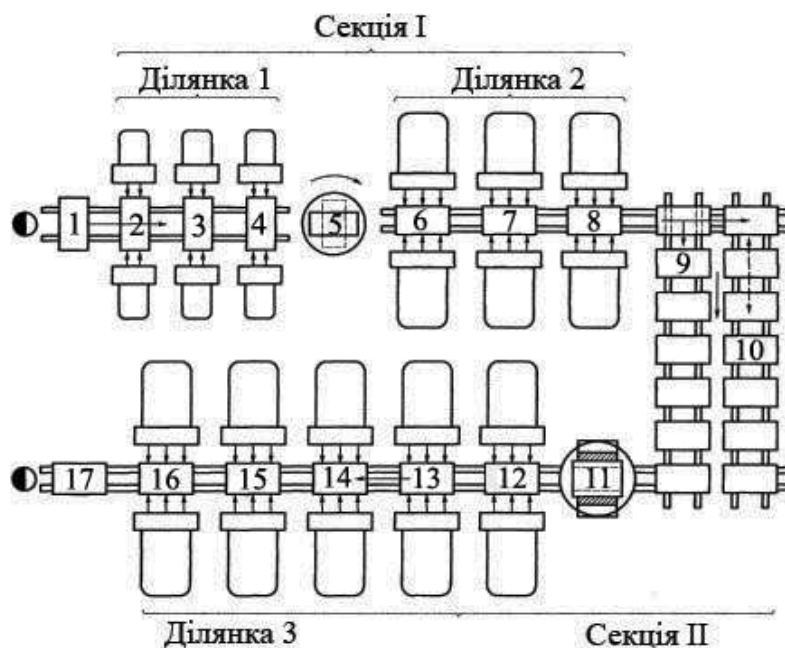


Рис. 30.7. Автоматична лінія агрегатних верстатів

Лінія скомпонована з однопозиційних двосторонніх агрегатних верстатів, що працюють на прохід, і розділена на дві незалежні секції, між якими знаходиться межопераційний накопичувач. У лінії є 11 робочих позицій, де оброблювані одночасно із двох боків вироби затискаються й фіксуються в стаціонарних пристроях. Між окремими технологічними ділянками 1, 2, 3 розташовуються механізми зміни орієнтації у вертикальній 5 і горизонтальній 11 площинах. Установлення виробів на першу позицію й знімання з останньої здійснюється вручну або за допомогою підйомно-транспортних засобів.

Автоматичні лінії поділяють на синхронні й несинхронні. У синхронних лініях (див. рис. 30.8, а) заготовки 1 передаються безпосередньо від верстата до верстата (поз. 2) за допомогою транспортного пристрою. Цей пристрій переміщає одночасно всі заготовки на один крок. Верстати в лінії встановлюють так, щоб можна було одночасно обробляти заготовки з двох боків. Поворотний стіл 3 дозволяє послідовно повертати заготовки на  $90^\circ$  для того, щоб на другій ділянці лінії обробляти інші їх поверхні.

У несинхронних лініях (рис. 30.8, б) використовують магазини-накопичувачі 4. Їх установлюють між окремими ділянками верстатів. Якщо, наприклад, ділянка II вийшла з ладу, то ділянка III продовжує працювати, одержуючи заготовки з накопичувача. Своєю чергою продовжує працювати й ділянка I. Заготовки 2, оброблені на верстатах 1, надходять у позицію 3, а звідти в накопичувач у напрямку штрихової стрілки А. Такі лінії більш продуктивні, тому що простої їх значно скорочені.

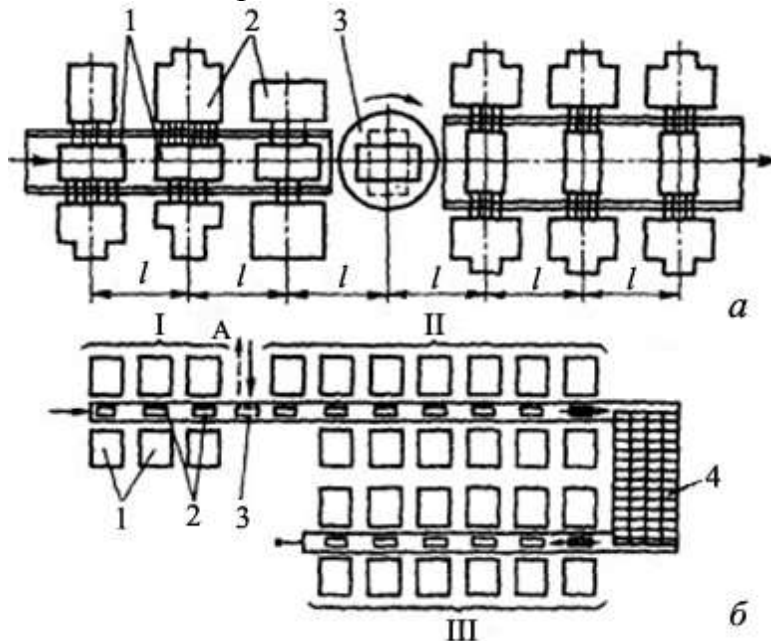


Рис. 30.8. Схеми автоматичних ліній

Щоб можна було розширити технологічні можливості лінії й виготовляти на них деталі, схожі за формою й розмірами, лінія повинна бути переналагоджуваною. Керування роботою лінії може здійснюватися за допомогою системи ЧПК або безпосередньо комп'ютера.

### § 30.7. Автоматизація на базі роботизованих комплексів

**Загальні відомості про роботів.** Роботи й робототехніка пройшли короткий, але стрімкий шлях розвитку. У 1959 р. у США були виготовлені перші промислові маніпулятори із програмним керуванням. У 1962 р. з'явилися перші американські промислові роботи, призначені для обслуговування технологічних процесів: лиття під тиском, кування, механічної обробки, точкового зварювання, нанесення покриттів. Так з'явився промисловий робот – новий тип виробничого робітника, що не п'є кави в обідню перерву, працює 24 години на добу, не цікавиться заробітною платнею, миттєво і якісно виконує свою роботу, не скаржиться на спеку і пил, не травмується.

За призначенням й класом завдань роботів всіх поколінь поділяють на дві великі групи: промислові й дослідницькі.

Промислові роботи (ПР) призначені для виконання важкої, монотонної, шкідливої й небезпечної для здоров'я фізичної роботи, а також для виконання окремих видів напруженої розумової роботи (проекування,

інформаційне забезпечення, управління).

Дослідницькі роботи призначені для пошуку, збирання, перероблення й передавання інформації про досліджувані об'єкти, які знаходяться у недоступних або важкодоступних для людини середовищах (космічний простір, океанські глибини, надра Землі, екстремальні лабораторні умови).

**Класифікація промислових роботів.** Промислових роботів поділяють на три групи за виробничо-технологічними ознаками:

– виробничі або технологічні (ПВР), що виконують основні операції технологічних процесів;

– підйомно-транспортні або допоміжні (ПТПР), що виконують дії типу взяти ↔ перенести ↔ покласти;

– універсальні (УПР), що виконують різні операції, основні і допоміжні.

За спеціалізацією промислових роботів поділяють на:

– спеціальні, які виконують строго визначені технологічні операції або обслуговують конкретні моделі технологічного встаткування;

– спеціалізовані або цільові, призначені для виконання технологічних операцій одного виду (зварювання, складання, фарбування й т. п.) або обслуговування певної групи моделей технологічного встаткування;

– універсальні або багатоцільові, для виконання як основних, так і допоміжних технологічних операцій різних видів і з різним устаткуванням.

**Будова промислових роботів.**

Промисловий робот складається з виконавчого пристрою (маніпулятора) і пристрою управління.

Маніпулятор ПР призначений для виконання всіх його рухових функцій і є багатоланковим механізмом із розімкнутим кінематичним ланцюгом, який складається з опорних конструкцій, маніпуляційної системи, робочих органів, приводу й пристрою пересування.

Пристрій керування ПР необхідний для формування й видачі керуючих впливів маніпулятору відповідно до керуючої програми. Він складається із власне системи керування, інформаційно-вимірювальної системи із пристроями зворотного зв'язку та системи зв'язку. Опорні конструкції слугують для розміщення всіх пристроїв і агрегатів ПР і для забезпечення необхідної міцності й

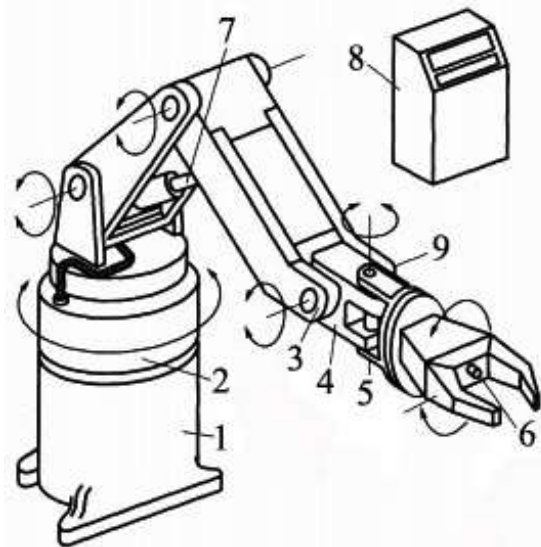


Рис. 30.9. Конструкція промислового робота:

- 1 – опорна конструкція; 2 – колона;
- 3 – рука маніпулятора; 4 – кисть;
- 5 – робочий орган; 6 – датчик зворотного зв'язку; 7 – привід руки;
- 8 – блок керування пристроєм з пультом

жорсткості маніпулятора. Приклад будови промислового робота представлений на рис. 30.9.

**Функції ПР у автоматизації механічної обробки.** При механічній обробці деталей за допомогою ПР автоматизують: установлення заготовок у робочу зону верстата; передавання деталей від верстата до верстата; зняття готових деталей з верстата й розміщення їх у тарі (накопичувачі); кантування деталей (заготовок) у процесі обробки; контроль розмірів деталей; очищення базових поверхонь деталей і пристроїв; зміну інструментів.

Досвід експлуатації ПР показує, що найбільш доцільною формою роботизації в умовах серійного виробництва є створення р о б о т и з о в а н и х т е х н о л о г і ч н и х к о м п л е к с і в (РТК), на базі яких у перспективі можуть бути створені роботизовані ділянки, цехи й заводи.

РТК – це автономно діюча сукупність технологічних засобів виробництва, що забезпечує повністю автоматичний цикл роботи комплексу, його зв'язок із вхідними й вихідними потоками іншого виробництва. РТК включає в себе технологічне напівавтоматичне встаткування (наприклад, металорізальні верстати), взаємодіючий з цим устаткуванням ПР, допоміжне встаткування.

Найбільше поширення одержали РТК таких компоновань:

- одноверстатні, що складаються з одного верстата, який обслуговується підвісним (розташованим над верстатом), напільним (розташованим поряд з верстатом) або вбудованим у верстаті ПР;

- багатоверстатні РТК лінійної або лінійно-паралельної компоновки, що обслуговуються підвісними ПР;

- багатоверстатні РТК кругової компоновки, що обслуговуються напільними ПР.

Найбільш поширеними є РТК лінійного і лінійно-паралельного компоновань, що обслуговуються підвісними ПР. Вони мають ряд суттєвих переваг, порівняно з іншими типами РТК (займають меншу виробничу площу; забезпечують можливість переналагодження встаткування без припинення роботи всього РТК; безпечні умови роботи персоналу та можливість обслуговування одним ПР трьох або більше верстатів).

### **§ 30.8. Гнучкі виробничі системи в автоматизації виробництва**

Сучасні засоби автоматизації, якими оснащені автоматичні лінії, цехи й заводи, мають істотний недолік – вони можуть бути ефективно використані переважно в масовому виробництві. Однак найпоширенішим типом виробництва є серійний. Можливість швидкого переналагодження встаткування в умовах серійного виробництва при виготовленні навіть невеликих партій заготовок забезпечують гнучкі виробничі системи (ГВС). Таку систему організують на базі встаткування, керованого комп'ютерами, за допомогою програм. Зміна програм здійснюється достатньо просто й швидко, при цьому встаткування швидко переналагоджується на виготовлення іншої деталі.

Основні переваги ГВС полягають у такому:

- скорочення строків освоєння нової продукції й поставки продукції споживачеві;

– підвищення гнучкості виробництва, скорочення економічного розміру партії до мінімуму (в окремих випадках він дорівнює одній штуці) за рахунок значного скорочення часу переналагодження;

– збільшення виробничих потужностей як за рахунок вивільнення верстатів, інструменту, пристроїв для випуску іншої продукції, так і за рахунок додавання додаткових верстатів і встаткування.

ГВС складається, звичайно, з двох систем: виконавчої й керуючої. Виконавча система включає металорізальні верстати з ЧПК, різні технологічні установки, групу роботів, обслуговуючі верстати й установки, контрольно-вимірювальні пристрої для транспортування заготовок, деталей і видалення відходів виробництва.

Особливе значення приділяється складуванню. Склади, працюючи в автоматичному режимі, забезпечують видачу заготовок для обробки і зберігання, приймання готових деталей, їх облік та зберігання, видачу й приймання різальних інструментів.

Зазвичай заготовки установлюються у пристроях-супутниках – палетах і разом з ними передаються транспортуючим пристроєм від верстата до верстата по всьому маршруту обробки – від позиції завантаження до позиції знімання готової деталі. Палети на вихідну позицію ГВС повертає спеціальний транспортуючий пристрій. Крім того, на кожному верстаті повинен бути затискний пристрій (найчастіше гідравлічний) для закріплення палети разом із заготовкою, а палети повинні мати спеціальні установочні поверхні, за допомогою яких вони точно встановлюються на верстатах.

ГВС може включати верстати різного призначення, мийні установки, пости складання, контролю, штабелери й ін.

Єдина керуюча система ГВС являє собою сукупність засобів обчислювальної техніки. Система складається зі спеціальних пристроїв і ліній передавання інформації та сукупності програм, які керують окремими верстатами, технологічними установками і всім виробництвом у цілому.

Частіш за все у дрібносерійному і серійному виробництвах використовують ГВС нижнього структурного рівня – гнучкі виробничі модулі (ГВМ). Вони поєднують у своєму складі сукупність технічних систем і пристроїв, функціонально необхідних для виконання складних технологічних операцій. До складу ГВМ для механічної обробки входять один або два верстати з ЧПК й допоміжне встаткування для зміни заготовок та інструмента (накопичувач, автооператор або ПР), видалення стружки, контролю якості обробки, контролю й підналагодження технологічного процесу. ГВМ, призначений для автономної роботи, в автоматичному режимі виконує багаторазово задані цикли обробки, його можливо вбудовувати в ГВС більш високого рівня.

Залежно від конкретних цілей виробництва застосовують різні за составом встаткування і його розташуванням ГВМ. Типові компонування ГВМ, до складу яких входить один верстат, представлені на рис. 30.10.

Токарний модуль для обробки деталей типу тіл обертання (рис. 30.10, *а, б*) складається з токарного верстата з ЧПК 1, промислового робота 2 і транспортера або накопичувача деталей 3. У модуль для обробки корпусних деталей входить обробний центр 4 з накопичувачем палет 6 і пристроєм їхньої заміни 5 (рис. 30.10, *в*). Верстати з'єднані між собою автоматичною транспортною системою й системою оперування заготовками і обробленими в РТК деталями.

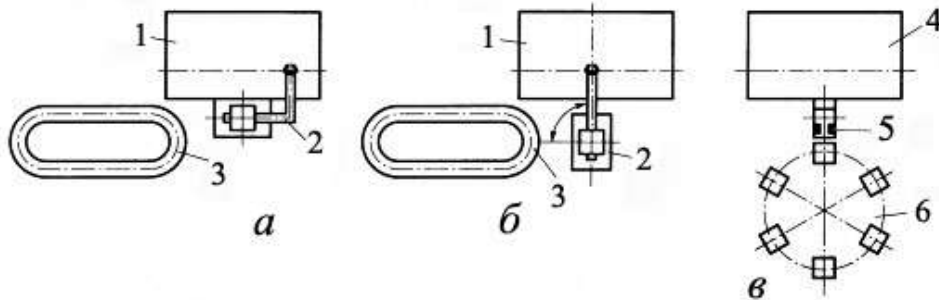


Рис. 30.10. Типові схеми ГВМ з одним верстатом

На рис. 30.11 показані типові компоновки ГВМ на базі здвоєних верстатів. Кожний такий гнучкий модуль може використовуватися як конструктивна одиниця для побудови ГВС більш високого рівня.

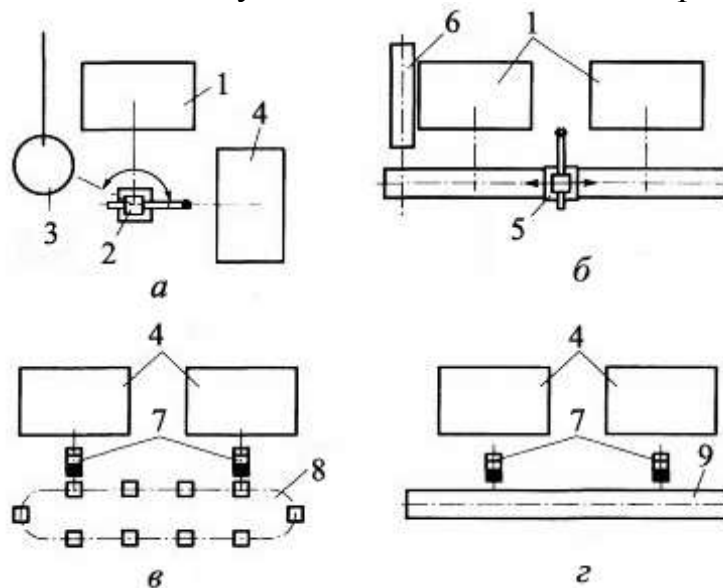


Рис. 30.11. Типові компоновки ГВМ на базі здвоєних верстатів:

- а* – токарного верстата з ЧПК й обробного центра з ЧПК; *б* – двох токарних верстатів;  
*в* – двох обробних центрів; *г* – двох обробних центрів із транспортером палет  
 (1 – токарний верстат з ЧПК; 2 – робот; 3 – транспортер або накопичувач заготовок;  
 4 – обробний центр; 5 – порталний робот; 6 – місцевий склад; 7 – пристрій заміни палет;  
 8 – накопичувач палет; 9 – транспортер палет)

Як приклад ГВС більш високого рівня на рис. 30.12 схематично представлена ГВС для виготовлення статорів електродвигунів різних розмірів. Автоматизована система складається із шести багатоцільових верстатів: 1, 2, 4 і 7, 8, 9. Кожний з верстатів може обробляти заготовку від початку і до кінця або виконувати тільки частину технологічних операцій. Заготовки автоматично передаються зі складу 11 на роликівий конвеєр 10 і по ньому – до відповідного

верстата. Встановлення заготовок на верстат здійснює робот 5, розміщений на візку, що переміщується по рейках. За відповідною командою робот зупиняється біля кожного з верстатів. Той самий робот знімає з верстата готову деталь і поміщає її на конвеєр для наступного транспортування на склад 11.

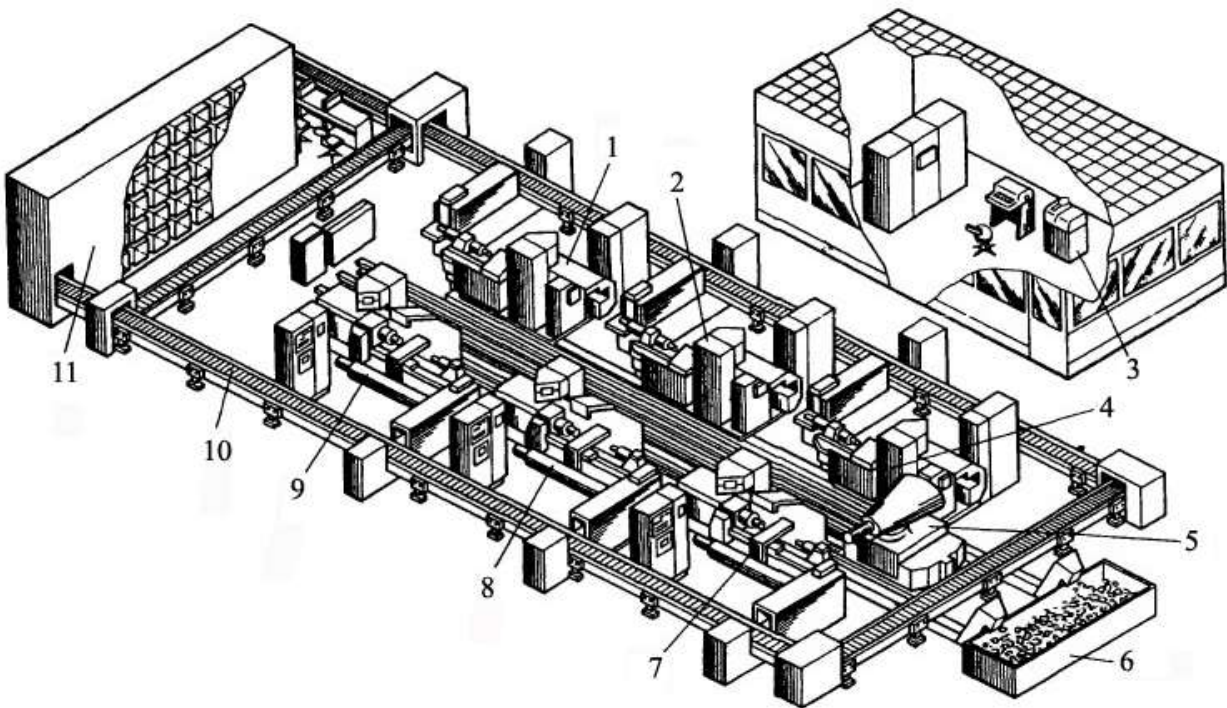


Рис. 30.12. Приклад ГВС – цех виробництва статорів електродвигунів

Відходи виробництва у вигляді стружки постійно передаються в ємність 6 для наступного видалення із цеху.

Окремими ланками цієї автоматизованої системи, як і всім виробництвом, керує центральний комп'ютер 3. Переналагодження окремих верстатів і всієї системи відбувається за дуже короткий час шляхом зміни програм, різальних інструментів і деяких пристроїв.

ГВС функціонує на основі малолюдної технології. Особистої участі у виробничому процесі людина не бере, а виконує роботу з обслуговування ГВС, ремонту встаткування й спостереження за ним.

У ГВС особлива роль належить роботизованим пристроям. Вони виконують найрізноманітніші допоміжні роботи. Переміщуючись по рейках або по гладкій підлозі цеху, роботи обслуговують склади, переміщуючи необхідну кількість об'єктів для наступного їх передавання на виробництво, замінюють магазин з інструментом, що затупився, новим; розташовують інструменти друг відносно друга так, як цього вимагає конфігурація оброблюваної деталі; виконують інші основні і допоміжні технологічні операції.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Що таке автоматизація виробництва?
2. Дайте визначення:
  - автоматичного виробництва;
  - автоматизованого виробництва;
  - безлюдного виробництва.



3. Назвіть основні типи сучасного машинобудівного виробництва.
4. Які види заготовок використовують у машинобудуванні?
5. Які типи пристроїв для завантаження заготовок використовуються:
  - у масовому виробництві;
  - у серійному виробництві?
6. Опишіть будову і принцип роботи:
  - магазинного завантажувального пристрою;
  - бункерного завантажувального пристрою.
7. Похибки установлення деталей на верстатах.
8. Для чого застосовуються швидкопереналагоджувані установочні пристрої?
9. Наведіть приклад будови і принципу роботи швидкопереналагоджуваних установочних пристроїв.
10. Назвіть схеми пристроїв для автоматичної зміни інструментів.
11. Що таке інструментальний магазин і для чого він призначений?
12. Які два типи інструментальних магазинів використовуються при автоматизованій зміні інструмента?
13. Назвіть пристрій, який використовується для управління циклом обробки на універсальних автоматах.
14. Назвіть переваги обробки на верстатах з ЧПК.
15. Поясніть різницю між системами ЦПК і ЧПК.
16. Які виконавчі механізми використовуються у верстатах з ЧПК?
17. Які програмоносії використовують у верстатах з ЧПК?
18. Дайте визначення багатоцільового верстата з ЧПК.
19. Що таке автоматична виробнича лінія?
20. Яке встаткування і пристрої складають автоматичну лінію?
21. Чому автоматичні лінії рекомендуються комплектувати за агрегатним принципом?
22. Дайте визначення промислового робота.
23. Що таке РТК?
24. Опишіть будову ПР.
25. Дайте визначення ГВС.
26. З яких основних систем складається ГВС?
27. Опишіть склад ГВМ на базі одного верстата.
28. Опишіть будову і принцип роботи ГВМ на базі здвоєних верстатів.

## Розділ VI. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З НЕМЕТАЛЕВИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

### Глава 31. ВИГОТОВЛЕННЯ ГУМОВИХ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ

#### § 31.1. Склад і властивості гумових технічних матеріалів

У виробництві гумових технічних деталей основним видом сировини є натуральні й синтетичні каучуки. Натуральні каучуки не знайшли широкого застосування, тому що сировиною для їх одержання є сік окремих сортів рослин, вирощуваних у тропічних країнах. Сировиною для одержання синтетичних каучуків є нафта, нафтопродукти, природний газ, деревина.

Процес перетворення каучуку на гуму називають вулканізацією. Як вулканізуючу речовину найчастіше використовують сірку. Її кількість визначає еластичність гумових деталей. Наприклад, м'які гуми містять 1...3 % сірки, тверді (ебоніт) – до 30 % сірки. Процес вулканізації відбувається під температурним впливом (гаряча вулканізація) або без такого впливу (холодна вулканізація). Для поліпшення фізико-механічних і експлуатаційних властивостей гумових технічних деталей і зниження витрати каучуку до складу гумових сумішей вводять різні компоненти.

Наповнювачі зменшують витрату каучуку, поліпшують експлуатаційні властивості деталей. Наповнювачі поділяють на порошкоподібні (сажа, тальк, крейда та ін.) і тканинні (бавовняні, шовкові й ін.). Іноді для підвищення міцності деталей їх армують сталевим дротом або сіткою, скляною або капроною тканиною. Кількість наповнювача залежить від виду виробів, що випускаються.

Зм'якшувачі (стеаринова кислота, каніфоль та ін.) слугують для полегшення процесу змішування гумової суміші і забезпечення м'якості й морозовитривалості.

Для запобігання процесу окислювання в гумові суміші додають протистарителі (вазеліни, ароматичні аміни й ін.).

Процес вулканізації прискорюють введенням у суміш прискорювачів – оксиду цинку, свинцевого глету й ін.

Барвники (вохра, п'ятисірчиста сурма, ультрамарин та ін.) вводять у суміш у кількості до 10 % від маси каучуку.

Висока еластичність, здатність до великих зворотних деформацій, стійкість до дії активних хімічних речовин, гарні діелектричні й інші властивості обумовили широке застосування у машинобудуванні та транспорті таких гумових виробів:

- шин для різноманітних транспортних засобів;
- пасів для передавання обертового руху з одного вала на інший;
- шлангів й напірних рукавів для передавання рідин і газів під тиском;
- сальників, манжетів, прокладних кілець й ущільнювачів для ущільнення рухливих і нерухливих з'єднань;
- муфт, амортизаторів для гасіння динамічних навантажень;

– транспортерних стрічок для оснащення завантажувально-розвантажувальних пристроїв і підйомно-транспортних механізмів і т. ін.

### § 31.2. Технологія виготовлення гумових технічних деталей

Технологічний процес виготовлення гумових технічних деталей складається з окремих послідовних операцій: підготовки гумової суміші, формування й вулканізації. Процес підготовки гумової суміші полягає в змішуванні компонентів, що входять до її складу. Перед змішуванням каучук переводять у пластичний стан багаторазовим пропусканням його через спеціальні вальці, попередньо підігріті до температури 40...50 °С. Перебуваючи в пластичному стані, каучук добре змішується з іншими компонентами. Змішування проводять у черв'ячних або валкових змішувачах. Спочатку у суміш вводять протистаритель, наприкінці – вулканізатор або прискорювач вулканізації.

Багато технологічних процесів перероблення гумових композицій у деталі (видавлювання, пресування, лиття під тиском і ін.) подібні тим, які були розглянуті у розділі 2 для металевих деталей. Специфічним є лише процес одержання листових заготовок (каландрування).

К а л а н д р у в а н н я застосовують для одержання гумових сумішей у вигляді листів і прогумованих стрічок, а також для з'єднання листів гуми й прогумованих стрічок (дублювання). Операцію виконують на багатовалкових машинах – каландрах. Валки каландрів мають систему внутрішнього обігріву або охолодження, що дозволяє регулювати температурний режим. Листи гуми, отримані прокаткою на каландрах, змотують у рулони й використовують потім як напівфабрикат для інших процесів формоутворення гумових деталей. Щоб уникнути злипання гуми в рулонах, її посипають тальком або крейдою на виході з каландра.

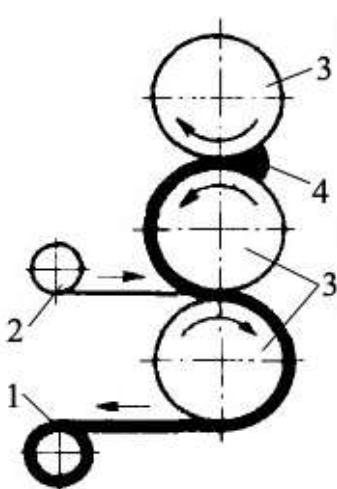


Рис. 31.1. Схема одержання прогумованих тканин

У процесі одержання прогумованої тканини в зазор між валками каландрів 3 (рис. 31.1) одночасно пропускають пластифіковану гумову суміш 4 і тканину 2. Гумова суміш надходить у зазор між верхнім і середнім валками, обволікає середній валок і надходить у зазор між середнім і нижнім валками, через який проходить тканина. Середній валок обертається з більшою швидкістю, ніж нижній. Різниця швидкостей забезпечує втирання гумової суміші в тканину. Товщину гумової плівки на тканині регулюють, змінюючи зазор між валками каландра. Багатошарову прогумовану тканину одержують шляхом пропускання певного числа шарів одношарової прогумованої тканини через валки каландра. Отриману тканину намотують на

барабан 1 і потім вулканізують.

Безперервне видавлювання використовують для одержання профільованих гумових деталей (труб, прутків, профілів для скління). Деталі безперервним видавлюванням виготовляють машинами черв'ячного типу. Таким способом покривають гумою дрiт.

Пресування є одним з основних способів одержання фасонних деталей (манжет, ущільнювальних кілець, клинових ременів і т. ін.). Пресують у металевих формах. Застосовують гаряче й холодне пресування.

При гарячому пресуванні гумову суміш закладають у гарячу прес-форму й пресують на гідравлічних пресах, які нагріваються плитами. Температура пресування 140...155 °С. При пресуванні одночасно відбуваються формоутворення й вулканізація деталей.

Холодним пресуванням одержують деталі з ебонітових сумішей (корпуси акумуляторних батарей, деталі для хімічної промисловості й т. ін.). Після пресування заготовки відправляють на вулканізацію. До складу ебонітової суміші входять каучук і значна кількість сірки (до 30 % від маси каучуку). Як наповнювачі застосовують подрібнені відходи ебонітового виробництва.

Литтям під тиском одержують деталі складної форми. Гумова суміш надходить під тиском при температурі 80...120 °С через ливниковий отвір у ливарну форму, що значно скорочує цикл вулканізації.

Вулканізація є завершальною операцією виготовлення гумових деталей. Вулканізацію проводять у спеціальних камерах-вулканізаторах при температурі 120...150 °С у атмосфері насиченої водяної пари під невеликим тиском. У процесі вулканізації відбувається хімічна реакція, у результаті якої лінійна структура молекул каучуку перетворюється на сітчасту, що зменшує пластичність, підвищує стійкість до дії органічних розчинників, збільшує механічну міцність.

### § 31. 3. Основи технології виготовлення автомобільних шин

**Конструкції шин.** Автомобільною шиною називають гумокордну пружну оболонку, наповнену стисненим повітрям і закріплену на ободі колеса автомобіля. Шини забезпечують можливість руху, гальмування й керування автомобілем, а також відносну безшумність і комфортабельність їзди. За будовою автомобільні шини можна поділити на камерні й безкамерні. За конструкцією й розташуванням ниток корду в каркасі шини бувають:

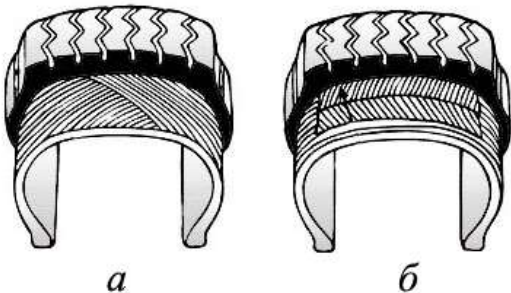


Рис. 31.2. Типи шин, залежно від розташування ниток корду у каркасі

– діагональні – з перехресним розташуванням ниток корду в каркасі (рис. 31.2, а);

– радіальні – з радіальним (меридіональним) розташуванням ниток корду (рис. 31.2, б).

У діагональних шинах нитки корду в шарах каркаса йдуть від борта до борта по

діагоналі. У зв'язку з необхідністю перехрещування ниток у двох суміжних шарах каркаса число шарів повинно бути парним, наприклад, 2, 4, 6 або 8. Перевагами діагональних шин є: більш проста конструкція, менша вартість, висока міцність боковин, більша стійкість при ударних навантаженнях.

Основний недолік діагональних шин – підвищена деформація протектора при русі, що призводить до спотворення його рисунка і погіршення зчіпних властивостей з дорожнім покриттям.

У радіальних шинах нитки корду в шарах каркаса не перехрещуються, а мають радіальне (меридіональне) розташування, тобто вони спрямовані від борта до борта. Такі шини випускаються в камерному й безкамерному виконаннях.

Радіальні шини випускаються двох видів: 1) з кордом із синтетичних волокон у каркасі та металокордом у брекері (комбіновані); 2) з кордом із синтетичних волокон у каркасі й текстильних волокон у брекері.

Переваги радіальних шин, порівняно з діагональними: краще зчеплення і постійна за формою пляма контакту з дорогою, більша несуча здатність (на 15...20 %), більша максимальна швидкість, менша маса (на 3...4 %), менше нагрівання (на 20...30 %).

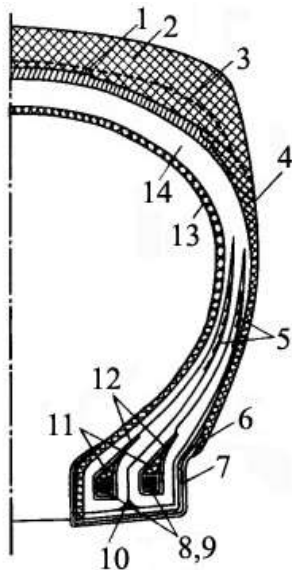


Рис. 31.3. Будова безкамерної автомобільної шин:

- 1 – брекер; 2 – протектор (бігова доріжка);
- 3 – підканавкова частина протектора; 4 – боковина;
- 5 – кінці заворотів шарів каркаса; 6, 7 – бортові стрічки; 8, 9 – бортові кільця;
- 10 – наповнювач між групами шарів; 11 – наповнювальний шнур; 12 – крилова стрічка;
- 13 – герметизуючий шар;
- 14 – каркас

Недоліки радіальних шин: більша вартість і підвищена бічна еластичність, що призводить до частих ушкоджень боковин під час руху по колії, ударів об бордюри тощо.

Незважаючи на це, радіальні шини фактично витиснули діагональні, які застосовуються сьогодні практично тільки на вантажних автомобілях.

За величиною внутрішнього тиску повітря в камері розрізняють шини наднизького (0,2 МПа), низького (0,15...0,6 МПа) і високого (0,8 МПа) тиску. Найширше застосовуються шини низького тиску. Вони еластичніші, ніж шини високого тиску, завдяки меншому внутрішньому тиску повітря, більшому об'єму камери й більшій ширині профілю.

Шини можуть мати дорожній рисунок протектора, рисунок підвищеної прохідності й універсальний рисунок. Розрізняють також шини зі звичайною шириною профілю, широкопрофільні й аркові.

Конструктивно автомобільна шина (рис. 31.3) складається з масивного гумового шару – протектора 2, двох боковин 4, подушечного шару (брекера) 1, декількох шарів погумованого корду каркаса 14, двох бортових кілець 8 і 9, обгорнених бортовими погумованими стрічками 7.

Протектором називається зовнішній гумовий шар покриття, що стикається з поверхнею дороги.

Каркасом називається гумокордова основа покриття, що надає їй достатньої міцності, гнучкості і пружності. Подушковий шар (брекер), розташований між протектором і каркасом, слугує для захисту каркаса від поштовхів, ударів, ослаблення дії на каркас тягових і гальмових зусиль, збільшення міцності зв'язків між гумовим протектором і гумокордовим каркасом. Бортові кільця становлять основу бортових частин покриття.

Бортом покриття називають її тверду частину, за допомогою якої вона кріпиться на ободі колеса.

Твердість і міцність борту надають виготовлені зі сталевого дроту кільця, що знаходяться у ньому.

**Структура технологічного процесу виготовлення шин.** У технологічному процесі виготовлення автомобільних шин можна виділити такі основні етапи: приймання, зберігання, підготовка, внутрішньозаводські переміщення сировини, матеріалів і комплектуючих деталей; дозування матеріалів і готування гумових сумішей; виготовлення деталей покриття; складання покриття; вулканізація покриття; виготовлення камер і ободних стрічок (для камерних шин); виготовлення діафрагм для вулканізації покриття.

**Виготовлення сумішей для виробництва шин** виконується у спеціальних пристроях – гумозмішувачах, що являють собою закриту камеру з валками, які обертаються назустріч один одному і мають фігурний профіль (рис. 31.4).

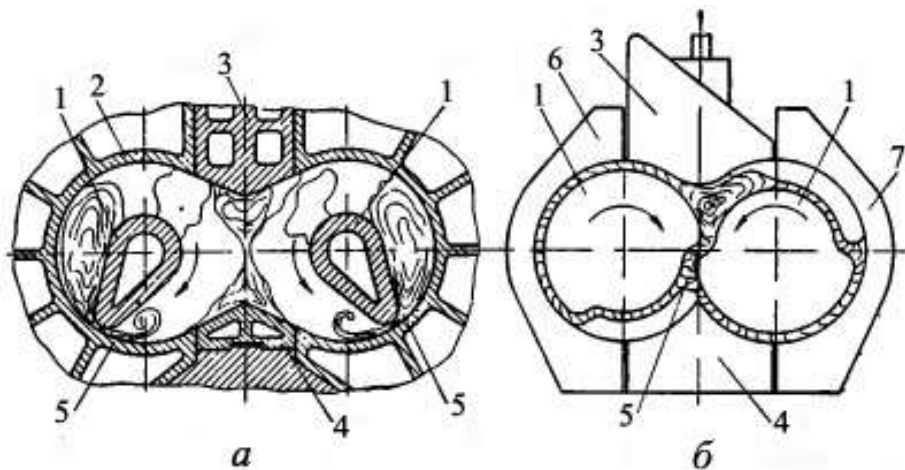


Рис. 31.4. Схема роботи гумозмішувача:

*а* – змішувач з роторами овальної форми; *б* – змішувач з роторами циліндричної форми (1 – ротори; 2 – стінка задньої камери; 3 – вантаж верхнього затвора; 4 – нижній затвор; 5 – зона обробки матеріалу; 6, 7 – задня і передня половинки корпусу камери)

Гумозмішувач може бути машиною черв'ячного типу, у завантажувальну порожнину якої подаються в певній послідовності всі компоненти гумової суміші. Зазвичай температура суміші на виході з гумозмішувача дорівнює 100...120 °С, тому потрібна значна кількість води для його охолодження.

Матеріал, що завантажується в гумозмішувач, надходить у змішувальну камеру через вікно у верхній її половині, яке перекривається верхнім затвором.

Під дією повітряного циліндра вантаж через поршень і шток натискає на оброблювану суміш. Значення тиску дорівнює 0,6...0,8 МПа. Для видалення пилу, який може утворитися під час завантаження матеріалу, над завантажувальною порожниною встановлений зонт, що підключається до системи витяжної вентиляції. Всередині змішувальної камери є два ротори, які розташовані в горизонтальній площині й обертаються назустріч один одному. Всередині ротори мають порожнини для охолодження водою. Обробка гумової суміші в гумозмішувачі відбувається, в основному, за двома схемами: між роторами й стінкою камери (рис. 31.4, а) або між роторами (рис. 31.4, б).

**Виготовлення протекторів, боковин і інших деталей покришки.** Існує декілька методів виготовлення протекторів:

- екструзія заготовок повного профілю;
- каландрування заготовок повного профілю;
- утворення масиву протектора методом навивання вузької стрічки.

Одержання протекторної заготовки здійснюється, частіш за все, методом профілювання на черв'ячному пресі за допомогою формувальної головки. Призначення головки – прийняти подавану черв'яком гумову суміш і забезпечити її видавлювання, надати заготовці необхідних форми й розмірів. Будь-яка головка складається з корпусу, який має порожнини для нагрівання і охолодження головки. До корпусу головки кріпиться мундштук, що має профілюючий отвір для видавлювання протекторної заготовки.

Головка для випуску заготовок протекторів з однієї гуми (рис. 31.5) має профільовану горловину 6, що забезпечує попереднє формування смуги (стрічки).

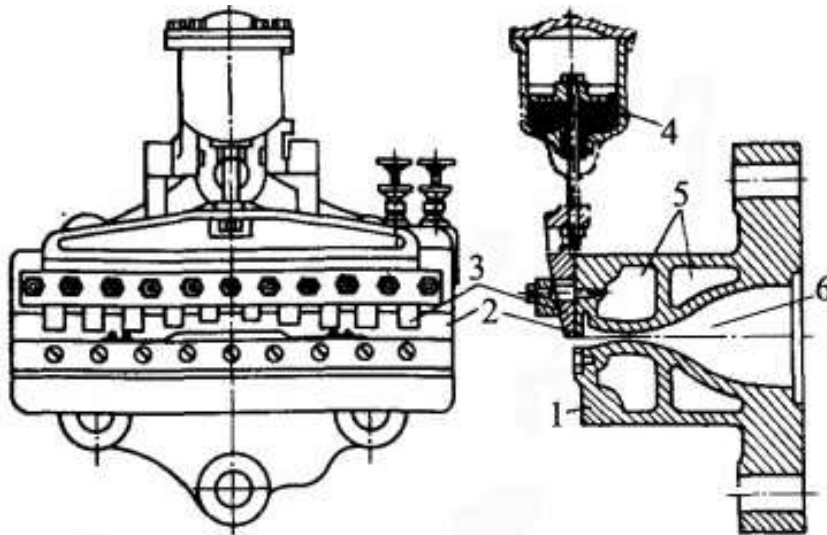


Рис. 31.5. Схема профілювання протекторних заготовок

Остаточне формування заготовки здійснюється за допомогою профілюючої планки 2, розташованої на виході суміші з головки. Планка закріплюється конусною гребінкою 3, що піднімається і опускається за допомогою пневмоциліндра 4. У корпусі головки є чотири порожнини 5 для обігріву й охолодження. Вихідний отвір додатково обігрівається електрикою або паром. На головці укріплені ножі, які обрізають крайки заготовки. Сучасні

голівки такого типу виготовляють розбірними, із двох усередині хромованих половин.

**Виготовлення корду.** Силовою основою покришки, що сприймає основні навантаження, є кордові нитки каркаса. Для досягнення необхідної адгезії штучних і синтетичних кордів застосовують кілька технологічних прийомів: кордове полотно просочують хімічно активними щодо обох матеріалів (корду й гуми) просочувальними сполуками; забезпечують механічне проникнення гумової суміші усередину кордової нитки; застосовують гумові суміші зі спеціальними модифікаторами, що підвищують адгезію гуми до корду.

Основними компонентами просочувальної сполуки є латекси і формальдегідні смоли. У деяких випадках для підвищення міцнісних характеристик шарів до складу сполуки може входити технічний вуглець.

Сучасний технологічний процес обробки текстильного корду (віскозного і поліамідного), звичайно, складається з таких етапів: просочування, сушіння, термічна витяжка (для поліамідного корду) і обгумовування. Процеси об'єднані в технологічну лінію (рис. 31.6), яку найчастіше розділяють на такі частини: агрегати для просочування, сушіння й термообробки корду й агрегати для його обгумовування.

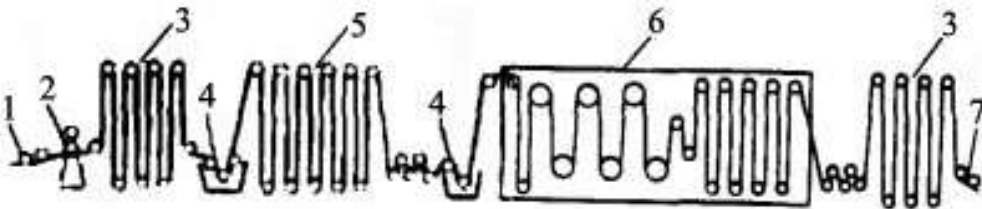


Рис. 31.6. Лінія просочування, сушіння і термообробки текстильного корду:

1 – розкатувальний пристрій; 2 – стикуючий пристрій; 3 – компенсатор;  
4 – просочувальна ванна; 5 – камера насичення; 6 – сушарка; 7 – закатувальний пристрій

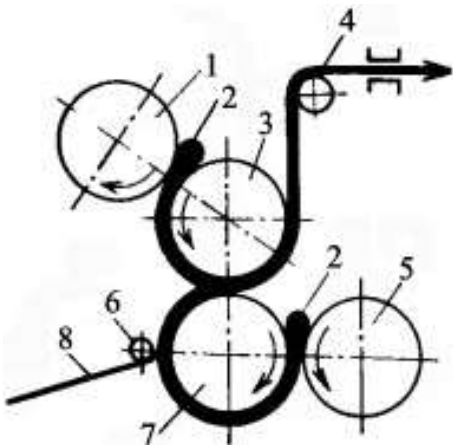


Рис. 31.7. Схема обгумовування корду на 4-валковому



Z-подібному каландрі

Наступна операція обробки корду – обгумовування – може здійснюватися на 4-

валковому Z-подібному каландрі за схемою, наведеною на рис. 31.7. Гумова суміш 2 за допомогою валків 1 і 5 каландра розкатується рівномірним шаром по робочим валкам 3 і 7. Між цими валками за допомогою притискного валика 6 подається кордове полотно 8, яке при проходженні між робочими валками обгумовується.

Обгумовування може здійснюватися також на 3-валковому каландрі за схемою, наведеною на рис. 31.1.

Металевий корд надходить на шинні заводи в герметично закритих металевих бочках, у які поміщають мішечки з силікагелем для поглинання вологи. Для обробки металокорду в шинній промисловості широко застосовують потокові лінії, що дозволяють одержувати безперервне обгумоване металокордове полотно шириною до 800 мм. Металокордні нитки на спеціальних котушках (шпулях) поміщають у шпулярники, які розташовують у спеціальних приміщеннях з температурою на 5...10 °С вище, ніж у цеху, щоб запобігти конденсації вологи повітря на металокорді.

Нитки металокорду безупинно розмотуються зі шпуль і пропускаються через ниткозбірник пучками у вертикальній площині, а потім через нитконапрямні й крокорозподільчі пристрої (касети, гребінки, ролики), які розташовують їх із заданим кроком у вигляді полотна. Полотно обгумовують на 4-валковому каландрі з додатковим кроковим валиком, що вдавлює нитки корду в нижню гумову обкладку для запобігання зміні кроку між ними при обгумовуванні. Процес триває за температури 80...90 °С, що сприяє затіканню суміші між нитками металокорду під тиском у зазорах.

Після каландра крайкові ножі обрізають надлишкову суміш із країв полотна таким чином, що з однієї сторони залишається близько 10 мм неармованої гуми. Це дозволяє стикувати косяки кордового полотна після розкрою без напустку. Після проходження охолоджувальних барабанів і зниження температури до 25...30 °С полотно надходить на натяжну станцію і далі на компенсатор і закатувальний пристрій (див. рис. 31.6).

**Виготовлення браслетів.** Початковим етапом складання покришок є виготовлення браслетів. Браслети – кільцеві гумокордові деталі, напівфабрикат для полегшення й прискорення складання покришок, виготовляють на спеціальних браслетних верстатах.

За видом основного складального органа, на якому здійснюють послідовне накладення й накатування шарів обгумованого корда, браслетні верстати поділяють на два типи: роликіві й барабанні. На роликівому верстаті (рис. 31.8) відмірювання першого шару роблять на допоміжному столі, а на барабанному верстаті – безпосередньо на складальному барабані.

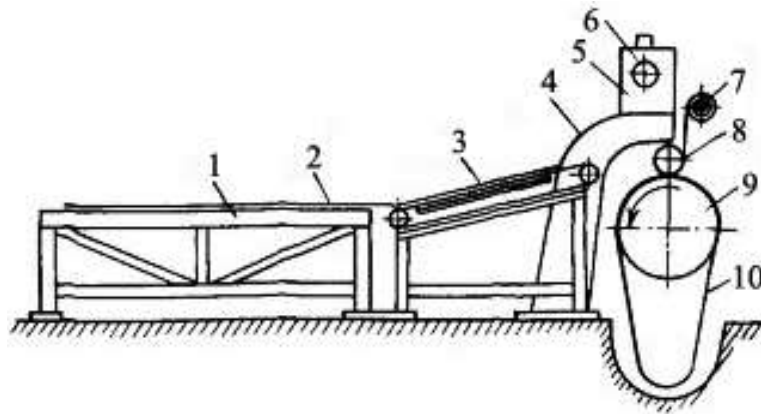


Рис. 31.8. Схема роликового верстата для виготовлення браслетів:  
 1 – стикувальний стіл; 2 – полотно корду; 3 – транспортер; 4 – станина верстата;  
 5 – механізми приводу й центрування пристрою для накладення гумового прошарку;  
 6 – валик для закачування прошаркової тканини; 7 – рулон гумового прошарку;  
 8 – прикатчик; 9 – барабан; 10 – браслет

**Виготовлення герметизуючого шару.** Герметизуючий шар є одним з основних елементів безкамерної шини і призначений для утримання повітря всередині шини і захисту каркасу шини від проникнення в нього стисненого повітря за рахунок дифузії.

Застосовуваний у цей час гермошар являє собою лист гуми, товщина якого, залежно від внутрішнього тиску в шині й повітропроникності гуми, доходить до 3,5 мм. Заготовку такого гермошару виготовляють шляхом багаторазового дублювання на спеціальному дублюючому пристрої декількох тонких гумових аркушів, що випускають на тривалковому каландрі. Гумовий аркуш товщиною 0,5...1,2 мм, який виходить з каландра, системою зворотних транспортерів подається до нижнього валка каландра, де дублюється з наступним шаром гумової суміші, після чого знову проходить по системі транспортерів і дублюється із третім аркушем.

**Виготовлення бортових кілець і крил.** Покришка втримується на ободі колеса завдяки твердому нерозтяжному борту, будова якого показана на рис. 31.9. Необхідну міцність і твердість борту надають крила, основою яких є бортові кільця. Існує кілька способів виготовлення бортових кілець. Найчастіше для цього застосовують обгумований сталевий, покритий латунню дрот діаметром 1,0 мм. Процес виготовлення крил включає такі операції: розкочування й обгумовування дроту, навивання бортових кілець, обгортання кільця бязевою стрічкою, накладення наповнювальних шнурів, обгортання криловою стрічкою.

Металеві котушки дроту встановлюються в розгортальні стійки шпулярника без перемотування й рихтування. На виході зі шпулярника окремі дроти збираються в пасмо, що підігрівається й обгумовується в головці черв'ячної машини.

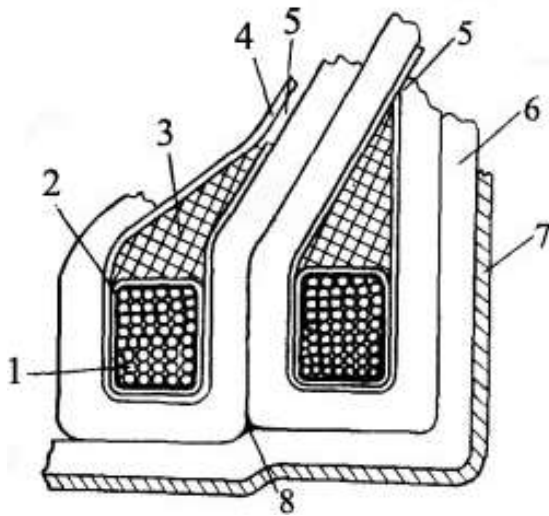


Рис. 31.9. Будова борта покритки:

- 1 – бортове кільце; 2 – обгорткова стрічка; 3 – наповнювальний шнур;
- 4 – крилова стрічка; 5 – крило; 6 – шар каркаса; 7 – бортова стрічка;
- 8 –наповнювач між групами шарів

спеціальних пресах.

**Складання покриток** у промисловості здійснюється в основному трьома методами: браслетним, пошаровим і комбінованим. При браслетному методі складання кільцеві браслети із прогумованого корду послідовно надіваються на складальний барабан. Незважаючи на механізацію основних технологічних операцій, складання браслетів і покриток потребує значної фізичної праці.

При пошаровому методі складання на складальний барабан накладаються по черзі окремі шари і деталі, що подаються з живильника, і кожний шар прикатується. Цей метод дозволяє одержати покритки більш високої якості. За однакового числа шарів і типу корду вони мають на 5...10 % більший запас міцності. Недоліком методу є дуже громіздкі живильники, які постачають кордом складальну установку.

Для складання деяких видів покриток застосовують комбінований метод, коли 2...4 шари каркаса надіваються у вигляді браслета, а інші шари накладають пошарово.

У шинній промисловості достатньо широко використовується класифікація методів складання залежно від конструкції складального барабана, на якому здійснюється складання покриток. Відповідно до цієї класифікації складальні барабани за формою бувають напівплоскі, полудорнові й дорнові (рис. 31.10).

Обгумована стрічка проходить через охолоджувальну ванну, обдувається повітрям для видалення крапель води з поверхні, протягується за допомогою протяжних барабанів через компенсатор, що забезпечує безперервну роботу агрегата, і подається до шаблона намотувального верстата. Кінець пасма обгумованого дроту закріплюють у замку шаблона й автоматично навивають необхідне число шарів, після чого пасмо обрубують і стик закріплюють спеціальною стрічкою. Готове кільце знімають з шаблона. Стик зміцнюють шляхом місцевої вулканізації в

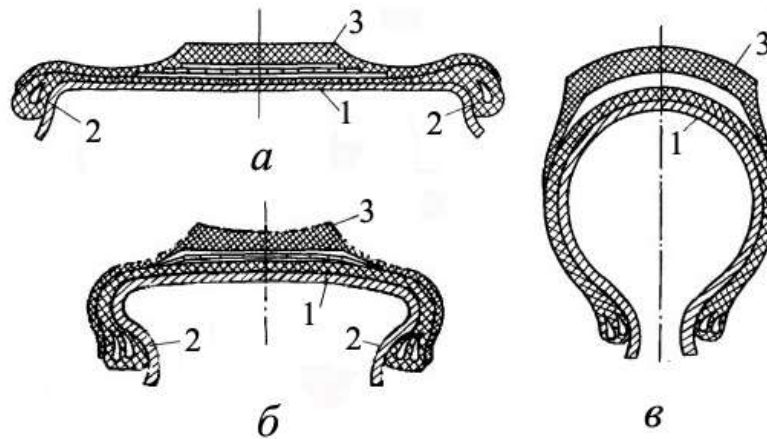


Рис. 31.10. Формі покришок, складених на напівплоскому (*а*), напівдорновому (*б*) і дорновому (*в*) барабанах (1 – складальний барабан; 2 – заплечики складального барабана; 3 – покришка)

При використанні дорнових барабанів одержують заготовку покришки, близьку за формою до готового виробу (тороподібну), яка не потребує формування перед вулканізацією (рис. 31.10, *в*). Однак внаслідок складності зняття покришки з барабана така конструкція не одержала широкого застосування у світовій практиці виробництва шин.

При складанні на напівплоских й напівдорнових барабанах заготовка має форму, близьку до циліндричної (бочкоподібну), тому перед вулканізацією обов'язковою операцією є формування.

Діаметр складального барабана вибирають, виходячи із заданої величини витяжки при формування і вулканізації.

Напівдорнові барабани виготовляють із цілими або розбірними заплечиками. На рис. 31.11 показано конструкцію напівдорнового складального барабана із знімними заплечиками. Така конструкція забезпечує зручність зняття готової покришки з барабана в його складеному стані (див. рис. 31.11, *б*).

Покришки діагональної конструкції складають пошаровим способом на верстатах з напівплоским барабаном. Верстати постачені живильниками для подавання обгумованого корду, інші деталі покришки (крила, протекторні заготовки, бортові стрічки) подаються до верстатів конвеєром або іншими транспортними засобами.

Складання радіальних покришок поділяється на дві стадії. На першій стадії складають каркас покришки з повним закладанням бортової частини, накладають боковини й дублюють їх з каркасом. На другій – циліндричну заготовку покришки формують, надаючи їй тороподібної форми, потім накладають брекер і протектор.

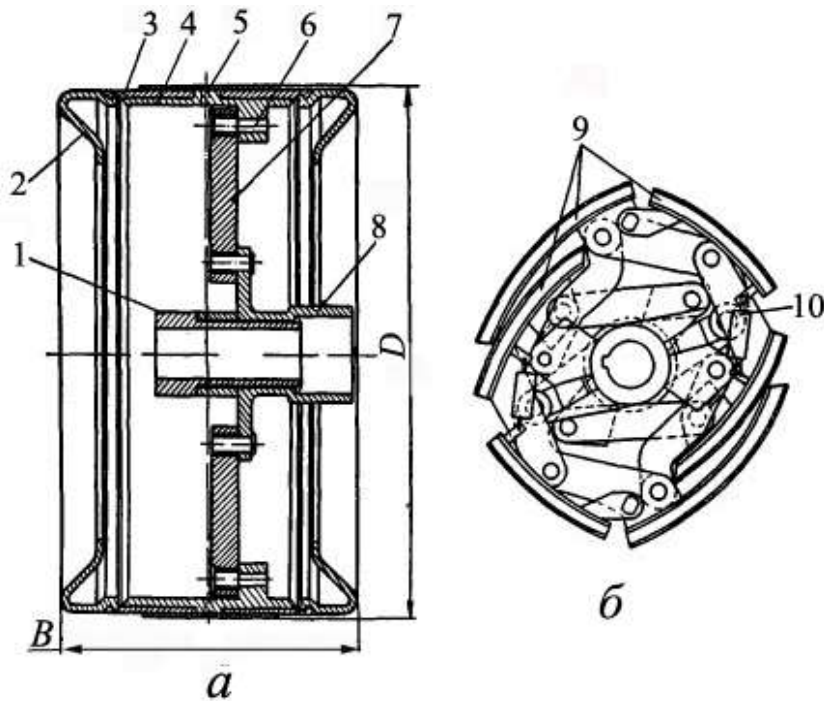


Рис. 31.11. Напівдорновий складальний барабан зі знімними заплечиками: *a* – переріз барабана у робочому стані; *б* – барабан у складеному стані (1 – маточина; 2 – знімне заплечико; 3 – бортова накладка; 4 – підстава сегмента; 5 – зовнішня накладка; 6 – ось шарніра; 7 – важіль; 8 – з’єднувальна муфта; 9 – сегменти; 10 – пружина)

Складання каркаса виконується на верстатах із твердим циліндричним барабаном, що забезпечує гарне накочування шарів корду, завдяки чому підвищується міцність каркаса. Верстат для другої стадії має складальний барабан змінної геометрії, звичайно, гумовий. Після формування заготовки покришки накладають брекер і протектор.

**Формування і вулканізація покришок.** Для забезпечення монолітності й високої працездатності покришок пневматичної шини процес вулканізації відбувається під значним тиском. При цьому, чим більше розміри покришки, тим більший тиск потрібно створити для здійснення достатнього опресовування. Із зовнішньої сторони покришка під час вулканізації обмежується й обігрівається стінками прес-форми.

Найпоширенішими сьогодні типами вулканізаційного встаткування є форматори-вулканізатори, у яких операції формування й вулканізації сполучені в одному апараті. У цих апаратах застосовують діафрагми з тонкими стінками, що підвищує ефективність теплообміну й рівномірність обігріву. Кожний форматор-вулканізатор має достатньо металомісткі механізми для відкривання й закривання прес-форм зі своїми електроприводами. Частіш за все застосовуються багатопозиційні вулканізатори, в яких один робітник обслуговує кілька вулканізаційних прес-форм із діафрагмами, перезаряджаючи їх.

Формування покришок здійснюється подаванням у діафрагму формуючої пари з порівняно низьким тиском (0,25 МПа). Потім для швидкого розігріву діафрагми й покришки подається гріюча пара з тиском до 1,6 МПа. Для

покришок найменших розмірів цього тиску може бути достатньо для опресовування, тоді весь наступний цикл вулканізації може проводитися з підтриманням такого тиску пари в діафрагмі. Для більшості розмірів покришок потрібний більший тиск опресовування (2,0...2,5 МПа для середньогабаритних і до 2,8 МПа для великогабаритних), і застосування насиченої пари виявляється неможливим через її занадто високу температуру. Тому після гріючої пари в діафрагму подають циркулюючу перегріту воду з необхідним тиском і температурою 170...200 °С. Перегріта вода повинна бути дуже ретельно очищена, особливо від розчиненого кисню, тому що за таких високих температур термоокислювальна деструкція гуми діафрагм є найважливішою причиною передчасного їхнього руйнування.

Протягом усього циклу вулканізації у парові камери верхньої й нижньої напівформ подають насичену водяну пару під тиском 0,5...0,6 МПа, яка забезпечує зовнішній обігрів покришок.

До великогабаритних покришок з посадковими діаметрами 32, 33, 39 і 49 дюймів можуть бути застосовані процеси у форматорах-вулканізаторах (з посиленою механічною частиною) і процеси з поділом операцій. Для формування надвеликогабаритних шин застосовують форматор. Для вулканізації створені індивідуальні одномісні вулканізатори автоклавного типу.

Покришки після закінчення вулканізації необхідно остудити до температури 70...80 °С під напругою. Тому в деяких випадках по закінченні процесу вулканізації в діафрагму й камери напівформ подають холодну воду під тиском, і тільки після досягнення заданої температури тиск знижують до атмосферного, воду спускають і починають перезарядження апарата.

**Заключні операції виготовлення шин.** Технологічні операції заключного циклу (обрізування випресовок, огляд і комплектація вулканізованих покришок, камери й ободної стрічки) виконуються з використанням механізованих верстатів для виконання цих операцій.

У нових комплексних потокових автоматизованих лініях, створюваних на базі багатопозиційних вулканізаторів (див. рис. 31.12), передбачається необхідний рівень виконання цих операцій.

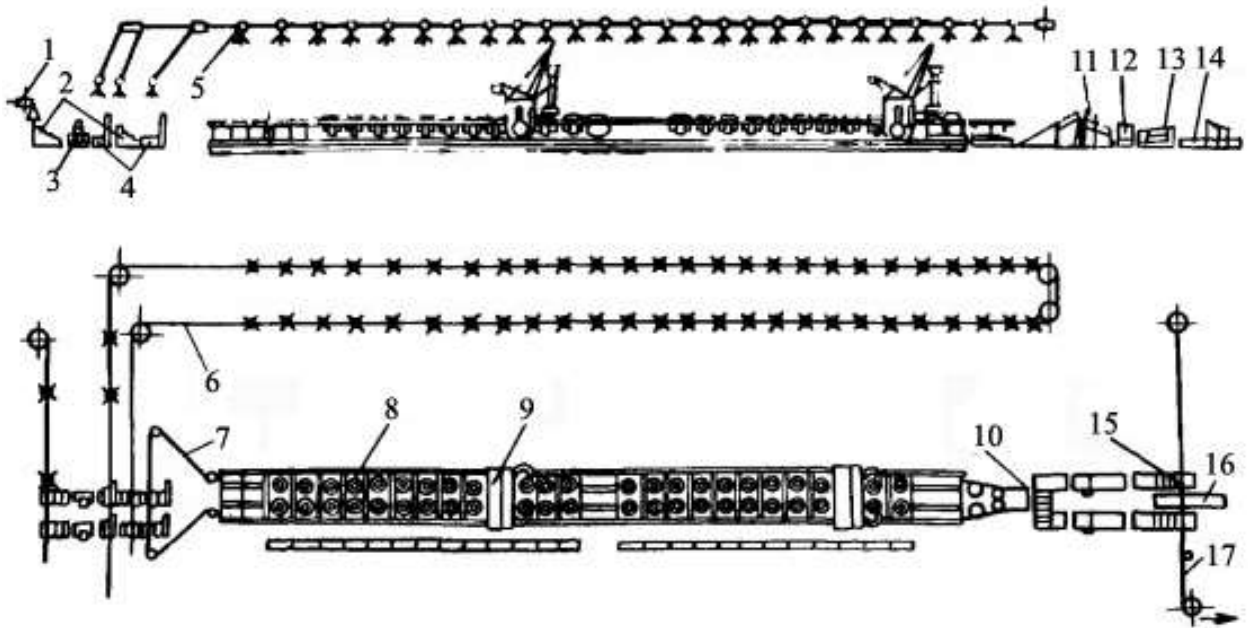


Рис. 31.12. Комплексна лінія вулканізації покришок  
(пояснення до елементів лінії наведені у табл. 31.1)

Таблиця 31.1

Заключні операції технологічного процесу складання покришок

№ позиції на рис. 31.12	Призначення агрегатів лінії	Характеристика технологічних операцій
1	Конвеєр.	Подача невулканізованих покришок зі складального цеху.
2	Рольганг з хитним важільним відсікачем.	Живильник верстата для промазування покришок.
3	Верстат для промазування покришок.	Промазування покришок антиадгезійним мастилом для запобігання злипанню при вулканізації.
4	Станція навішування покришок.	Сира покришка піднімається столом до рівня підвісок і фіксується на розведених пелюстках.
5	Підвіска транспортної системи.	Транспортування покришок.
6	Транспортна система.	Технологічна система працює як склад-накопичувач.
7	Конвеєр, що живить вулканізатор.	Конвеєр з пелюстковими підвісками або конвеєр, що штовхає. З підвісок сирі покришки скидаються на завантажники перезарядників.
8	Багатопозиційний вулканізатор.	Ряд вулканізаційних секцій (ВС) з двома прес-формами в кожній. Уздовж ряду ВС переміщуються перезарядники, обслуговуючі прес-форми. ВС працюють за принципом форматорів-вулканізаторів з діафрагмою, яка не видаляється з технологічної зони. Прес-форми поміщені в парові камери. Процесом вулканізації керує командний прилад за заданою програмою.

9	Пересувний перезарядник.	Основний агрегат лінії, що виконує операції: фіксації щодо прес-форм при зупинках; приймання і завантаження сирих покришок; формування покришок; запирання й відкривання прес-форм; вивантаження готових покришок на транспортер; транспортування прес-форм і діафрагм під час їхнього ремонту.
10	Похилий рольганг.	Відбір вулканізованих покришок.
11	Розподільник.	Відбір готових покришок: 2 рольганги розташовані під кутом один до одного. Виконуються операції повороту покришок з горизонтального положення у вертикальне, їхнє спрямування на заключні операції.
12	Живильник верстата обрізування випресовок.	Похилий лоток місткістю 3...6 покришок з відсікачем.
13	Верстат обрізування випресовок.	Обрізування випресовок на вулканізованій покришці.
14	Похилий кроковий транспортер.	Працює як склад-накопичувач для узгодження темпів роботи верстата й бракера покришок.
15	Станція навішування.	Навішує покришки на транспортну систему, має перекидаючий рольганг для забракованих покришок.
16	Стрічковий транспортер.	Відбір забракованих покришок.
17	Ланцюговий конвеєр.	Транспортування покришок на ділянку інспекції якості.

Для всіх операцій у складі комплексних потокових автоматизованих ліній передбачені маніпулятори, що працюють за програмою й зв'язані між собою транспортними засобами.

**Контроль якості шин.** Прийнята в промисловості система оцінювання якості шин складається із:

– **стендових випробувань**, під час яких визначається низка характеристик і показників, таких як довговічність і працездатність шин, однорідність, геометричні показники, жорсткісні й міцнісні властивості, опір коченню;

– **дорожніх випробувань шин**, що дозволяють дати вичерпну оцінку їхнім експлуатаційним властивостям і прогнозувати термін служби.

Число проб, що відбираються від партії для стендових випробувань, визначається потребою руйнуючого контролю. На цих екземплярах шин попередньо проводять випробування неруйнуючими методами. Для різних видів випробувань відбирають від 3 до 15 шин від партії, для періодичних випробувань – 11 шин на квартал.

Підготовку шин до стендових випробувань проводять відповідно до нормативних документів – галузевих і державних стандартів. Шини витримують після виготовлення протягом 5 діб у приміщенні з температурою 5...30 °С, у тому числі останні 12 годин – у приміщенні іспитової станції при температурі 25±5 °С. Потім проводять зовнішній огляд (візуальний або інструментальний – ультразвук, рентгеноскопія, голографія), визначення маси,



монтаж шин на іспитовий обод, забезпечення герметичності, для чого вимірюють внутрішній тиск через 15 хв, 2 і 12 год після встановлення тиску, що відповідає максимальному навантаженню на шину. Герметичність вважається забезпеченою, якщо зниження встановленого тиску не перевищує 5 %, але не більше 20 кПа. Потім здійснюють стабілізуюче двогодинне обкатування шин на барабанному стенді з навантаженням, рівним 0,8 максимального, зі швидкістю 80 км/год для легкових і 40 км/год для інших шин.

У комплекси стендових методів випробувань включають методи випробувань, розроблені до рівня галузевих стандартів, методи випробувань шин за міжнародними стандартами.

### § 31.4. Виготовлення приводних пасів

**Загальні відомості про приводні паси.** Приводним пасам належить важливе місце у виробництві гумових технічних виробів. Вони використовуються для створення пасових передач, що відрізняються економічністю й простотою конструкції, і знайшли застосування в різних галузях промисловості. Розмаїття умов експлуатації приводних пасів обумовлює різноманіття конструкцій, типорозмірів, матеріалів для їхнього виробництва, а також деякі особливості технологічного процесу.

Найпоширенішими типами пасів є клинові і поліклинові (див. рис. 23.1, б, з). Завдяки такій формі перерізу й клиновій формі канавок шківів паси передають потужність приблизно в три рази більшу, ніж плоскі, за тих самих сил натягу й коефіцієнтів тертя.

Залежно від призначення клинові паси поділяють: на вентиляторні, які застосовуються в приводах двигунів автомобілів, тракторів і комбайнів; приводні, які застосовуються у передачах промислового встаткування та сільськогосподарських машин; варторні, призначені для безступінчастого регулювання швидкості при передаванні обертання від двигуна.

**Конструкції клинових пасів.** Клиновий пас складається з декількох шарів. Несучий шар є основним елементом, що визначає потужність, яка передається, а також значно впливає на довговічність виробу. У несучому шарі пасів використовуються декілька послідовно накладених шарів кордтканини або один шар кордового шнура, навитого по спіралі. Відповідно до цього розрізняють ремні кордшнурові (рис. 31.13, а) і кордтканинні (рис. 31.13, б) конструкції.

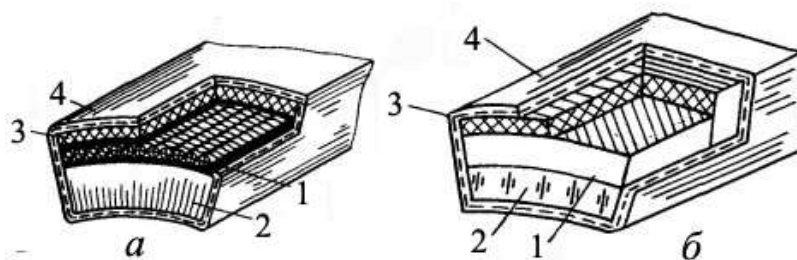
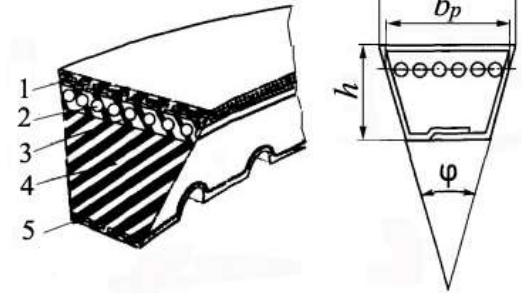


Рис. 31.13. Конструкції клинових пасів:

1 – несучий шар; 2 – шар стиску; 3 – шар розтягу; 4 – обгортка

Масив гуми 2 (шар стиску), розташований під несучим шаром 1, забезпечує передавання корисного навантаження від ведучого шківця до несучого шару й від нього до веденого шківця. Верхній шар 3 (шар розтягу), що прилягає до широкої підстави трапеції, складається з гуми або із погумованих тканин і працює на розтяг.

Зовні паси, звичайно, мають обгортку 4 із погумованої тканини, що складається з 1...3 шарів. Обгортка надає пасу каркасності і монолітності, кращої стійкості на шківцях і захищає робочі поверхні від зношування.



Останнім часом освоєний випуск кордшнурових пасів без обгортки робочих поверхонь, з формованим зубом шару стиску (рис. 31.14).

Рис. 31.14. Конструкції клинових пасів без обгортки бокових граней:  
1 – шар розтягу; 2 – несучий шар;  
3 – еластичний шар; 4 – шар стиску; 5 – тканина для армування зубчастої частини

Основні переваги таких пасів: збільшена тягова здатність і можливість передавати підвищені потужності за рахунок кращого зчеплення зі шківцями; підвищена довговічність за рахунок поліпшення теплопередачі й застосування формованої зубчастої поверхні шару стиску замість нарізної; виключення процесу обгорткування.

Всі вентиляторні паси випускаються тільки кордшнурової конструкції, приводні та варіаторні паси – кордтканинної і кордшнурової конструкцій.

Залежно від відношення більшої основи трапеції до висоти ( $b_0/h$ ) випускають паси: вузького перерізу ( $b_0/h=1,25$ ), нормального перерізу ( $b_0/h=1,65$ ), широкі паси ( $b_0/h=2,0...3,4$ ). Останні випускаються, в основному, для використання у варіаторах.

Довжина клинових пасів може бути в межах від 400 до 18 000 мм, причому їх довжини для уніфікації застосовуваних у машинобудуванні пасів зведені до нормальних лінійних розмірів.

**Матеріали для виробництва клинових пасів.** У виробництві клинових пасів як армуючі матеріали застосовують кордтканини й кордшнури для несучого шару й тканини полотняного переплетення для тканинних прошарків і обгортки паса.

Для забезпечення тривалої роботи приводних пасів армуючий матеріал несучого шару повинен мати високу міцність, невелике подовження при робочих навантаженнях, високу втомну міцність при багаторазовому згинанні, теплостійкість, гарну адгезію до гуми. Капронові та анідні кордтканини застосовують як несучий шар кордтканинних приводних і варіаторних пасів, а також у шарі розтягання цих пасів для підвищення поперечної твердості. У

клинових ременях з більшим числом шарів використовують віскозні кордтканини.

Як несучий шар кордшнурових клинових пасів застосовують кручені нитки (кордшнури): анідні, товщиною 1,2...2,2 мм, поліефірні з підвищеною адгезією до гуми, товщиною 1,2...3 мм.

Обгорткові тканини повинні мати гарну адгезію до гуми й високу стійкість до стирання. Як обгорткові тканини у виробництві клинових пасів використовують бавовняні тканини. Використання тканин з комбінованих ниток, що мають значну теплову усадку, можливе тільки після їхньої попередньої термообробки.

Гумові суміші. Для виготовлення різних елементів конструкції клинових пасів застосовують чотири основних типи гум: для шару стиску, для шару розтягу, для еластичного шару й обкладки тканин, для промазування тканин.

Частіш за все паси випускають із застосуванням гуми на основі хлоропренового каучуку (або його комбінацій з іншими каучуками), що забезпечує працездатність пасів в інтервалі температур від  $-40$  до  $+60$  °С. Виключення становлять паси, що працюють в умовах зниженої температури (до  $-60$  °С), у яких використовують гуми на основі сполучення ізопренового й бутадієнового каучуків, однак ці паси мають знижену теплостійкість (до  $+40$  °С) і маслобензостійкість.

**Підготовка напівфабрикатів.** Технологічний процес виготовлення клинових пасів є одним з найбільш складних у гумовій промисловості й включає такі основні стадії:

– каландрування гумових сумішей, сушіння й промазування обгорткової тканини, просочення кордшнурів і кордтканини, промазування та обкладка тканини для кордтканинних пасів і для сполучної пластини багатострумкових пасів;

– розкрій обгорткової тканини й різання її на стрічки;

– складання вікеля й різання його на сердечники;

– скошування сердечників і їхнє обгортання;

– вулканізація й контроль якості.

Останнім часом отримали поширення системи листування гумової суміші за допомогою екструдерів з валковою головкою, яку застосовують для профілювання гумових сумішей з різних каучуків і волокнистих наповнювачів.

Промазування і обкладку тканини здійснюють зазвичай на три- або чотиривалковому каландрі за два послідовних проходи. Перед обробкою на каландрі тканину просушують на окремому сушильному агрегаті або на барабанах, що входять до складу каландрової лінії.

Обгорткову тканину промащують гумовою сумішшю. Для зручності й безперервності роботи при перезарядженні рулонів застосовують накопичувачі, установлені як спереду, так і за каландрами. Точність калібру гуми підтримують автоматично за допомогою системи виміру (зазвичай товщиноміром), що має зворотний зв'язок з механізмом розсування валків.

Після каландрування тканина, пройшовши систему охолоджувальних барабанів, надходить на закатувальну станцію.

Для просочування кордшнурів застосовують спеціальні агрегати, призначені для одноетапного і двоетапного просочування й термообробки поліамідних і поліефірних кордшнурів. При цьому здійснюють одно- або двостадійне просочування і термообробку 24 рівчаків поліамідних або поліефірних ниток. У процесі обробки контролюються швидкість ниток, їхнє загальне витягування, натяг на один рівчак за зонами термообробки, температура сушіння тощо.

Поперечний розкрій суміші з волокнистим наповнювачем після листування здійснюють безпосередньо на приймальному транспортері каландра або на спеціальних машинах для розкрою. Розкромлені аркуші можна з'єднувати стик впритул з накочуванням стику зубчастим роликом або з невеликим напуском і накочуванням гладким роликом.

Для розкрою промашеної обгорткової тканини використовують спеціальні машини (автоматичні або із застосуванням ручних операцій), що здійснюють розгортання рулону обгорткової тканини з відбором полотна, подавання тканинного полотна на розкроювальний стіл, різання тканини під певним кутом дисковим ножом, стикування косяків тканини з невеликим напуском. Полотно загортають у рулон і розрізають на смуги з наступним загортанням у поліетиленову прокладку.

**Складання й обгортання сердечників.** Складання – найбільш відповідальна операція технологічного процесу, яка багато в чому визначає якість пасів.

Спосіб складання сердечників визначається конструкцією й довжиною пасу. Залежно від цього розрізняють складання сердечників пасів кордшнурової конструкції малої (до 4,5 м) і великої (від 5 до 8 м) довжини та складання сердечників пасів кордтканинної конструкції.

Основні операції складання: накладення матеріалів шару розтягання, тягового шару, шару стиску й різання отриманої широкої заготовки (вікеля).

Якщо складання вікеля починають із накладення на складальний барабан шару стиску, сердечники пасів після складання не вивертають, і складання називають прямим. При накладенні на барабан шару розтягання сердечники після складання вивертають. Такий спосіб називається зворотним.

Паси кордшнурової конструкції можна скласти кожним із цих двох способів. Паси кордтканинної конструкції, особливо невеликої довжини, складають прямим способом, тому що при зворотньому складанні у вивернутих сердечниках шари кордтканини мають нерівномірний натяг: верхні шари розтягнуті, а на нижніх можуть утворитися складки.

Застосовується індивідуальне й групове складання пасів. При індивідуальному складанні кожний сердечник складають окремо шляхом послідовного накладення елементів конструкції на два шквіви, відстань між якими визначається довжиною пасу. Для підготовки напівфабрикатів, звичайно, застосовують додатково до зазначеного встаткування верстати для різання стрічки гумової суміші шару розтягу, в основному, з рулону поперечно

закроеної волокнистої гуми, і черв'ячну машину для профілювання трапецієподібної заготовки шару стиску. Після складання сердечника його обертають стрічкою косо закритої обгорткової тканини. Всі операції виконують на одному верстаті (зазвичай автоматизованому) або на двох верстатах з поділом операцій складання й обгорнення. При груповому способі аналогічно здійснюють складання кільцевого вікеля шириною 500...1100 мм, який потім розрізають на прямокутні або скошені до трапецієподібної форми сердечники. Прямокутні сердечники скошують на окремому верстаті, після чого вони надходять на верстаті для обгорнення. Послідовність операцій виготовлення заготовок груповим способом схематично представлена на рис. 31.15.

Випускають дві модифікації верстатів для складання пасів: довжиною до 2,65 м і до 4,5 м. У верстатах застосована автоматична система підтримки натягу кордшнура. Живильники до складальних верстатів постачені пристроєм підтримки необхідного натягу гумового полотна. Автоматичне різання блоками ножів забезпечує допуски на ширину сердечників у межах  $\pm 0,8$  мм і значно скорочує загальний час різання.

Для забезпечення складання пасів довжиною до 4,5 м застосовують 15 розсувних барабанів з інтервалом зміни довжини кожного барабана від 100 до 300 мм. Для забезпечення складання кордшнурових пасів довжиною більше 4,5 м використовується спеціальний пристрій до двобарабанного складального верстата. Верстат додатково комплектується кареткою для укладання кордшнура, механізмом стабілізації осьового положення вікеля й забезпечує складання кордшнурових пасів довжиною більше 2,7 м.

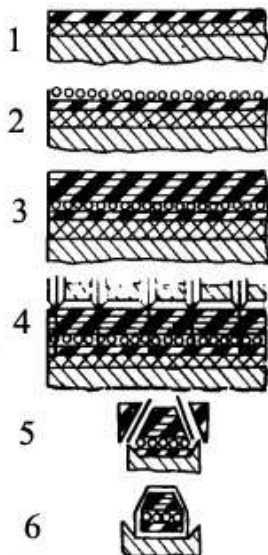


Рис. 31.15. Послідовність виготовлення заготовок пасів:

- 1 – накладення шару розтягу;
- 2 – навивання кордшнура;
- 3 – накладення шару стиску;
- 4 – різання вікеля на прямокутні сердечники; 5 – скошування сердечників; 6 – обгорнення

сердечників Перед складанням сердечників на барабан накладають гумотканину сорочку товщиною 7...12 мм, що захищає ніж при різанні вікеля від зіткнення з металом барабана і слугує для зручності складання вікеля. Міняючи товщину сорочки, на тому самому барабані можна одержати паси різної довжини. Сорочка складається з декількох шарів гумової суміші, що одержують з відходів, і одного шару тканини.

При складанні кордшнурових пасів кордшнур промащують клеєм для запобігання розшаруванню сердечника під час подальших операцій.

Операцію скошування сердечника з метою наближення його форми до форми готового паса проводять або на складальному верстаті (кут скошування 65°) при різанні вікеля, або на окремому верстаті (кут скошування 40°) для вентиляторних і приводних пасів.

Обгорнення сердечників завершує виготовлення заготовок клинових пасів. Основним завданням цієї операції є рівномірне обкладання перерізу сердечника одним або декількома шарами обгорткової стрічки.

Для обгорнення приводних і вентиляторних пасів частіш за все використовують напівавтоматичні верстати, які забезпечують продуктивне обгорнення пасів всіх перерізів довжиною 2,65...9 м.

**Вулканізація й контроль якості пасів.** Вулканізація завершує процес виготовлення пасів. Її мета – остаточне оформлення перерізу паса, забезпечення необхідних властивостей елементів конструкції (насамперед, гуми) і обпресування для досягнення високої міцності зв'язку між ними.

Відомі способи вулканізації зводяться, в основному, до формування й нагрівання масиву заготовки по всій її довжині (автоклава й діафрагмова вулканізація пасів довжиною до 4,5 м) або окремих ділянок (щелепна вулканізація), або безперервної вулканізації в зоні, при переміщенні заготовки по довжині (ротаційна вулканізація). Головна їхня відмінність – різний тиск формування, що значною мірою визначає кінцеву якість одержуваних пасів. Однією з головних умов якісного оформлення перерізу, його монолітності й міцності зв'язків між елементами перерізу є забезпечення достатнього тиску формування.

При ротаційній вулканізації тиск визначається опором розігрітої гумової суміші в зоні вулканізації під час розтікання її по канавці вулканізаційної форми. Для великих ротаційних пресів, діаметр барабана яких 500 мм, тиск не перевищує 0,3...0,4 МПа. Крім цього, можливість натягу заготовок пасів на ротаційних пресах для зниження теплової усадки несучого шару обмежена небезпекою зсуву кордшнура.

Перевагою ротаційних вулканізаторів є можливість виготовлення пасів різної довжини в тому самому апараті, а також вулканізації пасів, вигнутих під певним радіусом. Однак через те, що паси вулканізують вроздріб, утворюються переувулканізовані ділянки. Крім того, через консольне розташування вулканізаційних барабанів на деяких вулканізаторах не забезпечується необхідна витяжка. Недоліком вулканізаторів також є нерівномірність нагріву пасів по довжині й ширині барабана.

Найбільш сприятливі умови для якісного оформлення перерізу й досягнення оптимальних характеристик готового паса створюються при діафрагмовому і щелепному способах вулканізації.

Формування перерізу в діафрагмовому пресі здійснюється тиском гумової діафрагми на кільцеві сердечники, поміщені в канавки вулканізаційних форм. Звичайний тиск гріючої пари, що подається всередину форми, на 0,4...0,6 МПа менше, ніж тиск на діафрагму (див. рис. 31.16), що забезпечує якісне формування перерізу. У промисловості для вулканізації кордшнурових пасів довжиною до 4,5 м розроблено три модифікації діафрагмових пресів: для пасів довжиною 400...2000, 1800...3200 і 2500...4500 мм.

На щелепних пресах тиск формування створюється за рахунок зусилля змикання плит преса, що досягає 2000 кН і більше.

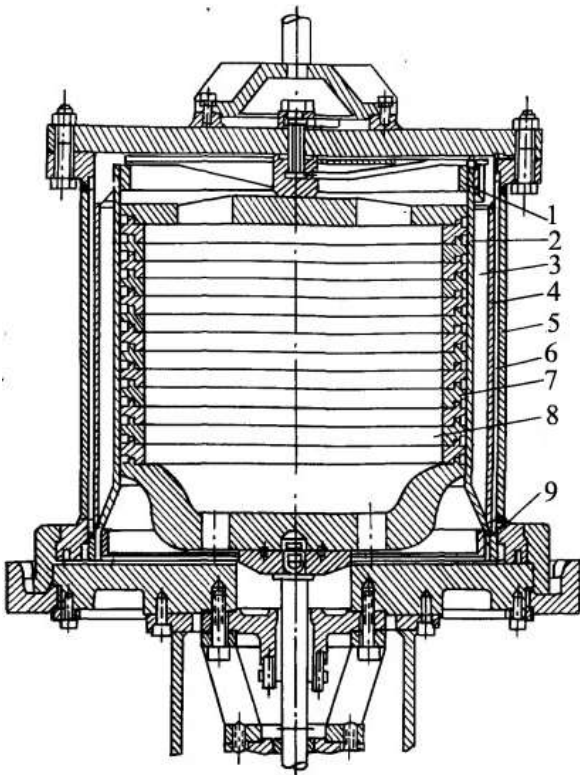


Рис. 31.16. Схема діафрагмового вулканізатора:

- 1 – сегмент для кріплення діафрагми;
- 2 – гумова діафрагма; 3 – порожнина для подавання повітря під тиском 1,5 МПа;
- 4 – металевий дзвін; 5 – обігрівальна сорочка; 6, 8 – порожнина для подавання повітря під тиском 0,6 МПа;
- 7 – барабанна прес-форма; 9 – сегмент

сполучають операцію обрізування гумових заусенців.

Маркують паси на окремих верстатах або поєднують цю операцію із вимірюванням пасів, або з вулканізацією, підкладаючи між заготовкою й формуючим елементом синтетичну плівку чи металізовану фольгу з нанесеним на них маркуванням. Останній спосіб може бути застосований тільки у разі

Для створення умов, які дозволяють заготовці сприйняти зусилля формування, її роблять трохи більшого розміру, ніж це потрібно для заповнення форми, а кінці плит преса охолоджують. Для стабілізації довжини пасів після вулканізації необхідно остудити їх до 50...70 °С при натягу. Під час використання діафрагмових вулканізаторів барабан з пасами охолоджують повітрям на спеціальних вентиляльованих столах або поміщають форми з пасами в ємність із проточною водою.

Контроль якості готових пасів проводять шляхом вимірювання їхньої довжини з одночасною перевіркою розмірів перерізу, а також випробуванням їх на стендах.

Для вимірювання довжини й контролю розмірів перерізу пасів установлюють на два шківки і після розтягуючого навантаження та прокручування паса оцінюють його довжину за міжцентровою відстанню між шківками. Зазвичай із вимірюванням паса

забезпечення стабільної довжини пасів (допуск не більше  $\pm 0,2$  % номіналу), що не потребує наступної комплектації пасів за довжиною.

Для вимірювання пасів усіх профілів з одночасним обрізуванням гумових випресовок і маркуванням використовуються три модифікації верстатів: для пасів довжиною 750...2500, 2500...7100 і 4500...18 000 мм.

Відхилення від вимог технічної документації за зовнішнім виглядом перевіряють оглядом пасів і порівнюванням їх з еталонним зразком.

Для прискореного оцінювання працездатності й довговічності пасів застосовують стенди, на яких їх випробовують в умовах, що наближаються до реальних. Результати випробувань оцінюють за часом до руйнування паса та його подовженням за час випробувань.

### Запитання і завдання для самоконтролю

1. Який матеріал є основним видом сировини при виготовленні гуми?
2. Який процес забезпечує перетворення каучуку на гуму?
3. Назвіть основні компоненти гуми, які входять в її склад, окрім каучуку.
4. Які види гумотехнічних виробів найчастіше застосовуються у промисловості?
5. Дайте визначення процесу каландрування.
6. Опишіть загальну схему отримання прогумованої тканини на тривалковому каландрі.
7. Які вироби одержують за допомогою операції безперервного видавлювання?
8. Опишіть процес пресування і назвіть гумові вироби, які отримують за допомогою даної операції.
9. Дайте визначення автомобільної шини.
10. Схарактеризуйте конструкцію:
  - діагональної шини;
  - радіальної шини.
11. Назвіть основні операції технологічного процесу виготовлення шин.
12. Опишіть схему і принцип дії гумозмішувача.
13. Яка операція застосовується для отримання протекторних заготовок?
14. Як досягається необхідна адгезія штучних і синтетичних кордів до гуми?
15. Назвіть основні складові лінії для обробки текстильного корду.
16. На якому устаткуванні здійснюється обгумовування текстильного корду?
17. Наведіть особливості процесу погумовування металокорду.
18. Який вигляд заготовки при складанні покришок називають браслетом?
19. Як виготовляється герметизуючий шар при виготовленні безкамерних покришок?
20. Які способи використовуються для складання покришок?
21. Опишіть процес формування та вулканізації покришок.
22. Опишіть порядок контролю шин після їх виготовлення.
23. Назвіть основні типи привідних пасів.
24. Які типи клинових пасів, залежно від співвідношення  $b_0/h$ , застосовують у техніці?
25. Які матеріали застосовують для виготовлення клинових пасів?
26. Назвіть основні операції технологічного процесу виготовлення клинових пасів.
27. Як виготовляються обгорткові тканини, кордшнури?
28. Опишіть послідовність виготовлення сердечника клинового паса.
29. Опишіть послідовність вулканізації зібраного паса.
30. Як контролюють паси після їх виготовлення?



## Глава 32. ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

### § 32.1. Загальні відомості про композиційні матеріали

**Характеристика композиційних матеріалів.** Розвиток всіх галузей промисловості, а також вимоги до підвищення якості виробів, що випускаються, вимагають створення нових конструкційних матеріалів з високими міцністю, термостійкістю й жароміцністю, малою густиною, теплопровідністю й електропровідністю, високими діелектричними, магнітними й іншими спеціальними фізичними властивостями. Поєднання різних корисних властивостей окремих матеріалів у єдиному матеріалі дозволило створити нові матеріали з високими експлуатаційними характеристиками – композиційні матеріали.

Композиційний матеріал (КМ) являє собою об'ємне сполучення хоча б двох хімічно різнорідних матеріалів із чіткою границею між ними (фазами) і характеризується властивостями, яких не має жодний з її компонентів окремо.

Композицію одержують шляхом введення в основний матеріал (матрицю) певної кількості іншого матеріалу, що додається з метою отримання спеціальних, попередньо запланованих властивостей.

Композиція може складатися із двох, трьох і більше компонентів, розміри часток яких можуть коливатися в широких межах – від сотих часток мікрометра (для порошкових наповнювачів) до декількох міліметрів (при використанні волокнистих наповнювачів).

Більшість сучасних КМ являє собою композицію, оскільки матеріали рідко використовуються в чистому вигляді. Відмінність більшості КМ від традиційних матеріалів у тім, що процес одержання КМ технологічно поєднується з процесом виготовлення виробу.

Початковим етапом проектування виробу з КМ є конструювання самого матеріалу – підбір його компонентів і призначення оптимальних технологічних процесів виробництва. Особливість створення конструкцій із КМ, порівняно з конструкціями із традиційних матеріалів, у тому, що конструювання матеріалу, розроблення технологічного процесу виготовлення і проектування самої конструкції є єдиним процесом. Крім того, розмаїття фізико-механічних властивостей КМ забезпечує можливість створення матеріалу із заданими властивостями для певного виробу.

**Класифікація КМ.** Залежно від матеріалу матриці КМ можна поділити на такі основні групи:

- композиції з металевою матрицею – металеві композиційні матеріали (МКМ);
- з полімерною матрицею – полімерні композиційні матеріали (ПКМ);
- з гумовою матрицею – гумові композиційні матеріали (ГКМ);

– з керамічною матрицею – керамічні композиційні матеріали (ККМ).

Назву ПКМ звичайно дають залежно від армуючого матеріалу. Наприклад, ПКМ, армовані скляними волокнами, називають склопластиками. Так само одержали свої назви металопластики, асбестопластики, вуглепластики, боропластики й т. д.

У металевих і керамічних КМ, звичайно, спочатку вказують матеріал матриці, а потім армуючий матеріал, наприклад: мідно-вольфрамові, алюмінієво-сталеві і т. п.

За типом арматури і її орієнтації КМ поділяють на дві основні групи: ізотропні і анізотропні.

Ізотропні КМ мають однакові властивості у всіх напрямках. До цієї групи відносять КМ із порошкоподібними наповнювачами.

У анізотропних КМ властивості залежать від напрямку армуючого матеріалу, їх поділяють на односпрямовані, шаруваті і тривимірно-спрямовані. Анізотропія матеріалу передбачається конструктором для одержання КМ із заданими властивостями. Односпрямовані КМ найчастіше проектують для виготовлення виробів, що працюють на розтяг. Шаруваті КМ одержують

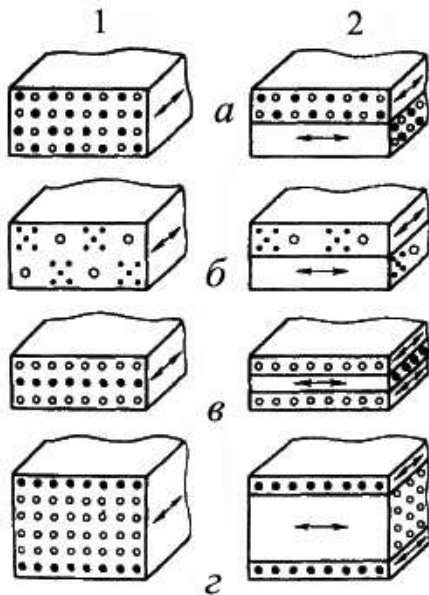


Рис. 32.1. Схеми армування КМ:  
1 – односпрямованого; 2 – двовимірного

утворюють шари, що чергуються;

– макронеоднорідні КМ, у яких різні волокна утворюють зони, порівнянні з характерним розміром виробу із КМ (рис. 32.1, г).

За способом одержання полімерні і гумові КМ поділяють на ливарні й пресовані. Металеві КМ поділяють на ливарні і деформовані.

Ливарні КМ одержують шляхом просочення арматур розплавленим матричним матеріалом (сплавом). Для одержання деформованих МКМ застосовують спікання, пресування, штампування, кування на молотах і ін.

шляхом поздовжньо-поперечного укладання із правильним чергуванням шарів. У тривимірно-спрямованих КМ армування, звичайно, досягається за рахунок використання зшитих у поперечному напрямку армуючих тканин, сіток і т. п.

Гібридні матеріали, які останнім часом широко застосовуються, містять у своєму складі три або більше компоненти. Залежно від розподілу компонентів гібридні КМ ділять на класи:

– однорідні КМ (рис. 32.1, а) з рівномірним розподілом кожного армуючого компонента по всьому об'єму композиції;

– лінійно неоднорідні КМ із об'єднанням окремих волокон у джгути (рис. 32.1, б);

– КМ із площинною неоднорідністю (рис. 32.1, в), у яких волокна кожного типу

За призначенням КМ поділяють на загальноконструкційні, термостійкі, пористі, фрикційні, антифрикційні й т. д.

**Вимоги до армуючих і матричних матеріалів.** Армуючі матеріали поділяють на порошкові й волокнисті.

Порошкові армуючі матеріали повинні задовольняти вимоги до хімічного складу, розмірів і форми окремих фракцій, технологічних властивостей (насипна маса, плинність, пресуємість, спікаємість) при виготовленні виробів засобами порошкової металургії.

Армуючі волокна для одержання КМ повинні мати малу густину, високу температуру плавлення, мінімальну розчинність у матеріалі матриці, високу міцність у всьому інтервалі робочих температур, високі хімічну стійкість та технологічність, відсутність фазових перетворень у зоні робочих температур, відсутність токсичності при виготовленні й експлуатації. Застосовують, в основному, три види волокон: ниткоподібні кристали (“вуса”), металевий дріт, неорганічні й полікристалічні волокна.

Нитковидні кристали вирізняються надвисокою міцністю у широкому діапазоні робочих температур, малою густиною, хімічною інертністю до багатьох матеріалів матриць і є незамінними як армуючі матеріали.

Металевий дріт з високоміцної сталі, вольфраму, молібдену й інших металів має меншу міцність, ніж ниткоподібні кристали, однак, незважаючи на це, його випускають у великій кількості і у зв'язку з його меншою вартістю широко застосовують як арматуру.

Неорганічні й полікристалічні волокна мають малу густину, високу міцність і хімічну стійкість. Широко застосовують вуглецеві, борні, скляні й інші волокна для армування пластмас і металів.

Основне призначення наповнювачів – надання КМ спеціальних властивостей. Наприклад, волокнисті наповнювачі вводять із метою одержання максимальних міцнісних характеристик.

**Вимоги до матриць КМ.** Матриця у армованих композиціях є основою, надає виробу форму й робить матеріал монолітним. Матеріал матриці має забезпечувати сприймання композицією зовнішніх навантажень, її несучу здатність, передавання сили на армуючі волокна.

При виготовленні композиції в рідкій фазі матеріал матриці повинен змочувати армуючий матеріал (волокно). Якість сполучення залежить від змочуваності волокон матеріалом матриці, що обумовлюється певним ступенем фізичної й хімічної спорідненості компонентів. Крім того, матриця виконує роль захисного покриття, що захищає волокна від механічних пошкоджень і окислювання.

## § 32.2. Технологічні основи виготовлення деталей з металевих КМ

**Волокна для армування металевих композиційних матеріалів.** Для армування КМ із металевою матрицею використовують освоєні промисловістю високоміцні волокна вуглецю, бору, карбїду кремнію і вольфраму, оксидів

алюмінію і цирконію, дріт зі сталевих, вольфрамових і молібденових сплавів, а також ниткоподібні кристали.

Волокна вуглецю і бору використовують, звичайно, для армування легких сплавів на основі алюмінію і магнію. Вироби із цих КМ характеризуються високими міцністю і твердістю й можуть довгостроково експлуатуватися при температурах 300...450 °С. Волокна бору з бар'єрним покриттям з карбіду кремнію можуть успішно експлуатуватися при температурах 600 °С і навіть до 800 °С, за відповідного матеріалу матриці.

Волокна карбіду кремнію і вольфраму призначені для армування жароміцних КМ на основі нікельхромистих сплавів з робочими температурами 1100...1300 °С.

Термостійкі й жароміцні волокна з оксидів алюмінію й цирконію можуть бути ефективними при армуванні КМ, що довгостроково працюють при температурах 1400...1600 °С.

Дріт зі сталевих, вольфрамових і молібденових сплавів широко використовують для армування високоміцних КМ.

Ниткоподібні кристали достатньо перспективні як армуючі матеріали для одержання високоміцних і жароміцних КМ.

Волокна вуглецю мають низьку густину (1400...2000 кг/м<sup>3</sup>), високу межу міцності при розтягу (до 3500 МПа), модуль пружності (до  $7 \cdot 10^5$  МПа) і малий діаметр волокон (5...12 мкм). Крім того, вони мають високу хімічну стійкість до атмосферних умов і деяких кислот, що забезпечує довговічність КМ на їхній основі. Термостійкість при тривалій експлуатації не перевищує 400 °С. Недоліки вуглецевих волокон: низька міцність на стискування, хімічна активність при взаємодії з розплавленими металевими матрицями й мала змочуваність.

Волокна бору характеризуються низькою густиною (2400...3000 кг/см<sup>3</sup>), міцністю при розтягуванні (до 3800 МПа) і модулем пружності (до  $4 \cdot 10^5$  МПа). Їх одержують осадженням бору з газової суміші водню і трихлористого бору на вольфрамовий дріт діаметром 10...12 мкм, що нагрівається. У результаті осадження утворюється сердечник з боридів вольфраму (діаметром 15...17 мкм), навколо якого розташовується шар полікристалічного бору. У промислових умовах можливе виготовлення волокон діаметром 75...200 мкм.

Волокна карбіду кремнію мають такі фізико-механічні характеристики: густина 3200...3500 кг/м<sup>3</sup>, міцність при розтягуванні 1700...2500 МПа, модуль пружності  $(4,5...4,8) \cdot 10^5$  МПа; вони жаростійкі й жароміцні, тому застосовуються для створення КМ на металевій основі з високотемпературними характеристиками. Промисловістю освоєний випуск безперервних волокон карбіду кремнію діаметром 80...120 мкм.

Волокна з оксидів алюмінію, цирконію характеризуються високими міцністю й теплостійкістю. У цей час освоєється промисловий випуск волокон із цих матеріалів.

Металевий дріт – найбільш доступний і дешевий вид волокон, використовуваних для армування КМ. Застосовують дроти з високовуглецевих і високолегованих сталей, які характеризуються високими фізико-механічними властивостями. Частіш за все використовують дроти з вольфрамових і молібденових сплавів, що випускаються спеціально для армування КМ.

Ниткоподібні кристали (“вуса”) – тонкі короткі волокна з монокристалічною структурою. Технологічно можливе одержання кристалів діаметром до 10 мкм і довжиною до 10 мм.

Найпоширенішими способами одержання ниткоподібних кристалів є вирощування з покриттів, вирощування в електричному полі, осаджування з газової фази, хімічні способи.

Вирощування ниткоподібних кристалів з покриттів може відбуватися мимовільно за нормальної температури з легкоплавких металів (цинку, олова й ін.). Покриття наносять паровим осадженням або зануренням підкладки в розплавлений метал. В електричному полі вирощують кристали із заліза, міді, срібла й ін. Процес осаджування здійснюють при великих густинах струму, за наявності органічних домішок (глюкози, олеїнової кислоти й ін.), застосовуючи катоди з малою робочою поверхнею.

Для створення КМ на металевій основі як армуючі елементи застосовують ниткоподібні кристали таких тугоплавких сполук, як карбіди кремнію, бору, оксиду алюмінію й ін. Завдяки досконалості структури ниткоподібні кристали мають високі, близькі до теоретичних, міцнісні характеристики. Наприклад, ниткоподібні кристали карбіду кремнію мають густину  $3320 \text{ кг/м}^3$ , міцність при розтягу  $21000 \text{ МПа}$  і модуль пружності  $4,9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ . Волокна в чистому вигляді рідко застосовують для армування КМ. На волокна, джгути, стрічки тонким шаром наносять бар’єрні й технологічні покриття.

Бар’єрні покриття призначені для захисту волокна від руйнування (деградації) у результаті фізико-хімічної взаємодії з матричними сплавами. Вони являють собою термодинамічні стійкі хімічні сполуки – бориди, нітриди, карбіди, оксиди й т. ін. Товщина покриттів становить кілька мікрометрів.

Технологічні покриття призначені для поліпшення змочування волокна матричним металевим розплавом і підвищення сил адгезії.

**Матеріали матриць.** Як матеріали матриць при виготовленні МКМ застосовують промислові метали та сплави, створені спеціально для одержання МКМ. Залежно від необхідних експлуатаційних властивостей застосовують такі матеріали: легкі метали й сплави на основі алюмінію і магнію; сплави на основі титану, міді; жароміцні і жаростійкі сплави на основі заліза, нікелю і кобальту; тугоплавкі сплави на основі вольфраму, молібдену і ніобію.

Алюмінієві сплави мають гарну пластичність, корозійну стійкість, але порівняно невисоку міцність. Для просочення КМ застосовують алюмінієві сплави з гарними ливарними властивостями, наприклад, силуміни з підвищеним вмістом кремнію. Перспективним для жароміцних КМ є САП

(спечений алюмінієвий порошок), що являє собою алюміній, зміцнений дискретними частками оксиду алюмінію. МКМ на основі САП мають високу жароміцність (до 500 °С), добре обробляються тиском, різанням і мають високу корозійну стійкість.

Магній і його сплави характеризуються низькою густиною, відносно високими механічними властивостями, здатністю чинити опір ударним навантаженням і вібраціям. Крім того, вони достатньо пластичні і добре обробляються тиском.

Титанові сплави мають малу густину, а за міцнісними характеристиками перевершують алюмінієві й магнієві сплави. Вони також мають гарні ливарні властивості. Їх можна обробляти пластичним деформуванням у широкому інтервалі температур (600...1200 °С). Для армування КМ налагоджений випуск фольги з титанових сплавів товщиною 3...200 мкм.

Мідь і мідні сплави мають високу електропровідність і теплопровідність. У технологічному відношенні мідь і її сплави характеризуються високими пластичними властивостями. У більшості випадків мідні сплави пластично деформуються в холодному стані.

Жароміцні й жаростійкі сплави одержують на основі системи нікель–хром з легуючими добавками вольфраму, молібдену, титану, алюмінію. Вони стійкі до утворення окалини на поверхні в газових середовищах при нагріванні понад 500 °С. Підвищена міцність, високий опір повзучості й утомі досягаються за рахунок введення в сплави титану й алюмінію. Сплави на нікелевій і кобальтовій основі, леговані різними елементами, здатні працювати при температурах до 1100 °С.

Порошковою металургією можна одержувати МКМ із матрицею з особливо тугоплавких металів – ніобію, вольфраму, молібдену й сплавів на їхній основі. Волокнистими наповнювачами (ниткоподібними кристалами з тугоплавких сполук) ці матриці армують з метою надання їм особливих експлуатаційних властивостей (удароміцності, термостійкості й ін.).

**Основні методи одержання напівфабрикатів і готових виробів.** При розробці технологічного процесу одержання виробів із КМ доводиться в комплексі вирішувати багато питань, серед яких: вибір армуючих і матричних матеріалів, їхня хімічна взаємодія, змочування, способи орієнтації армуючих волокон, способи остаточного з'єднання волокон і матриці у виріб, вибір оптимальних технологічних режимів та ін. Технологічному процесу одержання КМ передують допоміжні операції: очищення, миття й сушіння волокон, з'єднання їх у джгути або каркаси, одержання елементарних з'єднань матриця–волокно, складання шарів, що чергуються, елементів та ін.

Короткі армуючі елементи вводять у матричні матеріали в розорієнтованому стані або попередньо орієнтуючи їх у певному напрямку. У виробничих умовах з розорієнтованих кристалів, коротких волокон і дротів виготовляють напівфабрикати: повств, мати й т. ін. Використовують різні способи валяння: рідинні, повітряні, вакуумні й гравітаційні. Як приклад на рис. 32.2 показана схема рідинного способу валяння коротких волокон.

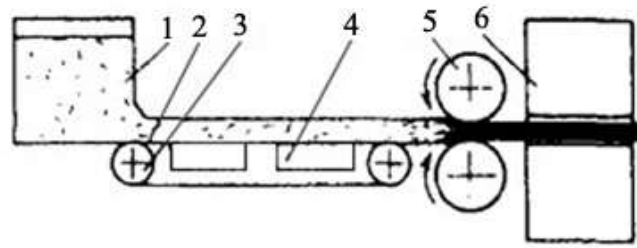


Рис. 32.2. Схема рідинного валяння коротких волокон

Суспензія з живильного бака 1 надходить на сітку 2, покриту фільтрувальним папером. За допомогою роликів 3 вона проходить над камерами 4 для обсмоктування рідини. Притискними валками 5 повсть ущільнюється і надходить у піч 6, де вона просушується або, за необхідності, спікається.

Для одержання армуючих елементів з потрібною орієнтацією застосовують технологію текстильної переробки. Короткі волокна переробляють у пряжу – нитку з коротких волокон, з'єднаних шляхом скручування. Пряжа може бути однорідна (з одного виду волокна) або змішана (із суміші різних волокон). Пряжу використовують для безпосереднього армування КМ або зшивання її нитками в тканину або стрічки. Сітки й тканини одержують у результаті ткацької переробки безперервних волокон і металевих дротів. Напрямок і порядок взаємного розташування армуючих елементів визначають їх структуру й властивості.

Тверді волокна, наприклад, з вольфраму, молібдену, ніобію і їхніх сплавів орієнтують у матеріалі матриці у вигляді пакетів, аркушів, рулонів і т. п. Пакети (рис. 32.3, а) одержують шляхом пошарового укладання рифленої фольги 2 з матеріалу матриці, армуючих волокон 3 і волокон 4 з матеріалу матриці або будь-якого іншого матеріалу. Набрані в такий спосіб пакети певної висоти з'єднують смугами матеріалу матриці 1.

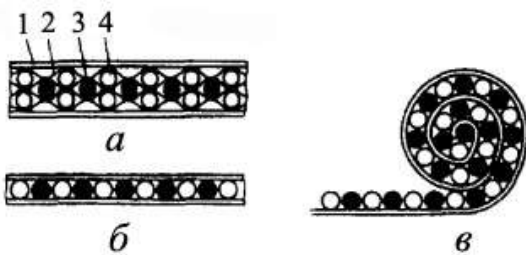


Рис. 32.3. Схеми отримання армованих пакетів (а), стрічок (б) і рулонів (в)

Армовані стрічки (рис. 32.3, б) одержують шляхом почергового укладання армуючих і матричних волокон між смугами.

В окремих випадках стрічки змотують у рулони (рис. 32.3, в). Щоб закріпити волокна на матричній смугі, на них шляхом плазмового напилювання наносять тонкий шар матеріалу матриці.

На підприємствах організують випуск напівфабрикатів у вигляді аркушів, труб, профілів і т. д., основою виробництва яких є препреги, що являють собою одношарові стрічки з одним рядом армуючих волокон або тканин, просочених або покритих матеріалом матриці з одного чи з двох боків. Використовують також просочені металом джгути волокон або індивідуальні волокна, вкриті матеріалом матриці.

Всі технологічні способи одержання препрегів, напівфабрикатів і виробів із МКМ умовно можна поділити на чотири основні групи: парогазофазові, рідиннофазові, твердорідиннофазові і твердофазові.

Парогазофазові способи застосовують для нанесення на волокна джгута, стрічки й тканин бар'єрних або технологічних покриттів.

Рідиннофазові способи використовують на всіх стадіях виробництва МКМ: протягування волокон, джгутів і тканин через розплав матеріалу матриці для пластифікування волокна і одержання відповідних препрегів; просочування пакетів препрегів матеріалом матриці на стадії одержання напівфабрикатів або готових виробів із МКМ; плазмові і деякі інші види газотермічного розпилювання металів для одержання стрічкових препрегів і напівфабрикатів, що піддаються наступному компактуванню методами обробки тиском.

Універсальним і найбільш освоєним промисловістю способом виготовлення МКМ є просочення. Цей спосіб має низку переваг над твердофазовими способами виготовлення МКМ: вищу продуктивність процесу; практичну відсутність силового впливу на компоненти; можливість створення автоматизованого безперервного процесу просочення.

Залежно від умов забезпечення змочуваності армуючого каркас-розплаву матеріалу матриці застосовують дві схеми просочення: мимовільне просочення й просочення під тиском.

Мимовільне просочення здійснюють шляхом заливання розплавленого матеріалу у форму з укладеним у ній каркасом з армуючих волокон.

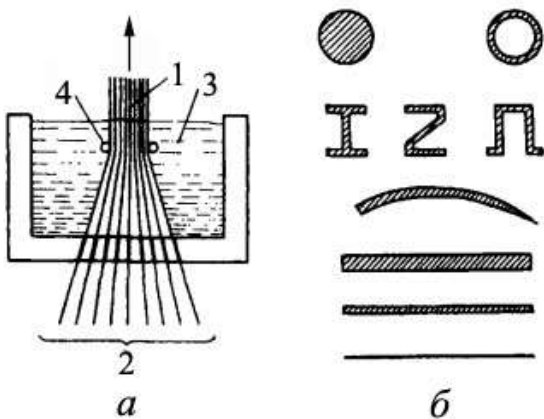


Рис. 32.4. Безперервне просочення: схема процесу (а); профілі напівфабрикатів, отриманих даним способом (б)

(1 – композитний пучок; 2 – окремі волокна; 3 – розплавлений метал; 4 – обмежувачі волокон)

Найбільш продуктивним є спосіб безперервного протягування армуючих каркасів через розплав матеріалу матриці. Переваги цього способу виробництва МКМ – безперервність, малий час контактування волокон з розплавом, малі працевтрати. Частіш за все використовують вертикальну схему просочення, за якої волокна, стрічки, препреги проходять через ванну з розплавом і на виході, за допомогою фільтри, одержують потрібну форму перетину напівфабрикату (рис. 32.4). Примусове просочення, звичайно, використовують за недостатньої змочуваності в системі матриця–волокно або з метою прискорення процесу

просочення для компонентів із задовільною і гарною змочуваністю.

Як приклад на рис. 32.5 показана схема вакуумного просочення МКМ. Заповнення пор розплавленим металом здійснюється за рахунок різниці між атмосферним тиском і тиском, створеним у порах при вакуумуванні.



Вертикальне розташування тигля забезпечує прискорення процесу просочення за рахунок додаткового тиску, створеного масою матеріалу.

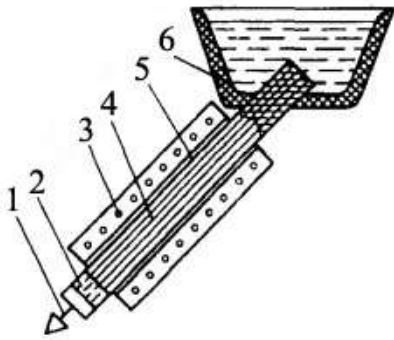


Рис. 32.5. Схема вакуумного просочення армуючого каркасу КМ: 1 – підвід до вакуумного насоса; 2 – пориста пробка; 3 – піч опору; 4 – волокна; 5 – форма; 6 – тигель з розплавленим матеріалом матриці

Твердорідиннофазні способи використовують для одержання напівфабрикатів і виробів із КМ методами гарячого пресування, волочіння й прокатування пакетів, препрегів. Необхідною умовою є нанесення матричного матеріалу на стрічки, препреги і тканини в такій кількості, щоб його виявилось достатньо у рідкій фазі для рівномірного просочення волоконного каркаса розплавом. Пресування здійснюється в інтервалі кристалізації сплаву матеріалу матриці.

Твердофазні способи використовують для компактування виробів з напівфабрикатів. Основним критерієм застосовності твердофазних способів є можливість пластичного деформування компонентів КМ за умови неруйнування арматури. Якщо арматурою є волокна або дроти зі значним запасом пластичності, то ущільнюють МКМ куванням, прокатуванням, імпульсним пресуванням та ін. Можливі також різні способи дифузійного зварювання.

З наведених технологічних способів одержання виробів із МКМ найбільш освоєні у промисловості просочування, безперервне лиття, прокатування.

Перешкодою до застосування МКМ у галузях промисловості з масовим виробництвом є їхня висока вартість.

### § 32.3. Технологічні основи виробництва деталей з порошкових КМ

**Способи одержання й технологічні властивості порошків.** Порошкова металургія – галузь технології, завданням якої є одержання порошків і виробів з них.

Конкурентна здатність порошкової металургії, порівняно із традиційними способами одержання заготовок литтям з металу, все більше проявляється внаслідок дії таких факторів:

- можливості одержання матеріалу зі спеціальними фізичними й експлуатаційними властивостями;
- застосування як сировини відходів основного виробництва (обрізків, стружки, окалини й т. ін.), а також одержання матеріалу з руди, минаючи стадію металургії;
- відсутності необхідності подальшої механічної обробки заготовок; отже, зниження собівартості їхнього виготовлення, економія матеріалу;
- сполучення процесів одержання необхідного матеріалу і готового виробу, високого рівня механізації й автоматизації технологічних операцій.

Технологічний процес зводиться до формування порошкових або волокнистих компонентів у заготовці, яку піддають термічній обробці – спіканню.

Промисловість випускає різні металеві порошки: залізний, мідний, нікелевий, хромовий, кобальтовий, вольфрамовий, молібденовий, титановий та ін. Способи одержання порошків умовно поділяють на механічні й фізико-хімічні.

Найбільш застосовуваним є спосіб механічного подрібнення вихідної сировини (стружки, обрізків й т. ін.). Подрібнювання виконують у механічних млинах. Помелом одержують порошки з легованих сплавів строго заданого хімічного складу і з крихких матеріалів (кремній, берилій і т. п.).

Застосовується технологія одержання порошків шляхом роздмухування рідкого металу струменем газу або рідини, частіш за все струменем води під певним тиском.

До фізико-хімічних способів відносять технологічні процеси, у яких одержання порошку пов'язане зі зміною хімічного складу вихідної сировини або його стану в результаті хімічного або фізичного впливу на вихідний продукт. Порошки тугоплавких металів, а також порошки сплавів і сполук на їхній основі можуть бути отримані тільки фізико-хімічними способами. Найбільш дешевими є порошки, одержувані методом відновлення руди і окалини. Майже половину всієї кількості порошку заліза одержують відновленням руди.

Фізичні властивості порошків характеризуються розміром і формою часток, мікротвердістю, густиною, станом кристалічної решітки, а також технологічними властивостями: насипною масою, плинністю, пресуемістю і спікаемістю порошку.

**Н а с и п н а м а с а** – маса одиниці об'єму вільно насипаного порошку. Стабільність насипної маси забезпечує постійну усадку при спіканні. Вона залежить, головним чином, від форми й розмірів часток.

**П л и н н і с т ь** – здатність порошку заповнювати форму. Плинність погіршується зі зменшенням розмірів часток порошку і підвищенням вологості. Оцінкою плинності є кількість порошку, що витікає за секунду через отвір діаметром 1,5...4 мм. Низька плинність сприяє одержанню неоднорідних за густиною деталей.

**П р е с у е м і с т ь** характеризується здатністю порошку згущуватися під дією зовнішнього навантаження і міцністю зчеплення часток після пресування. Пресуемість порошку залежить від пластичності матеріалу часток, їхніх розмірів і форми й підвищується із введенням у нього поверхнево-активних речовин.

**П і д с п і к а є м і с т ю** розуміють міцність зчеплення часток у результаті термічної обробки пресованих заготовок.

**Коротка характеристика порошкових матеріалів.** Порошкова металургія дозволяє одержати різні конструкційні матеріали зі спеціальними фізико-механічними й експлуатаційними властивостями (табл. 32.1).

## Класифікація порошкових КМ

Група матеріалів	Вид виробів	Склад матеріалу
Електротехнічні	магніти	порошки із чистого заліза, сплавів, оксидів і т. п.
	електроконтакти	суміш тугоплавких металів (вольфраму, молібдену й ін.) з міддю або сріблом
	електрощітки	композиції графіту з міддю або сріблом.
Пористі	фільтри	порошки із бронзи, заліза, титану, ніхрому, корозійностійкої сталі і т. п.; матеріали виготовляють із порошоків з частками переважно сферичної форми з пористістю до 50 %
	матеріали, що "потіють"	матеріали з пористістю до 30...40 % з корозійностійкої сталі ніхрому й ін.
Фрикційні і антифрикційні	підшипники ковзання	композиції на основі мідного або залізного порошку з пористістю до 10...35 %, просочені парафіном, маслом або пластмасою
	гальмові накладки та накладки муфт зчеплення	композиції на основі залізного або мідного порошку з різними легуючими домішками (свинець, нікель і ін.) та неметалічними компонентами (азбест, кварц, графіт і т. ін.)
Інструментальні	пластинки із твердих сплавів	композиції на основі карбідів тугоплавких металів (вольфраму, титану, танталу); як сполучний матеріал використовують кобальт

Закінчення табл. 32.1

	пластинки з надтвердих матеріалів	композиції на основі зерен алмаза, ельбору, гексаніту; сполучним матеріалом є більш м'який метал
	мінералокерамічні пластинки	композиції на основі оксиду алюмінію з незначною кількістю домішок
Компактні конструкційні	різні деталі машин і приладів	порошки з різних легованих і вуглецевих сталей, кольорових металів та їхніх сплавів з пористістю не більше 1,0...2,0 %
Термостійкі	жароміцні деталі, різні вироби	композиції на основі карбідів, боридів, нітридів тугоплавких металів із чистими тугоплавкими металами
	тугоплавкі деталі різні вироби	композиції на основі вольфраму, молібдену, танталу, ніобію, їхніх карбідів і інших тугоплавких металів та сплавів
Спеціальні	деталі вакуумної апаратури	композиції на основі заліза й тугоплавких металів
	напівпровідники	композиції на основі германія, бору й ін.

**Готування суміші й формоутворення заготовок.** Процес готування суміші включає попереднє відпалювання, сортування порошку за розмірами часток і змішування.

Попереднє відпалювання порошку сприяє відновленню оксидів і знімає наклеп, що виникає при механічному подрібнюванні вихідного матеріалу. Відпалювання проводять при температурі, що дорівнює 0,5...0,6 температури плавлення в захисній або відновлювальній атмосфері.

Порошки з розмірами часток 50 мкм і більше розділяють по групах розсіювання на ситах, а дрібніші порошки – повітряною сепарацією. У металеві порошки вводять технологічні присадки різного призначення: пластифікатори (парафін, стеарин, олеїнову кислоту та ін.), що полегшують процес пресування; легкоплавкі матеріали, що поліпшують процес спікання; леткі речовини для

одержання деталей із заданою пористістю. Підготовлені порошки змішують у кульових, барабанних млинах та інших пристроях, у більшості випадків автоматизованих.

Заготовки з металевих порошків формують пресуванням (холодним, гарячим), ізостатичним формуванням, прокатуванням й ін.

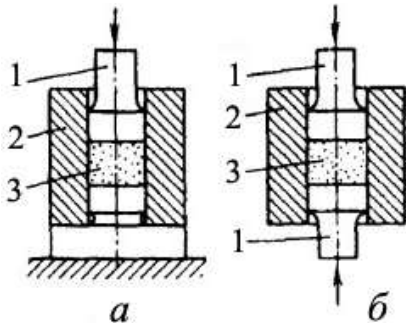


Рис. 32.6. Схеми холодного пресування порошкових виробів:

*а* – одностороннього;  
*б* – двостороннього

При холодному пресуванні у прес-форму 2 (рис. 32.6) засипають певну кількість приготовленого порошку 3 і пресують пуансоном 1.

Одностороннім пресуванням (рис. 32.6, *а*) одержують заготовки простої форми з відношенням висоти до діаметра менше одиниці і заготовки типу втулок з відношенням зовнішнього діаметра до товщини стінки менше трьох.

Двостороннє пресування (рис. 32.6, *б*) застосовують для формування заготовок складної форми. У цьому випадку необхідний тиск для одержання рівномірної густини знижується на 30...40 %. Використання вібраційного пресування дозволяє в десятки разів зменшити прикладений тиск.

У процесі пресування частки порошку піддаються пружній й пластичній деформаціям, у результаті чого у заготовці накопичуються значні напруження. Після виймання заготовки із прес-форми розміри її збільшуються внаслідок пружної післядії.

При гарячому пресуванні технологічно суміщуються процеси формування й спікання заготовки. Температура гарячого пресування становить звичайно 0,6...0,8 температури плавлення порошку для однокомпонентної системи або нижче температури плавлення матричного матеріалу композиції, до складу якої входять кілька компонентів. Завдяки нагріванню процес згущення триває інтенсивніше, ніж при звичайному пресуванні. Це дозволяє значно зменшити необхідний тиск пресування.

Основна складність гарячого пресування полягає у виборі матеріалу прес-форми, що повинен мати достатню міцність при температурах пресування, не реагувати з порошком, який пресується, бути дешевим. При температурах пресування 500...600 °С застосовують прес-форми з жароміцних сталей на основі нікелю, при температурах 800...900 °С – з твердих сплавів, при температурах 2500...2600 °С – з графіту. Однак низька продуктивність процесу, мала стійкість прес-форм (10...12 пресувань) обмежують застосування гарячого пресування.

Ізостатичне (всебічне) формування застосовують для одержання заготовок з композицій з порошковими і волокнистими наповнювачами. Відсутність втрат на зовнішнє тертя й рівномірність тиску з усіх боків дають можливість одержувати необхідну густину заготовок при тиску, значно меншому, ніж при пресуванні в закритих прес-формах.

У наш час застосовують три основних види ізостатичного формування.

1. Гідростатичне формування (рис. 32.7), при якому порошок 3 у замкнутій еластичній оболонці 2 передається тиск за допомогою рідини, що знаходиться у посудині 1 високого тиску. Як робочу рідину використовують масло, гліцерин, воду й т. ін.

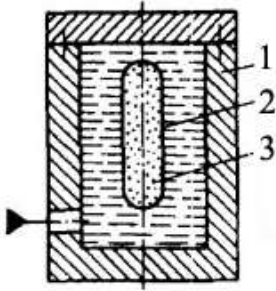


Рис. 32.7. Схема гідростатичного формування

2. Формування за допомогою товстостінної еластичної оболонки (з парафіну, воску або гуми), вставленої в сталеву прес-форму, з метою одержання великогабаритних заготовок типу труб. Оболонка в цьому випадку ізолює порошок від стінок інструмента і слугує середовищем, що передає тиск виробу, який пресують. Як матеріал для оболонок використовують парафін, віск, гуму.

гуму.

3. Гаряче формування, що дозволяє технологічно сполучити процеси формоутворення й спікання. Як середовище, що передає тиск, застосовують інертний газ, розплавлений метал або скло. Заготовку, що пресують, поміщають в еластичну металеву оболонку.

Прокатування – один з найбільш продуктивних і перспективних способів переробки порошкових матеріалів. Особливостями цього процесу є висока ступінь автоматизації і його безперервність. При виготовленні виробу з одного порошку 2 (рис. 32.8, а), він безупинно надходить із бункера 1 у зазор між валками 3. При обертанні валків відбуваються обтиснення і витягування

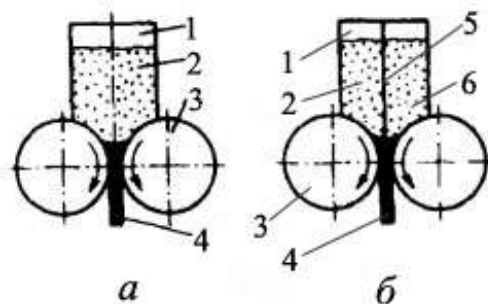


Рис. 32.8. Схеми операції прокатування порошків:

1 – бункер; 2 – порошок (перший компонент); 3 – валки; 4 – готовий виріб; 5 – перегородка;  
6 – порошок (другий компонент)

порошку у стрічку або смугу 4 певної товщини. Процес прокатування може бути суміщений зі спіканням і остаточною обробкою одержуваних заготовок. У цьому випадку стрічка проходить через піч для спікання, а потім знову піддається прокатуванню для одержання листів заданих розмірів. Кількість обтиснень, необхідна для одержання безпористої стрічки, залежить від пластичності композиції й режимів прокатування.

Технологічно можна одержувати стрічку з різних матеріалів (пористих, фрикційних, твёрдосплавних та ін.). Застосовуючи бункер 1 з перегородкою 5 (рис. 32.8, б), виготовляють двошарові стрічки з різних матеріалів – порошків 2 і 6.

Прокатуванням одержують стрічки товщиною 0,02...3,0 мм і шириною до 300 мм. Застосування валків певної форми дозволяє одержувати також прутки різного профілю, у тому числі й дріт діаметром від 0,25 мм до декількох міліметрів.

Способом видавлювання виготовляють прутки, труби і профілі різного перетину. Сутність процесу одержання заготовок полягає у видавлюванні порошку через калібрований отвір прес-форми. У порошок додають пластифікатор у кількості 10...12 % від маси порошку, що поліпшує

процес з'єднання часток і зменшує тертя порошку об стінки прес-форми. Профіль виготовленого виробу залежить від форми каліброваного отвору прес-форми. Порожні профілі одержують із застосуванням розсікача. Для цього використовують механічні й гідравлічні преси.

**Спикання і остаточна обробка заготовок.** Спикання проводять для підвищення міцності попередньо отриманих пресуванням або прокатуванням заготовок за рахунок збільшення контактів між окремими частками порошку.

При спиканні змінюються лінійні розміри заготовки (здебільшого спостерігається усадка) і фізико-механічні властивості матеріалів. Температура спикання, звичайно, становить 0,6...0,9 температури плавлення порошку для однокомпонентної системи або нижче температури плавлення матеріалу матриці для композицій, до складу яких входять кілька компонентів. Час витримання після досягнення температури спикання по всьому перетину становить 30...90 хв. Для спикання використовують електропечі опору або печі з індукційним нагрівом.

Іноді спечені заготовки піддають повторному пресуванню й спиканню, що дозволяє одержувати деталі з більш високою густиною для покращення фізико-механічних властивостей. У виробничих умовах зазвичай обмежуються дворазовими пресуванням і спиканням.

Спечені матеріали можна піддавати куванню, прокатуванню, штампуванню при підвищених температурах. Обробка тиском дозволяє знизити пористість матеріалів і підвищити їхню пластичність.

Основними видами термічної обробки, якій піддають порошкові КМ, є відпал і гартування. Операцію відпалу використовують для підвищення технологічних властивостей у виробництві деталей з тугоплавких металів. Відпал знижує міцнісні характеристики й у кілька разів підвищує пластичність матеріалу, що полегшує подальшу обробку тиском (кування, протягування, прокатування й т. ін.). Гартуванню піддають з метою підвищення твердості матеріалів.

Для надання спеченим заготовкам необхідних розмірів і форми виконують операції калібрування, протягування, штампування й обробку різанням.

Калібрування дозволяє одержувати деталі високої точності. Цю операцію виконують у спеціальних прес-формах або пристроях.

Великий ступінь деформації при калібруванні може значно підвищити міцність і знизити пластичність деталей. Тому після калібрування застосовують додаткове спикання або відпалювання.

На рис. 32.9 наведена схема операцій послідовного калібрування підшипників ковзання на автоматичному пресі.

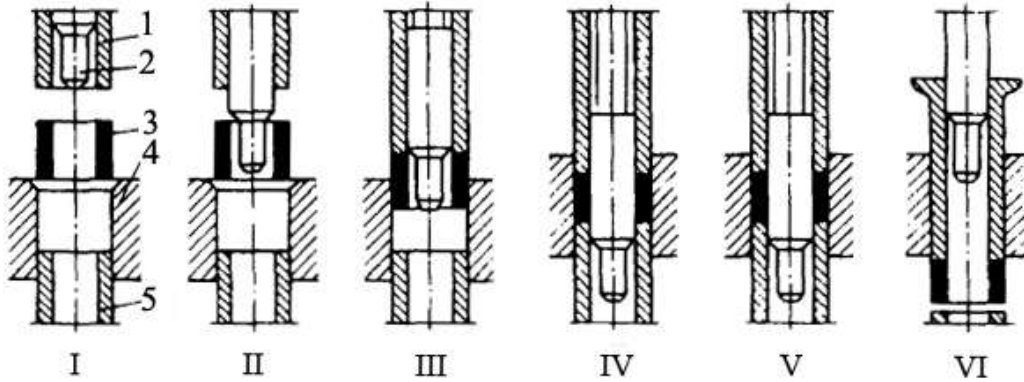


Рис. 32.9. Схема калібрування підшипників ковзання

Спеціальний захоплювач установлює підшипник 3 над отвором калібрувальної матриці 4 (положення I). Потім напрямна частина центрального стержня 2 входить у внутрішню частину підшипника (положення II) і верхній пуансон 1 вдавлює підшипник у матрицю 4 (положення III). Після цього центральний стержень просувається вниз, і його калібрувальна частина проходить через підшипник (положення IV). Таким чином здійснюється калібрування внутрішнього і зовнішнього діаметрів. Для забезпечення калібрування по висоті нижній 5 і верхній 1 пуансони продовжують рух назустріч один одному до заданої межі (положення V). Потім нижній пуансон відводиться вниз, а центральний стержень вгору, і верхній пуансон при подальшому своєму ході проштовхує підшипник матриці вниз (положення VI), після цього цикл повторюється.

#### § 32.4. Виготовлення деталей з полімерних КМ

**Класифікація та технологічні властивості пластмас.** Пластичними масами (п л а с т м а с а м и) називають матеріали, основою яких є природні або синтетичні високомолекулярні сполуки. Вони складаються з великого числа низькомолекулярних сполук (мономерів), зв'язаних між собою силами головних валентних зв'язків. Сполуки, великі молекули (макромолекули) яких складаються з однакових структурних ланок, називають п о л і м е р а м и.

Полімери, залежно від розташування й взаємозв'язку макромолекул, можуть перебувати в аморфному (з неупорядкованим розташуванням молекул) або кристалічному (з упорядкованим розташуванням молекул) станах. При переході полімерів з аморфного стану в кристалічний підвищуються їхні міцність і теплостійкість. Значно впливає на полімери температура. Залежно від результату дії на них підвищених температур полімери поділяють на термопластичні (термопласти) і термореактивні (реактопласти).

Термопласти при нагріванні розм'якшуються і розплавляються, а при охолодженні знову відновлюють свої властивості. Перехід термопластів з одного фізичного стану в інший може здійснюватися неодноразово без зміни хімічного складу.

Реактопласти при нагріванні в результаті хімічних реакцій (затвердіння) переходять у необоротний стан. Тверді реактопласти не можна повторним нагріванням перевести у в'язкотекучий стан. Окремі види

термореактивних смол (епоксидні, поліефірні) полімеризуються після введення в них отверджувача при нормальній температурі.

Результат дії теплоти на термопласти і реактопласти має вирішальне значення для технологічного процесу переробки пластмас.

Залежно від числа компонентів всі пластмаси розділяють на прості і композиційні. Прості (поліетилен, полістирол і т. д.) складаються з одного компонента – синтетичної смоли, композиційні (фенопласти, амінопласти й ін.) – з декількох складових, кожна з яких виконує певну функцію. У композиційних пластмасах смола є зв'язувальним для інших складових. Властивості смоли багато в чому визначають фізико-механічні й технологічні властивості ПКМ. Більшість смол добре змочують поверхню наповнювача. Вміст зв'язувальної смоли в пластмасах досягає 30...70 %.

До складу композиційних пластмас також входять інші компоненти:

- різні наповнювачі для підвищення механічної міцності, теплостійкості, зменшення усадки й зниження вартості композиції; органічні наповнювачі – деревне борошно, бавовняні пачоси, целюлоза, бавовняна тканина, папір й ін.; неорганічні – графіт, азбест, кварц, склотканина й ін.;

- пластифікатори (касторове масло й ін.), що збільшують еластичність, плинність, гнучкість і зменшують крихкість пластмас;

- мастильні речовини (стеарин, олеїнова кислота й ін.), що збільшують плинність, зменшують тертя між частками композиції, усувають прилипання до формотворних поверхонь прес-форм;

- каталізатори (вапно, магnezія й ін.), що прискорюють процес твердіння матеріалу;

- барвники (сурик, нігрозин і ін.), що надають потрібний колір виготовленим деталям.

При виготовленні газонаповнених пластмас (поро- і пінопластів) у полімери вводять газоутворювачі – речовини, які при нагріванні розкладаються з виділенням газоподібних продуктів.

Конструкційні пластмаси залежно від показників механічної міцності поділяють на три основні групи: низької, середньої і високої міцності.

Основними технологічними властивостями пластмас є плинність, усадка, швидкість твердіння (реактопласти) і термостабільність (термопласти).

Плинність залежить від виду і змісту в матеріалі компонентів, а також від конструктивних особливостей прес-форми.

Під усадкою розуміють зменшення розмірів деталі порівняно з розміром порожнини прес-форми. Величина усадки залежить від фізико-хімічних властивостей зв'язувальної смоли, кількості й виду наповнювача, змісту в ньому вологи і летких речовин, температурного режиму переробки й інших факторів.

Тривалість процесу переходу реактопластів із в'язкотекучого стану в стан повної полімеризації визначається швидкістю твердіння, що залежить від властивостей термореактивної смоли і температури переробки. Низька швидкість твердіння знижує продуктивність процесу, а підвищена швидкість



може спричинити передчасну полімеризацію матеріалу, у результаті чого не весь об'єм формуючої порожнини буде заповнений.

Під термостабільністю розуміють час, протягом якого термопласт витримує певну температуру без розкладання. Високу термостабільність мають поліетилен, поліпропілен, полістирол і ін. Переробка їх у деталі порівняно проста. Для матеріалів з низкою термостабільністю (поліформальдегід, полівінілхлорид і ін.) необхідно передбачати заходи, що запобігають можливості розкладання їх у процесі переробки.

Всі способи переробки пластмас у деталі поділяють на такі: переробка у в'язкотекучому стані (пресуванням, литтям під тиском, видавлюванням); переробка у високоеластичному стані (пневмо- і вакуум-формуванням, штампуванням); одержання деталей з рідких пластмас; переробка у твердому стані розділовим штампуванням і обробкою різанням; одержання нероз'ємних з'єднань зварюванням, склеюванням; спікання, напилювання й ін.

**Способи формоутворення деталей у в'язкотекучому стані.** Більшість пластмас переробляють у деталі у в'язкотекучому стані способами пресування, лиття, видавлювання.

Пряме пресування – один з основних способів переробки реактопластів у деталі. У порожнину матриці прес-форми 3 (див. рис. 32.10, а) завантажують попередньо таблетований або порошкоподібний матеріал 2. При закриванні прес-форми пуансон 1 створює тиск на матеріал, що пресується (див. рис. 32.10, б). Під дією цього тиску і теплоти від нагрітої прес-форми матеріал розм'якшується і заповнює формотворну порожнину.

Після певної витримки, необхідної для твердіння матеріалу, прес-форма розкривається й за допомогою виштовхувача 5 з неї виймають готову деталь 4 (рис. 32.10, в).

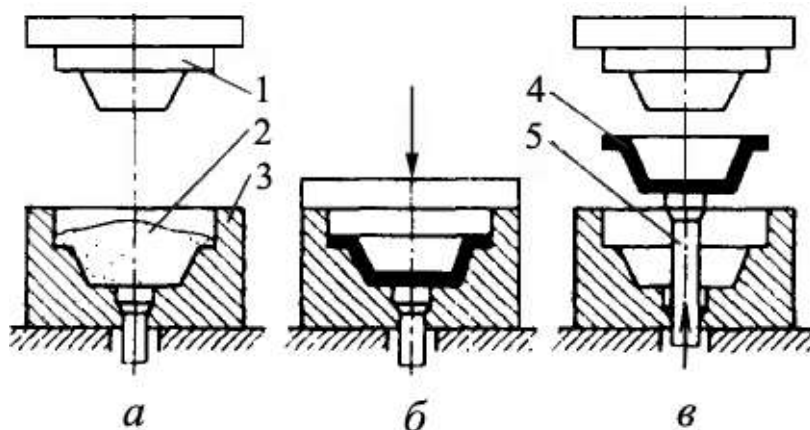


Рис. 32.10. Схема прямого пресування ПКМ

Для видалення газів у процесі пресування виконують так зване підпресування, що полягає в перемиканні гідропреса після певної витримки на зворотний хід, у підйомі пуансона на 5...10 мм і витримці його в такому положенні протягом 2...3 с. Після цього прес-форма знову закривається.

Температура і тиск пресування залежать від виду матеріалу, що переробляється, форми й розмірів виготовлюваної деталі. Час витримки під

пресом залежить від швидкості твердіння і товщини деталі, що пресується. Для більшості реактопластів час витримки вибирають із розрахунку  $0,5 \dots 2$  хв на 1 мм товщини стінки. Технологічний час може бути скорочено внаслідок попереднього підігріву матеріалу в спеціальних шафах. Тиск залежить від плинності прес-матеріалу, швидкості твердіння, товщини деталей, що пресують, та інших факторів.

Нагрівання прес-форми здійснюють, звичайно, електронагрівником, з автоматичним регулюванням температури. Для завантаження в порожнину прес-форми певної кількості прес-матеріалу використовують об'ємне дозування, дозування за масою, поштучне дозування (завантажують певне число таблеток). Пресують на гідравлічних пресах у ручному або у автоматичному циклах.

Прямим пресуванням одержують деталі середньої складності і невеликих розмірів з термореактивних композиційних матеріалів з порошкоподібним і волокнистим наповнювачами.

Литтєве пресування відрізняється від прямого тим, що матеріал завантажують не в порожнину форми, а в спеціальну завантажувальну камеру 2 (див. рис. 32.11).

Під дією теплоти від прес-форми матеріал, що пресується, переходить у в'язко-текучий стан і під тиском пуансона 1 вижимается із завантажувальної камери 2 у порожнину матриці прес-форми через спеціальний отвір у ливниковій плиті 3. Після твердіння матеріалу прес-форму роз'єднують і готові деталі 4 видаляють з матриці 5.

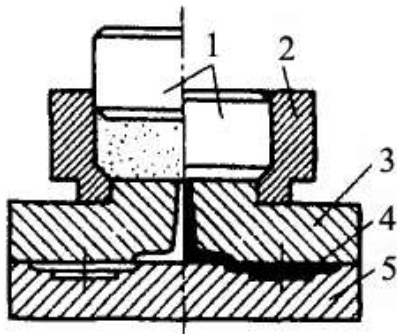


Рис. 32.11. Схема литтєвого пресування полімерних композиційних матеріалів

Литтєве пресування дозволяє одержувати деталі складної форми, з глибокими отворами та рівномірною структурою. Крім того, відпадає необхідність у підпресуванні через те, що гази виходять в зазор між ливниковою плитою і матрицею. Недоліками такого пресування є підвищена витрата прес-матеріалу, тому що в завантажувальній камері й ливникових каналах залишається частина затверділого і невикористаного прес-матеріалу, а також підвищені складність і вартість прес-форми.

Формотворні деталі прес-форм виготовляють із високолегованих або інструментальних сталей з подальшим гартуванням до високої твердості.

Лиття під тиском – високопродуктивний і ефективний спосіб масового виробництва деталей з термопластів. Матеріал, що переробляється, із завантажувального бункера 8 (рис. 32.12) подається дозатором 9 у робочий циліндр 6 з електронагрівником 4. При русі поршня 7 певна доза матеріалу надходить у зону обігріву, а вже розплавлений матеріал через сопло 3 і ливниковий канал – у порожнину прес-форми 1, у якій формується виготовлювана деталь 2.

У робочому (нагрівальному) циліндрі на шляху потоку розплаву встановлений розсікач 5, що змушує розплав текти тонким шаром біля стінок циліндра. Це прискорює прогрівання і забезпечує рівномірну температуру розплаву. При русі поршня у вихідне положення за допомогою дозатора 9 чергова порція матеріалу подається в робочий циліндр. Для запобігання перегріву вище 50...70 °С прес-форма охолоджується проточною водою. Після охолодження матеріалу прес-форму роз'єднують і готову деталь видаляють з неї.

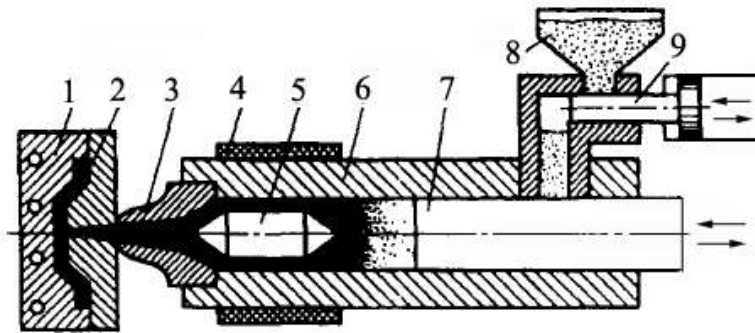


Рис. 32.12. Схема виготовлення деталей з ПКМ методом лиття під тиском

Литтям під тиском одержують деталі складної конфігурації з різними товщинами стінок, з ребрами жорсткості, різьбою й т. д. Продуктивність процесу лиття в 20...40 разів вище продуктивності пресування, тому лиття під тиском використовується значно частіше, ніж інші способи формоутворення деталей з ПКМ.

Відцентрове лиття застосовують для одержання великогабаритних і товстостінних деталей з термопластів (кільця, шків, зубчасті колеса й т. п.). Відцентрові сили щільно притискають залитий матеріал до внутрішньої поверхні форми. Після охолодження готову деталь витягають із форми й заливають нову порцію розплавленого матеріалу.

Видавлювання (екструзія) відрізняється безперервністю, високою продуктивністю процесу і можливістю одержання на одному й тому встаткуванні великого різноманіття деталей. Видавлювання здійснюють на спеціальних черв'ячних машинах-автоматах. Матеріал, що переробляється, у вигляді порошку або гранул з бункера 1 (рис. 32.13, а) потрапляє в робочий циліндр 3, де захоплюється обертовим черв'яком 2.

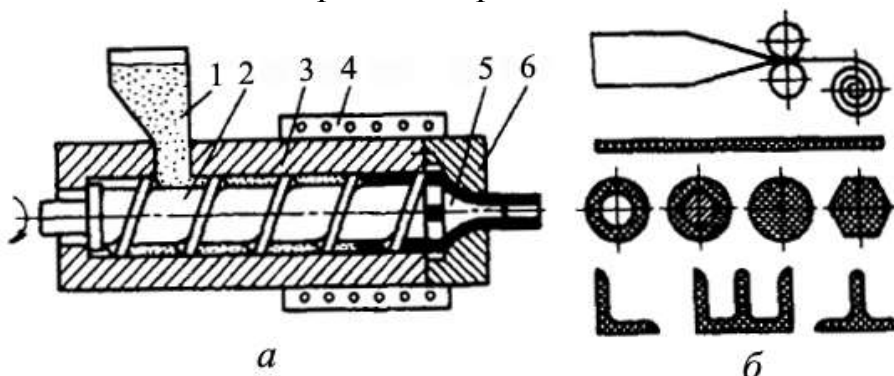


Рис. 32.13. Виготовлення деталей з ПКМ методом екструзії (а) та їх профілі (б)

Черв'як просуває матеріал, перемішує й згущує його. У результаті передавання теплоти від нагрівального елемента 4 і виділення теплоти при терті часток матеріалу між собою й по стінках циліндра матеріал переходить у в'язкотекучий стан і безупинно видавлюється через калібрований отвір головки 6. Розплавлений матеріал проходить через радіальні канавки оправки 5. Оправки застосовують для одержання отвору при видавлюванні труб. Безперервним видавлюванням можна виготовляти деталі різного профілю (рис. 32.13, б).

У виробництві плівок з термопластів (поліетилену, поліпропілену й ін.) використовують метод роздування. Розплавлений матеріал продавлюють через кільцеву щілину насадної головки й одержують заготовку у вигляді труби, що стисненим повітрям роздувають до необхідного діаметра. Після охолодження плівку подають на намотувальний пристрій й змотують у рулон.

При виробництві листового матеріалу використовують щілинні головки шириною до 1600 мм. Полотно, що виходить із щілинного отвору, проходить через валки гладильного і тягового пристроїв. Тут відбувається попереднє охолодження листа, а на роликівих конвеєрах – остаточне охолодження. Готову продукцію змотують у рулони або розрізають на аркуші певних розмірів за допомогою спеціальних ножиць.

Листи й плити з термореактивних композиційних матеріалів пресують пакетами на пресах. Заготовки матеріалу (з бавовняної тканини, склотканини й т. д.) просочують смолою й укладають між гарячими плитами преса. Число покладених шарів тканини визначає товщину аркушів і плит. Розміри деталей, що пресують, обмежуються потужністю гідравлічного преса. Труби, прутки круглого й фасонного перерізів одержують пресуванням реактопластів через калібрований отвір прес-форми. Процес пресування характеризується низькою продуктивністю і технологічними складностями.

**Способи формування деталей з термопластів у високоеластичному стані.** Для одержання багатьох крупногабаритних деталей найбільш доцільним є перероблення листових термопластичних матеріалів. Технологічний процес одержання деталей заснований на використанні властивостей термопластів, нагрітих до високоеластичного стану. Основними технологічними способами є пневматичне формування, вакуумне формування й штампування.

При пневматичному і вакуумному формуваннях (рис. 32.14) попередньо розігріту й затиснуту в рамку 2 заготовку 3 щільно притискають до матриці 4 верхньою камерою 1 і формують за допомогою стисненого повітря (пневмоформування) або під тиском атмосферного повітря (вакуумне формування).

Після охолодження готову деталь стисненим повітрям видаляють із матриці. При пневмо- і вакуумному формуваннях матрицю попередньо підігрівають до 40...60 °С.

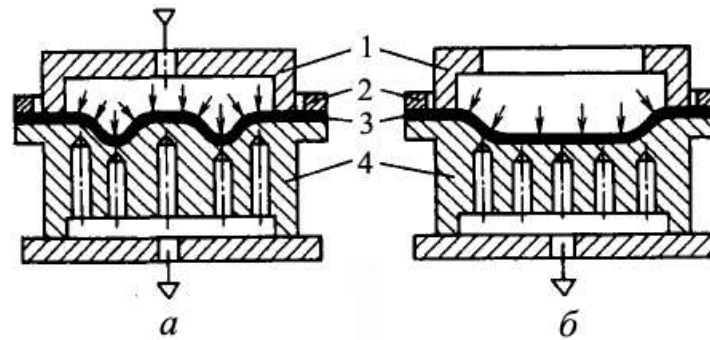


Рис. 32.14. Схема пневматичного (а) і вакуумного (б) формування ПКМ

Листові матеріали нагрівають, головним чином, в електричних нагрівальних шафах, оснащених контролюючими і автоматично регулюючими приладами. Необхідною умовою є рівномірне нагрівання листових заготовок. У іншому випадку на різних ділянках матеріалу буде неоднакова пластичність, що спричинить брак при формуванні: розриви, тріщини, жолоблення й т. д. Для рівномірного нагрівання шафи оснащують вентилятором для перемішування повітря. Температура нагрівання залежить від виду матеріалу, що переробляється.

Особливістю вакуумного формування є простота установки і обслуговування. Однак невеликий перепад тиску перешкоджає застосуванню цього способу для одержання товстостінних (більше 2,5 мм) і складних конфігурацій деталей, а також деталей із твердих термопластів.

Пневматичне формування дозволяє одержувати деталі складних просторових конфігурацій і різних товщин залежно від тиску подаваного повітря. Для запобігання швидкому й нерівномірному охолодженню, можливого виникненню внутрішніх напружень формують підігрітим до 50...70 °С стиснутим повітрям.

Штампуванням одержують, головним чином, деталі незамкнутої просторової форми (козирки, обтічники скла кабін і т. д.). Термопластичний листовий матеріал, розігрітий до певної температури, формують за допомогою пуансона й матриці. При штампуванні змінюються форма й розміри листових заготовок за рахунок переміщення і перерозподілу об'єму матеріалу.

Штампують на звичайних гідравлічних або механічних пресах. Пуансони й матриці виготовляють із деревини й інших неметалічних матеріалів – для виробництва невеликого числа деталей, і з металів – при масовому виробництві.

Залежно від матеріалу, з якого виготовляють пуансони, розрізняють два основних види штампування: жорстким і еластичним пуансонами.

Схема штампування жорстким пуансоном показана на рис. 32.15, а.

Зазор між пуансоном 1 і матрицею 3 дорівнює товщині матеріалу 2, що штампується, з допуском  $\pm 10\%$ . Необхідне взаємне розташування пуансона і матриці забезпечується напрямними. У пуансоні і матриці роблять отвори для виходу повітря.

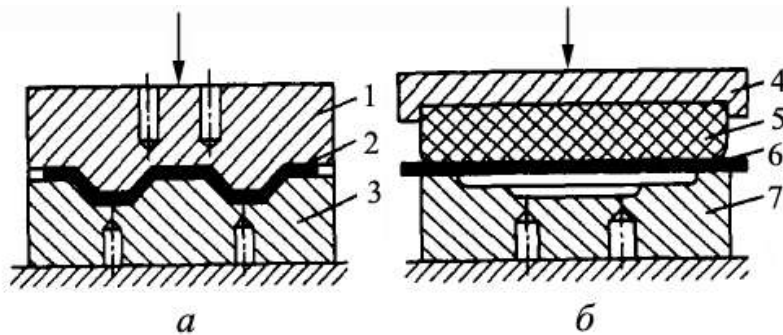


Рис. 32.15. Схеми штампування виробів з ПКМ жорстким (а) і еластичним (б) пуансонами

Штампуванням еластичним пуансоном одержують деталі з листових термопластів, що мають невеликі поглиблення і чіткий рисунок. Попередньо розігріту заготовку 6 поміщують на форму 7 (рис. 32.15, б). Плоский гумовий пуансон 5, вмонтований в обойму 4, опускають на заготовку і до нього прикладають тиск. Штамнують на гідравлічних або гвинтових пресах.

При штампуванні, як і при інших видах формоутворення матеріалів у високоеластичному стані, якість одержуваних деталей залежить від точного дотримання технологічного процесу.

**Одержання деталей з композиційних пластиків.** З погляду на технологію для цього зручно використати окремі пластмаси у рідкому стані при нормальній температурі. Насамперед, це стосується виробництва великогабаритних деталей з композиційних пластиків. Останні складаються зі зв'язувальної смоли, наповнювача і у деяких випадках – з отверджувача й прискорювача твердіння. Частіш за все використовують поліефірні та епоксидні смоли. Вони характеризуються високою адгезією до наповнювача і здатністю твердіння при нормальній температурі за рахунок додавання до них отверджувачів і прискорювачів твердіння.

Висока міцність композиційних пластиків залежить від застосовуваних наповнювачів (склотканини й скловолокна, бавовняної тканини й волокна, металевої сітки й дроту, волокна вуглецю й бору, ниткоподібних кристалів й т. ін.). Тип наповнювача залежить від необхідних властивостей створюваного матеріалу. В окремих випадках до складу пластику вводять пластифікатори й барвники.

У останні роки широко застосовують вуглепластики. Вони характеризуються низькою густиною, високими міцнісними характеристиками і здатністю витримувати високі температури. Для одержання особливо термостійких КМ як зв'язувальну смолу використовують вуглецевмісні термореактивні фенольні і фурфуролові смоли, пеки з кам'яновугільної смоли або нафти. Армуючими матеріалами є вуглецеві волокна, нитки, джгути й тканини. Після попереднього формоутворення заготовка піддається високотемпературній обробці (карбонізації). У процесі карбонізації відбувається термодеструкція зв'язувальної смоли, що супроводжується видаленням парких смолистих сполук, газоподібних продуктів і утворенням

твердого коксу з високим вмістом вуглецю. За такою схемою одержують вуглець-вуглецеві КМ. Ці матеріали є найбільш перспективними для виготовлення виробів, що працюють при високих температурах.

Основними способами виготовлення деталей з композиційних пластиків є контактне формування, автоклавне формування, стірометод, вихрове напилювання, відцентрове формування, намотування й ін.

Контактним формуванням виготовляють великогабаритні деталі з наповнювачами зі склотканин, скломатів і т. ін. Застосовують форми з деревини, гіпсу й легких сплавів. Форма повинна точно відтворювати зовнішній або внутрішній контур деталі.

Перед формуванням на робочі поверхні форми наносять роздільний шар (полівініловий спирт, нітролаки, целофанову плівку й ін.), що запобігає прилипанню смоли до поверхні форми. На роздільний шар наносять шар смоли, потім шар попередньо розкритої тканини, що ретельно накатують гумовим роликком на поверхню форми. Цим досягаються щільне прилягання тканини до поверхні форми, видалення пухирців повітря і рівномірне просочування тканини смолою. Потім знову наносять смолу, тканину і т. д. до одержання заданої товщини. Твердіння відбувається при нормальній температурі протягом 5...50 год залежно від виду смоли. Час твердіння скорочують збільшенням температури до 60...120 °С. Після твердіння готову деталь витягають із форми і, якщо буде потреба, піддають подальшій обробці (обрізування крайок, фарбування й т. д.).

Особливості контактного формування – простота оснащення і можливість одержання деталей будь-яких розмірів і форм. Однак цей метод низькопродуктивний, якість одержуваних деталей недостатньо висока через нерівномірне укладання наповнювача і смоли. Тому контактне формування застосовують у дослідному й одиничному виробництвах.

Автоклавне формування застосовують для випуску деталей більшими серіями. Форму з деталлю накривають гумовим чохлам і поміщають у герметичний резервуар (автоклав). За допомогою пари або води в автоклаві створюють певний тиск.

Стірометодом виготовляють великогабаритні деталі з композиційних пластиків із замкнутим порожнім профілем (порожні рами, диски, кронштейни й т. д.). На тонкостінний полівінілхлоридний чохлам, розміри якого відповідають розмірам деталі, намотують волокно. Заготовку укладають у розігріту до температури 100...120 °С прес-форму. Під дією тиску повітря, розігрітого всередині шланга, заготовка розтягується до розмірів порожнини прес-форми. У простір між чохлам і прес-формою за рахунок створення вакууму засмоктується смола.

Вихровим напилюванням виготовляють великогабаритні деталі зі склопластиків (кузова легкових і вантажних автомобілів, корпусу човнів, ємності й ін.). Скловолокно і смолу з отверджувачем і прискорювачем твердіння наносять на форму спеціальним пульверизатором. Смола змочує скловолокно у вихровому потоці, утвореному стисненим повітрям. Скловолокно зі смолою, нанесені на форму, вручну ущільнюють роликком.

Відцентровим формуванням одержують деталі великих розмірів, що мають форму тіл обертання, товщина яких 2...15 мм, діаметр до одного і висота до трьох метрів.

Скловолокну й смолу рівномірно подають в обертову форму. Після формування у форму поміщають гумовий мішок, за допомогою якого створюється тиск на заготовку. У такому стані відбувається твердіння композиції при певній температурі.

Намотуванням одержують труби і складні за формою оболонки з композиційних пластиків. Основним елементом технологічного оснащення є металева оправка, на яку перед намотуванням укладають плівку, що полегшує зняття виробу. При намотуванні оправка робить обертальні і зворотно-поступальні рухи. Волокно або тканинну змочують смолою. Відформовану заготовку покривають захисною целофановою плівкою і відправляють у камеру для твердіння.

Основний недолік виготовлення великогабаритних деталей із пластиків – невисока продуктивність праці.

### **Запитання і завдання для самоконтролю**

1. Дайте визначення КМ.
2. Назвіть основні типи КМ залежно від матеріалу матриці.
3. На які групи поділяються КМ залежно від типу арматури?
4. Назвіть види армуючих матеріалів, які застосовуються для виробництва КМ.
6. Дайте визначення матриці КМ.
8. Назвіть типи волокон, які застосовуються для армування МКМ.
9. Наведіть основні характеристики армуючих волокон.
10. Для чого призначені бар'єрні покриття армуючих волокон?
11. Дайте визначення технологічних покриттів армуючих волокон і назвіть їх призначення.
12. Які матеріали застосовують для матриць МКМ?
13. Які способи виготовлення полуфабрикатів МКМ застосовуються у виробництві?
14. Опишіть рідкофазний спосіб отримання препрегів, напівфабрикатів і виробів.
15. Опишіть схему безперервного і вакуумного просочення.
16. Дайте визначення поняття “порошкова металургія”.
17. Назвіть переваги порошкових виробів.
18. Які компоненти використовуються при виготовленні порошкових КМ?
19. Назвіть операції, які застосовуються для отримання порошкових КМ.
20. Дайте визначення полімеру і пластмаси.
21. На які два класи поділяють полімери залежно від результату дії на них підвищених температур?
22. Які способи формування деталей із термопластів застосовуються?



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ І РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технология конструкционных материалов [Текст] / А. М. Дальский, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухаркин и др. ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. Технологія конструкційних матеріалів [Текст] : підручник / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін. ; за ред. М. А. Сологуба. – К. : Вища шк., 2002. – 374 с.
3. Технология металлов и конструкционные материалы [Текст] / Б. А. Кузьмин, Ю. Е. Абраменко, В. К. Ефремов и др. ; под. ред. Б. А. Кузьмина. – М. : Машиностроение, 1981. – 351 с.
4. Онищенко, В. И. Технология металлов и конструкционные материалы [Текст] / В. И. Онищенко, С. У. Мурашкин, С. А. Коваленко. – М. : “Агропромиздат”, 1991. – 479 с.
5. Лахтин, Ю. Т. Материаловедение [Текст] / Ю. Т. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1980. – 493 с.
6. Анищенко, А. С. Прогрессивные технологические решения в обработке металлов давлением [Текст] : учеб. пособие / А. С. Анищенко. – Мариуполь : ГВУЗ “ПГТУ”, 2013. – 180 с.

7. Лупачев, В. Г. Ручная дуговая сварка [Текст] : учебник / В. Г. Лупачев. – Минск : Высш. шк., 2006. – 416 с.
8. Сварка и свариваемые материалы [Текст]. Т. II. Технология и оборудование : справ. изд. / под. ред. В. М. Ямпольского. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1996. – 574 с.
9. Дмитрик, В. В. Зварні з'єднання паропроводів. Збільшення ресурсу [Текст] : монографія / В. В. Дмитрик. – Х. : Вид. дім “Діаком”, 2010. – 149 с.
10. Григорьянц, А. Г. Гибридные технологии лазерной сварки [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. М. Чирков. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 52 с. : ил.
11. Соколов, И. И. Газовая сварка и резка металлов [Текст] / И. И. Соколов. – М. : Машиностроение, 1983. – 317 с.
12. Сварка [Текст]. Ч.1. : лаб. практикум / сост. В. Е. Гордиенко, Е. Г. Гордиенко, С. А. Степанов, Ю. В. Кнышев. – СПб. : СПбГАСУ, 2009. – 64 с.
13. Банов, М. Д. Специальные способы сварки [Текст] / М. Д. Банов, В. В. Максаков, Н. П. Плюснина. – М. : Изд. центр “Академия”, 2009. – 208 с.
14. Лашко, С. В. Пайка металлов [Текст] / С. В. Лашко, Н. Ф. Лашко. – М. : Машиностроение, 1988. – 376 с.
15. Справочник инструментальщика [Текст] / сост. И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др. ; под общ. ред. И. А. Ординарцева. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
16. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]. Т. 1 / под. ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
17. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]. Т. 2 / под. ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
18. Шишмарев, В. Ю. Автоматизация технологических процессов [Текст] / В. Ю. Шишмарев. – М. : Изд. центр “Академия”, 2005. – 352 с.
19. Пичугин, А. М. Материаловедческие аспекты изготовления шинных резин [Текст] / А. М. Пичугин. – М. : ВПК НПО “Машиностроение”, 2008. – 383 с.
20. Технология резиновых изделий [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. О. Аверко-Антонович, Р. Я. Омельченко, Н. А. Охтина, Ю. Р. Обич / под ред. П. А. Кирпичникова. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.
21. ПластЭксперт: Все о пластике и полимерах. Композиционные материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www/URL: http://www.e-plastic.ru/main/articles/r2/rk01](http://www.e-plastic.ru/main/articles/r2/rk01) (дата звернення 8.04.13). – Назва з екрана.
22. Либенсон, Г. А. Процессы порошковой металлургии [Текст] / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. – М. : МИСИС, 2001. – 453 с.
23. Справочник по композиционным материалам [Текст]. Кн. 1. : пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта. – М. : Машиностроение, 1988. – 448 с.

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Автомати й напівавтомати токарні 199**  
 – – – багатошпиндельні 201  
 – – – одношпиндельні 199  
**Автоматизація 235**  
 – завантаження заготовок 236  
 – установлення і закріплення заготовок та інструмента 238
- Бабка токарного верстата 192**  
 – передня 192  
 – задня 192  
**Балансування шліфувальних кругів 230**  
**Балон кисневий 80**  
**Блок модельний 30**
- Валок прокатний 42**  
 – гладкий 42, 43
- калібрований 49  
**Ванна зварювальна 122**  
 – електронагрівальна 154  
**Верстати металорізальні 177**  
 – багатоцілеві з ЧПК 243  
 – довбальні 219  
 – заточувальні 232  
 – зубодовбальні 223  
 – зубостругальні 223  
 – зубофрезерні 222  
 – токарні 190–191  
 – свердлильні 207–208  
 – стругальні 218  
 – фрезерні 214–215  
 – шліфувальні 230–231  
**Вершина різця 162**  
**Вибиття виливків 22**  
**Видавлювання 48**

- безперервне деталей із ПКМ 293
- деталей із порошкових КМ 287
- холодне 48
- Виливниця 31
- Виливок 9, 11
- Випор 15
- Виробництво 235
  - автоматизоване 235
  - автоматичне 235
  - безлюдне 235
  - ливарне 9
  - масове 235
  - одиничне 235
  - серійне 235
- Вирубка зі стиском 51
- Висадка холодна 49
- Витяжка 52
  - без стоншення стінки 52
  - зі стоншенням стінки 53
- Відбортровка 53
- Відношення передаточне 180, 183–185
- Відрубубання 44
- Відрізування 50
- Волока 60
- Волочіння 59, 60
- Вольт-амперна характеристика 65
  - – – зовнішнього джерела зварювального струму 65, 75
  - – – статична зварювальної дуги 65
- Вулканізація 253, 255
  - покришок 263
  - приводних пасів 272
- Газопоглинання 11
- Генератор ацетиленовий 81
  - зварювальний 66
- Глибина різання 163, 215, 209, 219
- Гнуття 52
- Гумозмішувач 257
- Деформація деталей при зварюванні 135, 136
- Деформація пластична 35
  - гаряча 37
  - холодна 37
- Джерело зварювального струму 65–67
- Довбання 216
- Довбач зуборізний 221
- Дуга зварювальна (електрична) 64
- Електроди зварювальні 141
- Електропечі опору 154
- Етилсилікат гідролізований 30
- Живильник 15**
- Заготовки 236
  - бунтові 236
  - порошкові 236
  - пруткові 236
  - штучні 236
  - протекторні 258
- Заливка форм 22, 28, 31, 33
- Затвор водяний 81
- Заточування 232
- Зварювання 62–146
  - автоматичне дугове 69
  - вибухом 105
  - газове 80
  - гібридне 108–118
  - – двопроменеве лазерне 112
  - – лазерно-дугове 108
  - – лазерно-індукційне 114
  - – лазерно-плазмове 115
  - – лазерно-світлопроменеве 110
  - дифузійне 98
  - дугове 63, 67
  - електронно-променеве 91
  - контактне 77–79
    - – електричне 77
    - – стикове 77
    - – точкове 78
    - – шовне 79
  - за методом Бернардоса 63
  - за методом Славянова 63
  - лазерне 93
  - магнітно-імпульсне 107
  - плавленням 87
  - плазмове 87
  - тертям 96

- ротаційне 97
- ультразвукове 100
- холодне 103
- Зв'язки шліфувальних кругів 227
- Зенкер 206
- Зенкерування 206
- Зенківка 207
- Зенкування 207
- Зерна абразивні 225
- З'єднання зварні 68
  - паяні 150
- Зм'якшувачі гумової суміші 253
- Знос різальних інструментів 170
- Зубонарізання 219
  - методом копіювання 220
  - методом обкату 220
- Індукційні нагрівальні установки 155
- Інструменти металорізальні 161, 206, 213, 218
  - абразивні 176
  - формувальні 16
- Каландрування 254, 259
- Калібрування деталей з порошкових КМ 288
- Кокіль 23–24
  - з вертикальною площиною рознімання 23
  - з горизонтальною площиною рознімання 24
- Контроль якості зварних і паяних з'єднань 138
  - приводних пасів 273
  - шин 266
- Корд металевий 259
- Коробка подач верстата 192, 208
  - швидкостей верстата 192
- Критерій зносу різального інструмента 170
- Кромка різальна головна 162
  - допоміжна 162
- Круг шліфувальний алмазний 228
  - абразивний
- Кування 43
  - машинне 45
- Кути токарного різця 162
- Ланцюг кінематичний 185
  - головного руху 185
  - руху подачі 187
- Лещата швидкопереналагоджувані 238
- Ливникова система 14
- Лиття 9–33
  - відцентрове 31
  - за виплавленими моделями 29
  - електрошлакове 33
  - під тиском 25, 255
  - у кокіль 23
  - у оболонкові форми 27
  - у піщано-глинисті форми 12
- Ліквація 11
- Лінія автоматична 244
- Люнет токарний нерухомий 195
  - рухомий 195
- Магазин інструментальний 203, 240
- Маркування шліфувальних кругів 228
- Матеріали армуючі 276
  - для металевих МКМ 276
  - для приводних пасів 268
- Матеріали інструментальні 172–176
  - абразивні 175
  - алмазні 176
  - синтетичні надтверді 176
- Матеріали композиційні 274
  - гумові 275
  - металеві 275
  - полімерні 275
- Матриці КМ 275
- Метал присадний 141
- Механізми металорізальних верстатів 182
- Модель ливарна 13
  - виплавлена 29
- Модельний комплект 13
- Молот кувальний 45

- Момент різання 168
- Нагрів заготовок 38–41**  
 – індукційний 40  
 – контактний 40, 41  
 – опором 40, 41
- Наплавлення 119  
 – автоматичне під флюсом 119  
 – ручне дугове 119  
 – струмами високої частоти 120  
 – неплавким електродом 120
- Наповнювачі гумової суміші 253
- Напруга зварювальної дуги 64, 72  
 – холостого ходу 65
- Нарост 165
- Наростоутворення при різанні 165
- Облой 46**
- Обробка металів різанням 159–251  
 – тиском 35–60
- Обрубубання 13
- Обтиск 53
- Обточування 160
- Окислення металу при зварюванні 122
- Опока 14
- Осадка 44
- Пальник інжекторний для газового зварювання 82**  
 – для газового різання 85
- Патрон токарний повідковий 194  
 – – трикулачковий самоцентруючий 193  
 – чотирикулачковий 194
- Паяння 147  
 – в печах 149  
 – газополум'яне 149  
 – зануренням 149  
 – індукційне 149  
 – капілярне 147–149  
 – – дифузійне 148  
 – – готовим припоєм 148  
 – – контактено-реактивне 148  
 – – реактивно-флюсове 148  
 – некапілярне 147  
 – – “зварювання-паяння” 149  
 – – “паяння-зварювання” 149  
 – паяльниками 150
- Передача механічна 180  
 – гвинт-гайка 181  
 – зубчаста 181  
 – пасова 180  
 – рейкова 181  
 – черв'ячна 181
- Пісок кварцовий 16
- Піч нагрівальна газополум'яна 38  
 – електронагрівальна 40  
 – камерна 39  
 – методична 39
- Планшайба 194
- Пластичність 35
- Плита підмодельна 17
- Площина різця січна головна 162  
 – – – допоміжна 161  
 – – основна 161  
 – – різання
- Подача за хвилину 215  
 – кругова 226  
 – на один зубець фрези 215  
 – на один оберт 215  
 – осьова 205  
 – поздовжня 190  
 – поперечна 190
- Поковка 43
- Полум'я зварювальне 82, 83
- Покриття електродів 142
- Потужність різання 168
- Правка шліфувальних кругів 229
- Прес гарячештампувальний 47
- Пресування 54, 255  
 – безперервне 58  
 – бічне 55  
 – гумових деталей 255  
 – зворотне 55  
 – із застосуванням сил тертя 56  
 – напівбезперервне 57  
 – порошкових КМ 285  
 – пряме 55  
 – – ПКМ 291

- Приводи металорізальних верстатів 179
- Припої 152
- готові 152
  - – високоплавкі 152
  - – легкоплавкі 152
  - – особолегкоплавкі 152
  - – середньоплавкі 152
  - – тугоплавкі 152
  - створювані під час паяння 152
- Прискорювачі вулканізації 254
- Пристрої для заміни різального інструмента 203–240
- електронагрівальні 40
  - – індукційного нагріву 41
  - – контактного нагріву 41
  - – нагріву опором 41
  - завантажувальні 236
  - – бункерного типу 237
  - – магазинного типу 236
  - швидкопереналагоджувані 239
- Пробивка 51
- Прокат листовий 43
- сортовий 43
- Прокатування поздовжнє 42
- поперечне 42
  - поперечно-гвинтове 42
- Просочення каркаса МКМ 281
- вакуумне 282
- Протистарителі гумової суміші 254
- Протягання 161
- Протяжка 161
- Профіль прокатний 43
- Прошивка 44
- Редуктор кисневий 80**
- Режим зварювання 71, 73
- Рекристалізація 36
- Рідини мастильно-охолоджуючі 169
- Різці довбальні 218
- зубостругальні 221
  - стругальні 212
  - токарні 161
- Рідкоплинність ливарних сплавів 10
- Різання газокисневе 84
- Різцетримач 192
- Розвертання 207
- Розвертка 207
- Роздмуховування при виготовленні деталей із ПКМ 293
- Розсвердлення 206
- Розточування 196
- Рух різання головний 159
- подачі 159
- Рухи робочих органів верстата допоміжні 159
- робочі 159
  - установчі 159
- Свердла спіральні 205, 206
- Свердління отворів 160
- Сила різання 166
- – головна 167
  - – осьова 167
  - – радіальна 167
- Складання клинових пасів 270
- покришок 262
- Смола термореактивна 27, 289
- Сортамент прокату 43
- Спікання порошкових сумішей 287
- Сплави інструментальні тверді 174
- Сталі інструментальні вуглецеві 173
- леговані 173
  - швидкорізальні 173
- Стан волочильний 60
- прокатувальний 42, 60
- Станина токарного верстата 192
- Стержень ливарний 14
- Стержневий ящик 14
- Стійкість різальних інструментів 170
- Стругання 160, 216
- Стружка зливна 165
- надламу 165
  - сколювання 165
- Стружкоутворення при різанні 164
- Суміші гумові для виробництва клинових пасів 269
- для виробництва шин 257
- Суміші ливарні піщано-смоляні 16
- – стержневі 16

- формувальні 16
- єдині 16
- наповнювальні 16
- облицьовувальні 16
- Супорт задній 199
- передній 199
- поздовжній 200
- поперечний 200
- Суспензія керамічна 30
- Схема кінематична верстата 185
  
- Теплота при точінні 168
- Тканини обгорткові клинових пасів 269
- Точіння 159, 190
- Трансформатор зварювальний 65
  
- Усадка зварних заготовок 135
- при охолодженні виливка лінійна 10
- об'ємна 10
  
- Фартух токарного верстата 192
- Флюси для зварювання 143
- для паяння 153
- Форма ливарна 9
- багаторазова 9
- оболонкова 27, 28
- одноразова 9
- піщано-глиниста 14
- Фрези 210, 213
- Фрезерування зустрічне 210
- попутне 211
- Формування у ливарному виробництві автоматичне 21
- машинне 19
- ручне 18
- Формування у виробництві КМ автоклавне 297
- відцентрове деталей із ПКМ 297
- деталей із ПКМ вакуумне 294
- пневматичне 294
- ізостатичне порошкових КМ 286
- контактне деталей із ПКМ 296
- намотуванням деталей із ПКМ 297
- покришок 263
  
- Цекування 207
- Центри токарного верстата 194
  
- Швидкість різання 164, 164, 209, 216
- Шліфування 160, 225
- безцентрове 227
- внутрішнє 227
- кругле 160, 227
- плоске 160, 226
- Шов зварний 62, 110, 122, 125
- вертикальний 68
- горизонтальний 68
- нижній 68
- стельовий 68
- Шпindelь верстата 192
- Штамп для листового штампування 54
- Штампування гаряче об'ємне 45
- у відкритих штампах 46
- у закритих штампах 46
- холодне 47
- – листове 48, 50
- – об'ємне 48



Навчальне видання

**Літовченко** Петро Іванович  
**Іванова** Лариса Петрівна

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Навчальний посібник

Редактор *Ф. М. Сирнєв*  
Коректор *Г. М. Підлозна*  
Комп'ютерне макетування *А. О. Теплової*

Формат паперу 60×84/16. Ум. друк. арк. 17,78. Тираж 100 прим. Зам. №. 10.

---

Видавець і виготовлювач Національна Академія Національної гвардії України.

Пл. Повстання, 3, м. Харків, 61001.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4794 від 24.11.2014 р