

І.Е. Яковенко

О.А. Пермяков

А.В. Фесенко

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ

Навчальній посібник

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Яковенко І.Е., Пермяков О.А., Фесенко А.В.

Технологічні основи машинобудування.

Навчальний посібник

**для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка
для студентів спеціальності 133 – Галузеве машинобудування**

Харків
НТУ «ХПІ»
2022

УДК 621.7
Я47

Рецензенти:

Купріянов О.В., д-р. техн. наук, проф., Українська інженерно-педагогічна академія;

Клочко О.О., д-р. техн. наук, проф., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

*Рекомендовано вченою радою НТУ «ХПІ»,
протокол № 6 від 23 вересня 2022 р.*

Авторський колектив

Яковенко І.Е., проф., к-т. техн. наук,
Пермяков О.А., проф., д-р. техн. наук,
Фесенко А.В., проф., к-т. техн. наук.

Яковенко І.Е.

Яковенко І. Е., Пермяков О. А., Фесенко А. В. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – 421с.

ISBN

Розглянуто основні принципи організації та технологічної підготовки машинобудівного виробництва, а також етапи проектування та оформлення технологічних процесів: вибір матеріалу та проектування заготовок; аналіз технологічності конструкції деталі; проектування операцій формоутворення різних за конфігурацією та точністю поверхонь; розрахунок припусків; вибір схем базування та закріплення заготовок; методи забезпечення точності обробки; основи технології збирання машин та контролю виробів. Наведено класичні схеми обробки матеріалів лезовим та абразивним різанням, а також прогресивні методи електрохімічної, електрофізичної, комбінованої обробки та прототайпінгу виробів машинобудування. Призначено для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування та інших спеціальностей галузі знань 13 – Механічна інженерія.

Іл. 233. Табл. 25. Бібліогр. 31 назв.

УДК 621.7

ISBN

© І.Е. Яковенко,
О.А. Пермяков,
А.В.Фесенко

© НТУ «ХПІ», 2022

ЗМІСТ

Вступ.....	11
1. Технологія машинобудування та її основні поняття.....	14
1.1. Завдання технології машинобудування.	14
1.2. Основні поняття машинобудівного виробництва.	18
1.3. Виробничий процес та його елементи.....	20
1.4. Типи виробництва та види організації виробничих процесів.....	23
1.5. Основні поняття технології машинобудування.....	32
1.6. Структура технологічних процесів машинобудівних підприємств.	37
1.7. Технологічна документація машинобудівних виробництв.....	38
Запитання для самоконтролю:	49
2. Матеріали у машинобудуванні.....	50
2.1. Матеріал заготовки.....	51
2.1.1. Властивості матеріалів.	51
2.1.2. Класифікація матеріалів.	54
2.1.3. Чавуни	56
2.1.4. Сталі.....	61
2.1.5. Інструментальні сталі.	64
2.1.6. Нержавіючі сталі.	66
2.1.7. Тверді сплави.....	66
2.1.8. Кольорові метали.	67
2.1.9. Алюміній та сплави на його основі.....	68
2.1.10. Титан та сплави.	69
2.2. Неметали.....	70

Запитання для самоконтролю:	72
3. Виробництво заготовок у машинобудуванні	73
3.1. Виробництво заготовок литтям.....	74
3.2. Виробництво заготовок пластичним деформуванням.....	82
3.3. Одержання заготовок із прокату.....	88
Запитання для самоконтролю:	90
4. Базування деталей у машинобудуванні	91
4.1. Основи теорії базування.	91
4.1.1. Класифікація баз за призначенням.....	92
4.1.2. Класифікація баз за ступенями свободи, що позбавляються. .	95
4.2. Схеми базування заготовок.	96
4.2.1. Базування призматичних тіл.	96
4.2.2. Базування по довгих циліндричних поверхнях.	98
4.2.3. Базування по довгих конічних поверхнях.	102
4.2.4. Базування заготовки з використанням коротких циліндричних поверхонь.	104
4.2.5. Базування на коротких конічних поверхнях.	108
4.3. Комбіновані схеми базування.	111
4.4. Схеми повного та неповного базування.....	114
4.5. Вимоги до настановних поверхонь пристроїв.....	116
4.6. Конструкції настановних елементів пристроїв.	117
Запитання для самоконтролю:	121
5. Технологічність виробів машинобудування.....	122
5.1. Основні поняття технологічності виробу.	122
5.2. Якісний аналіз технологічності.....	125

5.3 Кількісний аналіз технологічності виробу.....	130
5.3.1. Коефіцієнт оброблюваності матеріалу.	131
5.3.2. Коефіцієнт складності конструкції деталі.	135
5.3.3. Коефіцієнт точності та шорсткості поверхонь деталі.	138
5.3.4. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів.	139
5.3.5. Коефіцієнт використання матеріалу.	140
Запитання для самоконтролю:	142
6. Точність у машинобудуванні та методи її досягнення	143
6.1. Параметри точності деталі.....	145
6.1.1. Точність геометричних властивостей.	147
6.1.2. Точність забезпечення заданої шорсткості поверхні.	153
6.2. Методи досягнення точності.	154
6.2.1. Метод пробних проходів та промірів.....	154
6.2.2. Метод автоматичного отримання розмірів на налаштованих верстатах.....	156
6.3. Забезпечення точності механічної обробки.....	157
6.3.1. Методи налаштування верстатів та розрахунки розмірів для налаштування.....	158
6.3.2. Статичне налаштування.	159
6.3.3. Налаштування пробних заготовок за допомогою робочого калібру.	161
6.3.4. Налаштування пробних заготовок за допомогою вимірювального інструменту.	162
6.3.5. Розрахунки режимів різання, що забезпечують досягнення необхідної точності та високої продуктивності обробки.....	163

6.3.6. Управління точністю процесу обробки за вихідними даними (підналаштування верстатів).....	165
6.3.7. Управління точністю процесу обробки за вхідними даними.	169
Запитання для самоконтролю:	172
7. Похибки обробки	173
7.1. Систематичні похибки обробки.	173
7.1.1. Похибки, що виникають внаслідок неточності, зносу та деформації верстатів.	173
7.1.2 Похибки, пов'язані з неточністю та зносом ріжучого інструменту.	175
7.1.3 Вплив затискного зусилля заготовки на похибку обробки. ...	178
7.1.4. Похибки, зумовлені пружними деформаціями технологічної системи під впливом нагріву.....	180
7.1.5. Жорсткість технологічної системи.....	182
7.2. Випадкові похибки обробки.	189
Запитання для самоконтролю:	197
8. Припуски на механічну обробку	198
8.1. Загальне поняття припуску.....	198
8.2. Методи розрахунку припусків.	204
8.2.1. Дослідно-статистичний.	204
8.2.2. Розрахунково-аналітичний.....	204
8.2.3. Ймовірно-статистичний.....	212
8.3. Розрахунок проміжних технологічних розмірів.....	213
Запитання для самоконтролю:	215
9. Призначення маршруту обробки.....	216

9.1. Методи обробки заготовок у машинобудуванні.	216
9.2. Концепція маршруту обробки поверхонь.	218
9.3. Методи призначення маршруту обробки.	223
9.3.1. Аналітичний метод.	224
9.3.2. Табличний метод.	225
9.4. Раціональна послідовність обробки деталі.	229
Запитання для самоконтролю:	231
10. Обробка матеріалів різанням.	232
10.1. Основи обробки матеріалів різанням.	232
10.2. Обробка зовнішніх циліндричних та фасонних поверхонь.	236
10.2.1. Точіння.	238
10.2.2. Шліфування.	241
10.2.3. Остаточна обробка зовнішніх циліндричних поверхонь.	245
10.2.4. Встановлювання заготовки при обробці зовнішніх циліндричних поверхонь.	248
Запитання для самоконтролю:	256
10.3. Обробка внутрішніх циліндричних поверхонь.	257
10.3.1. Обробка кінцевим інструментом.	257
10.3.2. Розточування.	277
10.3.3. Шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь.	280
10.3.4. Протягування.	283
10.3.5. Хонінгування.	286
10.3.6. Дорнування.	289
10.3.7. Полірування.	290
Запитання для самоконтролю:	290

10.4. Обробка плоских поверхонь, пазів та уступів.	292
10.4.1. Стругання та довбання.	293
10.4.2. Фрезерування.	295
10.4.3. Шліфування плоских поверхонь.	307
10.4.4. Протягування.	312
10.4.5. Остаточна обробка плоских поверхонь.	314
Запитання для самоконтролю:	318
10.5. Обробка зубів та зубчастих коліс.	319
10.5.1. Обробка методом копіювання.	320
10.5.2. Обробка методом обкатки.	321
10.5.3. Зубозакруглення.	328
10.5.4. Остаточні методи обробки зубчастих коліс.	329
10.5.5. Зубошліфування.	332
10.5.6. Зубохонінгування.	333
Запитання для самоконтролю:	335
10.6. Обробка різьбових та гвинтових поверхонь.	337
10.6.1. Обробка зовнішніх різьбових поверхонь.	338
10.6.2. Обробка внутрішніх різьбових поверхонь.	344
10.6.3. Обробка гвинтових поверхонь.	348
10.6.4. Остаточна обробка різьбових поверхонь.	350
Запитання для самоконтролю:	352
11. Електрофізичні та електрохімічні методи обробки.	353
11.1. Електроерозійна обробка.	353
11.2. Електрохімічна обробка.	355
11.3. Ультразвукова обробка.	358

11.4. Променеві процеси обробки.....	359
11.4.1. Електронно-променева обробка.....	360
11.4.2. Плазмова обробка.....	361
11.4.3. Лазерна обробка.....	363
11.5. Комбіновані методи обробки.....	366
11.6. Прототайпінг та 3D друк у машинобудуванні.....	369
Запитання для самоконтролю.....	373
12. Контроль якості та випробування виробів у машинобудуванні.....	374
12.1. Види контролю.....	375
12.2. Контроль геометричних параметрів.....	377
12.3. Контроль внутрішніх дефектів.....	380
12.4. Контроль мікрогеометрії поверхонь та виявлення поверхневих дефектів.....	384
12.5. Контроль складання та випробування виробів.....	385
12.5.1. Випробування вузлів та агрегатів виробів.....	386
12.5.2. Випробування зібраних виробів.....	387
Запитання для самоконтролю:.....	388
13. Складальні процеси в машинобудуванні.....	389
13.1. Класифікація складальних процесів.....	391
13.2. Організаційні форми складальних процесів.....	396
13.3. Види складання.....	399
13.4. Проектування технологічних процесів складання машин.....	402
Запитання для самоконтролю:.....	405
Заключна частина.....	406
Список літератури.....	407

ДОДАТОК 1.....	410
Приклад аналізу технологічності деталі.	410
ДОДАТОК 2.....	418
Приклад проектування варіанта маршруту обробки поверхонь деталі «Стакан».	418

Вступ

Розвиток сучасного суспільства ґрунтується на постійно зростаючому використанні різних приладів механізмів та машин. Причому останніми роками намітилася тенденція до скорочення терміну служби різних приладів, машин та устаткування, постійно прискорюється моральне зношування як предметів домашнього вжитку, так і виробничих машин. Це з одного боку пов'язано зі зростанням ролі впливу наукових досліджень та відкриттів, з другого, вдосконаленням технічної складової прогресу розвитку суспільства, появою нових і вдосконаленням старих технологій у всіх галузях промисловості.

Машинобудування та приладобудування визначають рівень технічного розвитку будь-якої держави. У цих галузях концентруються і знаходять практичне застосування найсміливіші та найефективніші наукові досягнення, які пов'язані з дослідженнями в різних наукових сферах та на стику наук. Усе це свідчить про необхідність постійного вдосконалення машинобудівного виробництва. Нині актуальними стають тенденції у розвитку всіх елементів машинобудівного виробництва: технології, устаткування, оснастки, інструменту, режимів обробки.

Конкурентна боротьба між машинобудівними підприємствами висуває на ринок потреби у підвищенні економічності, енергоефективності, безпеки, ергономічності, комфортності машин, що випускаються, що, у свою чергу, висуває ряд завдань. В першу чергу це стосується постійного зростання вимог до точності обробки і, якщо раніше точність обробки, наприклад, відповідальних автомобільних та авіаційних деталей, становила близько 10мкм, а у надточних деталей досягала 1мкм, то в даний час точність чистової обробки зросла до 0,1мкм. З іншого боку, з одночасним зростанням вимог до точності та якості поверхні зростають вимоги до двох взаємовиключних факторів. Це, з одного боку, зростання продуктивності обладнання, яке характерне для масового виробництва, а, з іншого боку, підвищення гнучкості виробничої потужності, яка

характерна для одиничного та дрібносерійного виробництва. Цьому сприяє розвиток технологій та створення спеціального багатофункціонального обладнання, яке дозволяє виконувати обробку на базі принципів багатопозиційної та багатошпindelної концентрації операцій. Прикладом можуть бути спеціальні багатоопераційні верстати з програмним управлінням для виробництва колінчастих валів, на яких повністю виконується весь цикл необхідних технологічних операцій від чорнового обточування до остаточної обробки шийок колінчастого валу.

Незважаючи на швидкий розвиток використання альтернативних матеріалів, найбільше застосування при створенні машин знаходять різні метали та сплави. Тому сучасні методи формування заготовок та обробка різанням, внаслідок їх широких технологічних можливостей, збереже найближчим часом пріоритет серед інших методів обробки. Механічна обробка цієї групи матеріалів є найбільш трудомісткою та енергоємною частиною процесу створення машини. Наукові дослідження останніх років дозволили впровадити у виробничий процес механічної обробки багато прогресивних та ефективних методів і технологій. До них можна віднести високошвидкісну обробку, створення спеціального лезового інструменту для обробки високоміцних та загартованих сталей з високою точністю, шліфування поверхонь із введенням додаткової енергії в зону різання та ін.

Крім цього, для сучасного машинобудування поряд з обробкою різанням характерно широке застосування електро- та фізико-хімічних, а також комбінованих методів обробки особливо для виготовлення деталей з важкообробних матеріалів та деталей складної форми, виконання операцій, для яких використання процесу різання економічно неефективне або технічно неможливо. Все більшого поширення в одиничному та дрібносерійному виробництві набувають способи отримання деталей з поверхнями складної конфігурації з використанням принципів прототайпінгу або 3D друку. Ведуться дослідження застосування цієї технології у серійному виробництві.

При створенні машини, крім вимог до точності механічної обробки, висуваються вимоги до інших елементів виробничого процесу: складання виробу, контролю характеристик окремих деталей, вузлів та машини в цілому. Для підвищення ефективності цих процесів застосовуються сучасні технологічні підходи та принципи організації.

Загальним основам розглянутих вище технологічних процесів, які визначають структуру виробництва та підприємства в цілому і присвячено цей навчальний посібник.

1. Технологія машинобудування та її основні поняття

1.1. Завдання технології машинобудування.

Технологія (від древнє грецької τέχνη «мистецтво, майстерність, вміння» + λόγος «слово; думка, сенс, поняття») - сукупність методів та інструментів для досягнення бажаного результату; у широкому значенні - застосування наукового знання для вирішення практичних завдань. Технологія – у загальному сенсі – обсяг знань, які можна використовуватиме для виробництва товарів і послуг з економічних ресурсів. Технологія - у вузькому сенсі - спосіб перетворення речовини, енергії, інформації в процесі виготовлення продукції, обробки та переробки матеріалів, складання готових виробів, контролю якості, управління. Наприкінці 18 століття у загальному масиві знань про техніку стали розрізняти традиційний описовий розділ і новий клас, який отримав назву «технологія». Цей термін ввів Йоганн Бекман (1739-1811), назвавши так наукову дисципліну, яку викладав у німецькому університеті в Геттінгені з 1772 року. У 1777 р. він оприлюднив роботу «Введення в технологію», де писав: «Огляд винаходів, їх розвитку та успіхів у мистецтвах та ремеслах може називатися історією технічних мистецтв; технологія, що пояснює в цілому, методичне і точно всі види роботи з їх наслідками і причинами є набагато більше». Пізніше у п'ятитомному праці «Нариси з історії винаходів» (1780—1805) він розвинув це поняття.

Термін "технологія" має кілька базових значень [31].

Технологія - сукупність методів (способів) виготовлення, видобутку, обробки або переробки та інших процесів, робіт і операцій, що змінюють стан сировини, матеріалів, напівфабрикатів або виробів у процесі отримання продукції із заданими показниками якості. До складу сучасної технології вносять і технічний контроль виробництва. Технологія значною мірою визначає якість і в багатьох випадках необхідну кількість виробленої продукції, її собівартість, продуктивність праці, тощо.

Технологія - власне технологічні процеси отримання, обробки і переробки, складання або будівництва, а також опис цих процесів у вигляді інструкцій з їх виконання, технологічних правил, вимог, графіків, карт, тощо.

Технологія - сукупність знань про методи здійснення виробничих процесів і наукова дисципліна, що описує, розробляє і вдосконалює зазначені вище способи, процеси та порядок (регламенти, режими) їх здійснення.

Технологія включає в себе способи, прийоми, режим роботи, послідовність операцій і дій, вона тісно пов'язана з застосовуваними засобами, обладнанням, інструментами, використовуваними матеріалами. Будь-яка технологія передбачає наявність:

- предмета праці (предмет технологічного впливу, технологічний об'єкт);
- засоби праці (технологічні засоби: обладнання, пристосування, інструмент, засоби контролю, тощо);
- носія технологічних функцій (виконавця, працівника, користувача, колектив, тощо);
- опису дій носія технологічних функцій у вигляді інструкцій з їх виконання для досягнення заданого результату;
- рівень технологічного розвитку суспільства.

Технологія має безпосередній прояв у структурі виробничого процесу (технологічному процесі).

Технологія машинобудування – це наука про виготовлення машин, необхідної якості у встановленому виробничій програмі кількості й у задані терміни при найменших витратах живої і уречевленої праці, тобто за мінімальної собівартості.

$$C \rightarrow \min; \quad F(x)=0$$

де,

C – собівартість виготовлення продукції,

F(x) – система обмежень.

$$F(x) = \begin{cases} Q \geq Q_3 \\ T \leq T_3 \\ \Phi(y) \leq \Phi(y)_3 \end{cases}, \quad (1.1)$$

Q – обсяг випуску, реальний на заданий,

T - час випуску одинці, реальний та заданий,

$\Phi(y)$ – сума показників якості продукції, реальна та задана.

Розглянута вище математична постановка завдання проектування технологічних процесів (ТП) є типовою для машинобудівного виробництва, у звичайних економічних пріоритетах та соціально-політичних умовах. Проте в деяких випадках обумовлених економічною або соціально-політичною ситуацією як критерій оптимізації ТП можуть виступати фактори, що раніше використовуються як обмеження.

Випадок 1.

Технологія виготовлення виставкового зразка застосовується за участю підприємства у конкурсах. На перший план виходить якість продукції.

$$F(x) = \begin{cases} C \leq C_3 \\ T \leq T_3 \\ \Phi(y) \rightarrow \max \end{cases}, \quad (1.2)$$

Випадок 2

У якості критерія оптимізації виступає максимальний обсяг продукції та мінімальний час випуску, а як сума обмеження - показники якості. У цьому разі матеріально-цінові витрати розглядаються в останню чергу. Випадок, характерний для воєнного часу, природних катаклізмах, критичних ситуаціях, що виникають у суспільстві.

$$F(x) = \begin{cases} Q \rightarrow \max \\ T \rightarrow \min \\ \Phi(y) = \Phi(y)_3 \end{cases} \quad (1.3)$$

Сучасне уявлення технології машинобудування - це галузь технічної науки, яка вивчає зв'язки та закономірності у виробничих процесах виготовлення машин.

Конструкція будь-якої машини – складна система двох видів сполучених множин зв'язків:

1. властивостей матеріалів;
2. розмірних.

Для реалізації такої системи зв'язків повинен бути створений і реалізований виробничий процес, який є другою системою сполучених множин зв'язків:

1. властивостей матеріалів (потрібні створення аналогічних зв'язків у машині під час виробничого процесу);
2. розмірних;
3. інформаційних (для управління виробничим процесом);
4. часових та економічних (виробничий процес не може здійснюватися поза часом і без витрат живої та уречевленої праці).

Таким чином, створення машини (без урахування її життєвого циклу: подальшої експлуатації, ремонту та утилізації) зведено до побудови двох систем зв'язків:

- конструкції машини;
- виробничого процесу виготовлення.

Особливості технології машинобудування як науки .

Як наукова дисципліна технологія сприяє впровадженню найбільш ефективних та економічних виробничих процесів, що потребують найменших витрат часу та матеріальних ресурсів. Розвиток технології обумовлюється більш широким застосуванням малоопераційних, маловідходних та безвідходних технологічних процесів, досконалих методик, систем математичного аналізу та прогнозування, засобів електронної та обчислювальної техніки.

1. Технологія машинобудування - прикладна наука, всі її рекомендації, закономірності безпосередньо використовуються в реальному виробництві при його організації та виготовленні машин.

2. Технологія машинобудування ґрунтується на багатьох теоретичних дисциплінах, до яких можна віднести теорію точності, теорію продуктивності, теорію базування, теорію ймовірностей та інше.

3. Технологія машинобудування комплексна інженерно-наукова дисципліна, яка використовує знання інших галузей: хімія, фізика, теоретична механіка, супротив матеріалу, тощо.

1.2. Основні поняття машинобудівного виробництва.

Машина – механізм чи поєднання механізмів, які здійснюють доцільні рухи для виробництва енергії чи виконання роботи.

Більше розширене визначення (з появою ЕОМ): **машина** – механізм чи поєднання механізмів, які здійснюють певні доцільні рухи для перетворення енергії, виконання роботи або ж для збору, передачі, зберігання, обробки та використання інформації.

Таблиця 1.1 - Перетворення машинами вихідного продукту на продукцію.

Початковий продукт	Енергія	Тип машини	Продукція
Заготовка	Електроенергія	Верстат	Деталь
Вантаж	Механічна	Автомобіль	Перевезений вантаж
Тканина, нитка	Електроенергія	Швейна машина	Шов
Електромагнітні хвилі	Електрична	Телебачення	Зображення та звук
Завдання	Електрична	ЕОМ	Вирішене завдання
Енергія горючого палива	Розширення газів	Двигун внутрішнього згоряння	Механічна енергія

Машина (як розглядали вище) є чи засобом виробництва, чи об'єктом виробництва – продукцією. Тому машина, будучи одним із різновидів продукції, має якість і економічність.

Під **якістю** машини розуміють сукупність її властивостей, що зумовлюють здатність виконувати своє службове призначення. До показників якості машини належать ті, які характеризують міру корисності машини, тобто її здатність задовольняти потреби людей відповідно до свого призначення. До них відносяться:

- якість продукції, що виробляється машиною;
- продуктивність ;
- надійність ;
- довговічність (фізична та моральна);
- безпека роботи;

- зручність управління;
- рівень шуму;
- ККД ;
- ступінь механізації та автоматизації;
- технічна естетичність, тощо.

Виріб – предмет чи група предметів, як продукт виготовлення на даному підприємстві.

Деталлю називається виріб, виготовлений з однорідного за найменуванням без застосування складальних операцій шматка матеріалу з можливим використанням покриття.

Складальна одиниця – частина виробу, який може збиратися окремо від інших деталей або складальних одиниць і використовується надалі в процесі збирання як єдине ціле. Все, що не є деталлю, є складальною одиницею.

Комплексе – два або більше специфікованих не з'єднаних на підприємстві-виробнику складальними операціями, але призначені для виконання взаємопов'язаних функцій.

Комплект – два або більше виробів не з'єднаних на підприємстві-виробнику, однак, які мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру.

Агрегат – складальна одиниця, що має повну взаємозамінність у машині або виробі.

Складальний комплект – група складових частин виробу, який необхідно подати на робоче місце для складання виробу або складальної одиниці.

Комплектуючий виріб - виріб підприємства-постачальника, що використовується на підприємстві-виробнику як складова виробу, що випускається.

Заготовка – предмет виробництва, з якого шляхом зміни розмірів, форми та поверхневого шару матеріалу виходить деталь або складальне з'єднання, що розбирається.

1.3. Виробничий процес та його елементи.

Виробничий процес (ВП) – це сукупність всіх процесів, робітників і знарядь виробництва, які необхідні цьому підприємству для виготовлення і ремонту виробів. Під **виробничим процесом** розуміється сукупність всіх етапів, які проходять усі вихідні продукти (заготовки) на шляху їх перетворення на готову машину (отримання заготовок, механічна обробка, термічна обробка, хіміко-термічна обробка, контроль, транспортування, зберігання, складання, тощо).

По відношенню до об'єкта виробництва окремі етапи виробничого процесу проявляють себе по-різному:

- одні з них змінюють його якісний стан (форму, розмір, структуру, хімічний склад, зовнішній вигляд, тощо);
- інші не надають таких впливів, але необхідні для реалізації виробничого процесу (транспортування, зберігання, контроль, тощо).

Виробничий процес включає:

- підготовку засобів для виробництва та обслуговування робочих місць;
- отримання та організація зберігання матеріалів, напівфабрикатів, інструментів, тощо;
- всі стадії виготовлення виробу чи машини;
- організація транспортування виробу або напівфабрикату всередині підприємства;
- складання виробу;
- контроль працездатності виробу;
- виготовлення тари та упаковка виробу;

Перелічені вище завдання вирішуються на будь-якому машинобудівному підприємстві.

Загалом завдання, які вирішуються при організації виробництва, а також послідовність їх виконання та основні елементи вихідної та базової інформації представлені на рисунку 1.1.

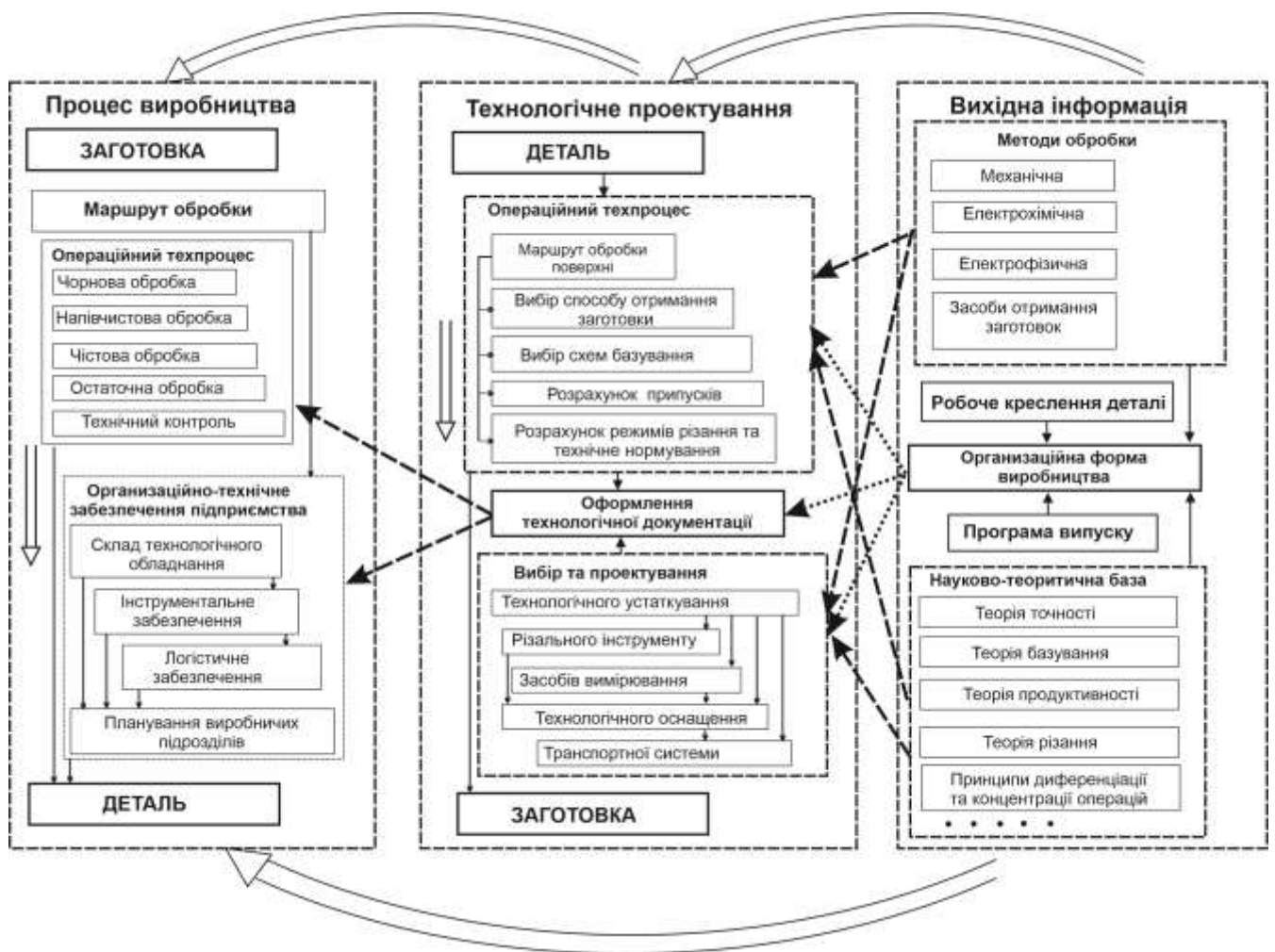


Рис.1.1. Послідовність технологічної підготовки виробництва.

Принципи організації виробничого процесу.

1. Спеціалізація – мається на увазі організація випуску *виробів обмеженої номенклатури*, що дозволяє відпрацювати технологічність виготовлення цих виробів, найефективніше налаштувати виробничий процес та широко використовувати суб'єктивний досвід працівників підприємства у разі виникнення нештатних ситуацій.

2. Пропорційність - мається на увазі організація випуску *необхідної кількості продукції* на всіх ділянках виробничого процесу. Це дозволяє збалансувати організацію зберігання, транспортування окремих елементів машин, а також збирання та відвантаження готової продукції.

3. Безперервність – передбачає виконання кожної наступної операції технологічного процесу *наскільки можна без перерв після закінчення попередньої*.

4. Паралельність виробничого процесу - *одночасне виконання однакових операцій* на кількох ділянках необхідне забезпечення безперервності і пропорційності.

5. Прямоточність – *найкоротший* шлях руху заготовки робочими місцями.

6. Автоматичність - *автоматизація* виконання всіх виробничих робіт.

7. Ритмічність є сукупністю всіх перелічених вище принципів і передбачає рівномірний випуск високоякісних виробів з мінімальними витратами.

Раціональна організація виробничого процесу неможлива без технічної підготовки виробництва, яка включає:

- конструкторську підготовку виробництва (складання креслень, специфікація виробів, встановлення технічних вимог та експлуатаційних характеристик);

- технологічну підготовку виробництва (ТПВ) яка становить близько 40% від загальної трудомісткості технічної підготовки в індивідуальному та серійному виробництві та до 70% - в масовому. ТПВ включає відпрацювання технологічності виготовлення виробу, розробку технологічного процесу, проектування та виготовлення засобів технологічного оснащення.

- календарне планування виробничого процесу виготовлення виробів (у встановлені терміни, у необхідних обсягах випуску та витрат).

У сучасній промисловості дедалі більше уваги приділяється різним методам підвищення ефективності підприємства як з погляду механічної обробки, та й організації всього виробничого процесу на всіх етапах і рівнях. Однією з таких концепцій є так зване «ощадливе виробництво». У цій концепції отримали розвиток розглянуті вище принципи організації виробничого процесу, з урахуванням сучасних досягнень у галузі теорії управління, HR менеджменту, інформаційних технологій, безпаперового виробництва, тощо.

Ощадливе виробництво (Lean Manufacturing) – концепція управління підприємством, основною ідеєю якої є фокусування уваги формуванню вартості товару, тобто скорочення марних операцій та дій, які додають продукції додат-

кову цінність для споживача. Основою даної концепції стало виділення «7 джерел втрат», які ведуть до марних витрат і, відповідно, подорожчання продукції, що випускається. Вплив на ці джерела втрат та зниження їхнього впливу дозволяє значно скоротити неефективні витрати на виробництво продукції.

Джерела втрат зібрані у такі групи:

- *надвиробництво* - передчасне виготовлення продукції, з якої необхідно виконувати певні дії (транспортувати, зберігати, тощо);

- *очікування* - зупинка виробничого процесу з різних причин технічного, організаційного, технологічного характеру;

- *надмірне оброблення* - виконання операцій, які, умовно, не замовляв споживач;

- *надлишкові запаси* - аналогічно надвиробництву, однак, включає не тільки запаси продукції, а й запаси сировини, матеріалів, інструментів, комплектуючих, тощо;

- *зайві рухи* - будь-яке організаційне, технічне чи технологічне переміщення, яке потребує певних витрат, тому «зайві рухи» дорожчають продукцію (переважно аналізуються чинники організаційного характеру);

- *переробки* - додаткові витрати, які, з одного боку пов'язані з виявленням дефектів, з другого, з повторним виконанням робіт;

- *транспортування* - співзвучне з «зайвими рухами» і належить, на відміну «зайвих рухів», переважно безпосередньо до переміщення всередині виробничих приміщень.

Таким чином, в ідеальному стані процес виробництва характеризується його здатністю видавати черговий виріб в той момент, коли споживач використовував одиницю даного виробу.

1.4. Типи виробництва та види організації виробничих процесів.

Залежно від потреб, машини виготовляють у різних кількостях, що визначаються **обсягом** та **програмою** випуску.

Обсяг випуску характеризує **зразкову кількість машин, деталей, заготовок, виробів**, що підлягають випуску протягом планованого періоду часу (рік, місяць). Це використовується на стадії проектування заводу, цеху, технологічного процесу.

Програма випуску – перелік виробів із зазначенням кількості випуску за кожним найменуванням на запланований період (рік, місяць).

Обидва показники встановлюють на етапі маркетингових досліджень, та може бути змінено.

Серія – загальна кількість виробів, що підлягають виготовленню за постійними кресленнями. Розмір серії залежить від досконалості конструкції та ступеня попиту у споживачів.

Партія – кількість заготовок (виробів) одного найменування та типорозміру, що одночасно (або безперервно) надходять для обробки на одне робоче місце протягом певного часу.

У машинобудівному виробництві розрізняють три основних типи: **одиничне, серійне, масове**.

Кожен тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій **K_{30}** . Коефіцієнтом закріплення операцій є відношення числа всіх різних технологічних операцій, виконаних або які підлягають виконанню протягом місяця, до робочих місць.

Коефіцієнт закріплення операцій **K_{30}** визначається за формулою:

$$K_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n O}{\sum_{i=1}^n T}, \quad (1.4)$$

де,

$\sum_{i=1}^n O$ - число всіх технологічних операцій, які необхідні для випуску деталі

(виробу);

$\sum_{i=1}^n T$ - число робочих місць або технологічного обладнання, що використо-

вується для виробництва деталі (виробу).

Для масового виробництва приймають коефіцієнт закріплення операцій $K_{zo}=1$.

Серійне виробництво залежно від кількості виробів у партії чи серії та значення коефіцієнта закріплення операцій K_{zo} поділяють на дрібносерійне, середньосерійне та багатосерійне.

Коефіцієнт закріплення *операцій* K_{zo} приймають рівним:

для багатосерійного виробництва – понад 1 до 10 включно;

для середньосерійного виробництва – понад 10÷20 включно;

для дрібносерійного виробництва – понад 20÷40 включно.

При одиничному виробництві коефіцієнт закріплення операцій K_{zo} не регламентується (проте він більше 40).

У виняткових випадках за відсутності базового технологічного процесу тип виробництва попередньо можна визначити за річним випуском та масою деталей, користуючись табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Вибір типу виробництва за річним випуском та масою деталей.

Тип виробництва	Річний обсяг випуску деталей (штук)		
	Великих, 50 кг і більше	Середніх, 8÷50 кг	Дрібних, до 8 кг
одиничне	до 5	до 10	до 100
серійне	5÷ 1000	10÷5000	100÷50000
масове	> 1000	> 5000	> 50000

При цьому після розрахунку норм часу по всіх операціях необхідно провести уточнення типу виробництва на основі розрахунку коефіцієнта закріплення операцій за наведеною вище методикою.

Таким чином, під **одиничним** виробництвом розуміють виготовлення машин (виробів), що характеризується малим обсягом випуску. При цьому вважають, що випуск таких самих машин (виробів) не планується повторювати за

постійними кресленнями або випуск може повторитися через невизначений проміжок часу.

Під **серійним** виробництвом розуміють періодичне виготовлення партіями, що повторюються, по незмінним кресленням, протягом тривалого проміжку календарного часу, причому можлива партія з одного виробу.

Під **масовим** виробництвом розуміють безперервне виготовлення у великих обсягах по незмінним кресленням тривалий час, протягом якого більшості робочих місць виконується та сама операція.

Віднесення виробництва до якогось типу умовно, особливо в теперішній час. На тому самому підприємстві можна зустріти всі типи, тому визначають тип підприємства за переважним типом.

Порівняльні дані щодо основних характеристик та ознак для різних типів виробництва наведено в таблиці 1.3

Таблиця 1. 3 - Порівняльні властивості різних типів виробництва.

Ознака	Тип виробництва		
	Одиничне	Серійне	Масове
Головна ознака	Виконання на робочих місцях різноманітних операцій без їхнього періодичного повторення	Виконує на більшості робочих місць по кілька операцій, що періодично повторюються	Виконання на більшості робочих місць тільки однієї закріпленої за ними операції, що постійно повторюється
Устаткування	Оснащеність універсальним технологічним обладнанням, що дозволяє виконувати різноманітні операції	Оснащеність як універсальним, і спеціальним, технологічним устаткуванням (універсального устаткування – менше, ніж у одиничному виробництві, а спеціального устаткування – менше, ніж у масовому)	Оснащеність переважно спеціальним високопродуктивним технологічним обладнанням та меншою мірою – універсальним обладнанням
Планування	Розташування технологічного обладнання у цехах – на ділянках за типами обладнання	Розташування технологічного обладнання в цехах – зазвичай за групами оброблюваних деталей	Розташування технологічного обладнання в цехах – у послідовності виконання технологічного процесу (за потоковим принципом)
Кваліфікація працівників	Висока кваліфікація працівників, здебільшого одиничне обслуговування верстатів	Використання працівників нижчої кваліфікації, ніж у одиничному виробництві, але вищої кваліфікації, ніж у масовому виробництві	Використання працівників низької кваліфікації, висока кваліфікація наладжувачів, багатOVER-татне обслуговування
Використання пристроїв, інструменту	Використання, в основному, універсальних настановних пристроїв, ріжучих та вимірювальних інструментів	Використання як універсальних, так і спеціальних настановних пристроїв, ріжучих та вимірювальних інструментів.	Використання спеціальних настановних пристроїв, ріжучих та вимірювальних інструментів, що значно підвищують продуктивність праці.
Використання заготовок	Отримання вихідних заготовок спрощеними методами (лиття в разові земляні форми, вільне кування, стандартний прокат)	Отримання вихідних заготовок більш досконалішими методами, ніж у одиничному виробництві, але менш досконалішими та продуктивнішими, ніж у масовому виробництві	Отримання вихідних заготовок прогресивними методами (лиття в кокіль, за моделями, що виплавляються, в оболонкові форми, під тиском, штампування та інше)
Складальний процес	Збирання виробів з великим обсягом пригонувальних робіт, що призводить до підвищення трудомісткості збирання до 50 ÷ 60 % від загальної трудомісткості виготовлення виробу	Збирання виробів виконується з невеликим обсягом пригонувальних робіт, що призводить до зниження трудомісткості збирання до 30 ÷ 50 % від загальної трудомісткості виготовлення виробу	Збирання виробів виконується за методом повної взаємозамінності без робіт, що призводить до зниження трудомісткості збирання до 20 ÷ 30 % від загальної трудомісткості виготовлення виробу

Продовження табл. 1.3

Технологічний процес	Технологічні процеси розробляються в основному укрупнено, а ретельно – тільки для найбільших, складних та відповідальних виробів (деталей)	Технологічні процеси розробляються більш докладно та ретельно, ніж у одиничному виробництві, але менш докладно та ретельно, ніж у масовому виробництві	Технологічні процеси розробляються докладно та ретельно з призначенням оптимальних режимів різання
Типові вироби	Дослідні зразки; важкі преси; унікальні верстати, машини, механізми тощо.	Верстати, компресори, судові двигуни, тощо виконуються партіями, що періодично повторюються	Автотранспорт, побутова техніка, годинники, тощо.

У кожного типу виробництва є свій раціональний спосіб організації виробничого процесу.

За способами організації виробничі процеси ділять на два види:

- потокове;
- непотокове .

Потоковий вид характеризується безперервністю та рівномірністю. Заготовки без затримок передаються з однієї операції на іншу, а деталь відразу на складальні операції. Деталь і складання перебувають у постійному русі зі швидкістю, підпорядкованою такту випуску. Все необхідне обладнання розставляється у напрямку виконання технологічного процесу.

Для потокового виробництва головною характеристикою є виробничий такт T - інтервал часу, через який періодично проводиться випуск виробів або заготовок певних найменувань, типорозміру та виконання.

Такт випуску визначається у хвилинах за співвідношенням:

$$T_B = \frac{F_D \times 60 \times m}{N}, \quad (1.5)$$

де F_D – дійсний річний фонд часу роботи технологічного обладнання, що використовується для виробництва деталі (виробу) у годинах;

m – кількість робочих змін на добу;

N – річна програма випуску деталей (виробів), од.

Непотоканий вид – рух заготовок на різних стадіях виготовлення переривається перележуванням на робочих місцях чи складах, не дотримується такт випуску.

Поточний вид організації застосовується у масовому типі виробництва. Непотоканий вид – в одиничному та дрібносерійному типах виробництва.

Принцип організації потокового виробництва використовується і в багатосерійному виробництві при виготовленні виробів близьких за службовим призначенням, які об'єднують у групи. Виготовлення ведуть поточним методом у межах одного виробу, зі зміною виробу змінюється потік та такт випуску. Такий вид організації називається **змінно-поточним**.

Під **виробничою структурою цеху** розуміють склад та форми взаємозв'язку виробничих ділянок, ліній та інших підрозділів цеху.

Аналогічно спеціалізації цехів розрізняють по:

- 1) технологічну спеціалізацію внутрішньоцехових підрозділів;
- 2) предметну спеціалізацію внутрішньоцехових підрозділів.

У першому випадку цехи складаються з відділень чи ділянок, оснащених однорідним обладнанням та спеціалізованих на виконанні окремих технологічних процесів.

У другому випадку цехи поділяються на ділянки, прольоти чи лінії, спеціалізовані за видами виробів.

На рисунку 1.2 показано розміщення верстатів невеликого механічного цеху, що складається із чотирьох ділянок.

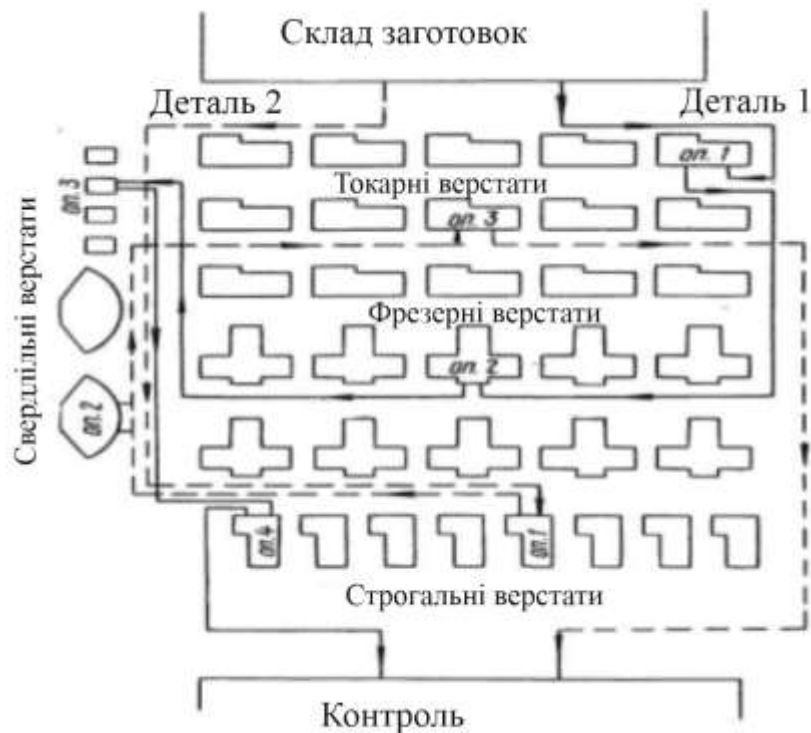


Рис. 1.2 – Схема розміщення обладнання за технологічним принципом.

Деталь 1 обробляється послідовно на токарній, фрезерній, свердлильній та стругальній ділянках. На кожному з однойменних верстатів виконуються операції з різних деталей.

Таким чином, технологічна спеціалізація ділянок характерна для одиничного та дрібносерійного виробництва; вона обумовлює і більшу протяжність маршрутів деталей, і значну тривалість виробничого циклу, і часті переналагодження устаткування.

Тепер припустимо, що деталь 1 необхідна настільки в великих кількостях, що зазначені на рисунку 2 чотири верстата можуть бути повністю завантажені тільки її обробкою.

У такому випадку з'являється можливість перейти від *технологічної* до *предметної* спеціалізації та створити ділянку або лінію для обробки деталі, що поєднує перелічені різні верстати.

Відповідно до вимог принципу прямоточності, обладнання на подібних ділянках чи лініях розміщується у послідовності операцій технологічного процесу (рис.1.3).

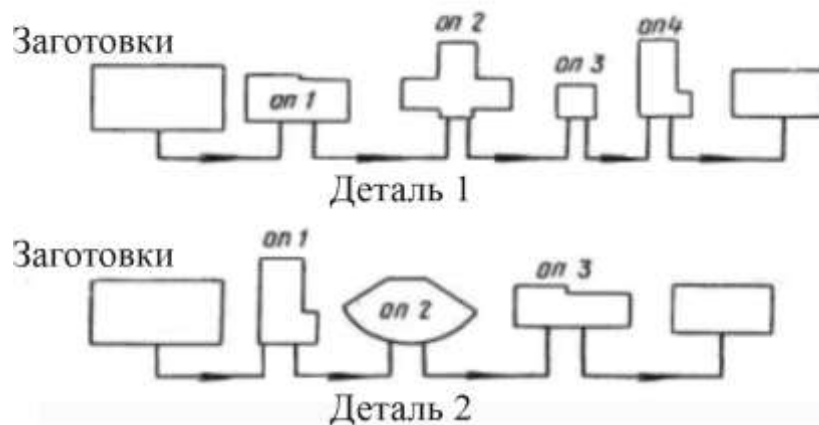


Рис. 1.3 – Схема розміщення обладнання за предметним принципом

Простий і водночас дуже прогресивною формою предметної спеціалізації є *предметно-замкнуті ділянки*.

Якщо при технологічній спеціалізації ділянок на кожній з них проходять обробку всі або багато деталей, що виготовляються в даному цеху, то на предметно-замкнутій ділянці здійснюється весь цикл обробки тільки декількох закріплених за даною ділянкою деталей.

Деталі підбирають за ознакою спільності габаритів і технологічних маршрутів, тобто застосовуваного устаткування.

Економічна ефективність предметно-замкнутих ділянок зумовлена тим, що у них створюються умови закріплення операцій за робочими місцями, спрощення календарного планування виробництва, скорочення кількості переналагоджень устаткування й, у результаті, підвищення продуктивності праці.

Одночасно посилюється відповідальність персоналу ділянки за своєчасне виконання виробничих завдань.

Подальший розвиток спеціалізації предметно-замкнутих ділянок при досягненні ритмічності їхньої роботи призводить до створення поточкових ліній.

У цілому маршрути виробів і тривалість виробничого циклу при предметній спеціалізації, особливо у умовах автоматичних ліній, значно коротше, ніж за технологічної.

Первинним елементом виробничої структури цеху є робоче місце.

Робочим місцем називається закріплена за одним робітником або за бригадою робочих частина виробничої площі з знаряддями та іншими засобами праці, що знаходяться на ній, в тому числі інструментами, пристроями, підіймно-транспортними та іншими засобами відповідно до характеру робіт, що виконуються на цьому робочому місці.

Відповідно до принципу прямоточності потік матеріалів, заготовок та деталей, вузлів та виробів у межах кожного конкретного цеху слід будувати з орієнтуванням на **найкоротші маршрути**.

Для досягнення цієї мети необхідно, щоб планування виробничих ділянок та ліній відповідало послідовності технологічних операцій.

Крім того, розміщення контрольних, інструментальних, складських та інших допоміжних підрозділів цеху має відповідати плануванню ділянок і ліній, що ними обслуговуються.

Природно, що найбільше цим умовам задовольняють цехи з предметної формою спеціалізації.

1.5. Основні поняття технології машинобудування.

Технологічний процес зазвичай ділять на частини. Кожна частина характеризується набором певних ознак.

Операція – закінчена частина технологічного процесу, яка виконується на одному робочому місці. Операція є найменшою частиною технологічного процесу, на яку розробляється технологічна документація, за якою ведеться планування та облік.

Необхідність поділу технологічного процесу на операції визначається двома причинами:

1. фізичними (дуже часто неможливо обробити деталь з шести сторін; необхідне різне обладнання для чистової та чорнової обробки або спеціальний верстат);

2. економічними (доцільність створення спеціального верстата).

Перехід - закінчена частина операції, яка виконується одними і тими ж засобами технологічного оснащення при постійних режимах різання та положення заготовки відносно нерухомих частин верстата.

Перехід пов'язаний (при різанні) із отриманням кожної поверхні. Наприклад, обробка отвору може виконуватися декількома інструментами: свердлом – зенкером – розгорткою – в цьому випадку необхідно три переходи. Розточування триступеневого отвору блоком різців – один перехід.

Розрізняють переходи:

- **основні** – безпосередньо пов'язані із здійсненням технологічного впливу (свердління, точіння, фрезерування, тощо);

- **допоміжні** – дії робітника та механізмів, які необхідні для виконання основного переходу (установка та закріплення деталі, зміна пристосування, відведення, підведення інструменту, тощо).

Прийом – закінчена сукупність дій, вкладених у виконання переходу чи його частини та об'єднаних одним цільовим призначенням. Наприклад, перехід — «установити заготовку» включає ряд дій:

взяти заготовку з тари - перемістити до пристрою - встановити - закріпити.

Перехід при механічній обробці може виконувати один робочий хід чи кілька (чорнова обробка, шліфування).

Робочий хід (прохід) – одноразовий відносний рух інструмента та заготовки, в результаті якого з її поверхні видаляється один шар матеріалу, що дорівнює глибині різання. Зазвичай на одному переході виконуються кілька робочих ходів в одиничному і серійному виробництві, якщо необхідно зняти досить

великий напуск, коли форма заготовки не наближена до остаточної форми деталі. На рисунку 1.4 показана обробка меншого діаметра валу за три робочі ходи (як заготовка використовується пруток).

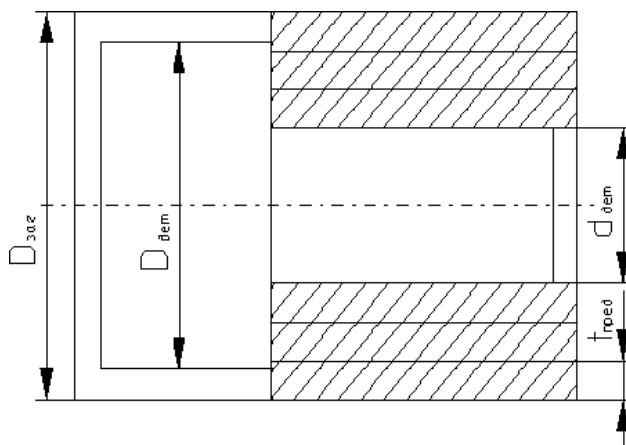


Рис. 1.4. – Приклад робочого ходу.

Щоб обробити заготовку її необхідно розташувати щодо робочих органів верстата і закріпити (зафіксувати).

Процес надання необхідного положення деталі та закріплення називається **Установ**. Для повної обробки деталі необхідно, зазвичай, кілька установ.

Для виконання окремих частин операції чи технологічного процесу загалом буває необхідне переміщення об'єкта виробництва у просторі разом із пристосуванням.

Позиція – кожне нове фіксоване становище об'єкта виробництва разом із пристосуванням, у якому встановлено об'єкт, щодо робочих органів верстата.

За виконання будь-якої частини операції чи технологічного процесу витрачається певна кількість праці робітників належної кваліфікації. Витрати ці вимірюються тривалістю, тобто часом.

Трудомісткість – кількість часу, затрачуване працівником за нормальної інтенсивності праці для виконання технологічного процесу чи його частини. Одиниця виміру – **людино-година**. Для планування витрат праці використовують:

• **норму часу** – час, встановлений робочому відповідної кваліфікації для виконання операції чи технологічного процесу у нормальних виробничих умовах з нормальної інтенсивністю праці. Одиниця виміру – **Зч. 5-го розряду** .

• **норму виробітку** (для нормування нетрудомістких робіт) – встановлена кількість виробів, яка має бути виготовлена в одиницю часу.

Цикл - відрізок календарного часу, що визначає тривалість технологічної операції, яка періодично повторюється, від початку до її кінця.

Інтенсивність виробництва однакових виробів характеризується тактом випуску.

Такт - проміжок часу, через який періодично здійснюється випуск виробу. Якщо кажуть, що машину виготовляють з тактом 5 хв, це означає, що через кожні 5 хв завод випускає машину.

Ритм випуску – величина обернена такту.

Показники виробничого та технологічного процесу (трудомісткість, цикл, такт) можуть бути номінальними, дійсними та вимірювальними. Випадковий характер дійсних та вимірювальних значень показників виробничого та технологічного процесу змушує розглядати їх у часі з позиції теорії випадкових функцій.

Основою технологічного процесу є **операція**.

Саме для технологічної операції визначаються всі необхідні елементи для здійснення процесу обробки та контролю деталі (вибираються або проектується технологічні пристосування, технологічне оснащення, різальний, допоміжний інструмент, засоби вимірювання, тощо), розраховуються режими різання та виконується технічне нормування, на підставі якого надалі здійснюється планування робіт на ділянці та загалом на виробництві. До необхідних елементів технологічної операції належать такі:

Засоби технологічного оснащення – сукупність знарядь виробництва, які необхідні для здійснення технологічного процесу.

Технологічне устаткування – засоби технологічного оснащення, у яких до виконання певної частини технологічного процесу розміщуються матеріали чи заготовки, засоби впливу на них, і навіть технологічне оснащення.

Прикладами технологічного устаткування є верстати, ливарні машини, преси, печі, гальванічні ванни, випробувальні стенди та ін.

Технологічна оснастка – засоби технологічного оснащення, що доповнює технологічне устаткування для виконання певної частини технологічного процесу.

Прикладами технологічного оснащення є різальний інструмент, штампи, пристрої, калібри, прес-форми, моделі, ливарні форми, стрижневі ящики та інше.

Пристосування - технологічне оснащення, призначене для встановлення або спрямування предмета праці або інструменту при виконанні технологічної операції.

Прикладами пристроїв можуть бути лещата, патрони, спеціальні установочно-затискні пристрої, втулки, кондуктори та інше.

Інструмент - технологічне оснащення, призначене для впливу на предмет праці з метою зміни його стану. Прикладами різального інструменту можуть бути свердла, різці, фрези, протяжки та інше. Як допоміжний інструмент можуть використовуватися подовжувачі, втулки, кільця розпірні та інше.

Засоби виміру – технологічна оснастка, яка призначена для виміру та контролю результатів впливу на предмет праці. Стан предмета праці визначається за допомогою міри та (або) вимірювального приладу. Прикладами засобів вимірювань є стандартні вимірювальні інструменти (мікрометр, штангенциркуль, різьбомір), вимірювальні скоби та калібри, вимірювальні машини, тощо.

Технологічні операції обробки різанням класифікують за ознакою робочого місця, тобто за найменуванням основного устаткування, що застосовується - верстата.

1.6. Структура технологічних процесів машинобудівних підприємств.

Для машинобудівних підприємств характерні різні технологічні процеси з різним рівнем деталізації (операція-установ-перехід-робочий хід), що визначаються механічними, фізичними, хімічними або комбінованими методами формування поверхонь деталей, що застосовуються, а також контролем і збиранням виробів (рис.1.5).

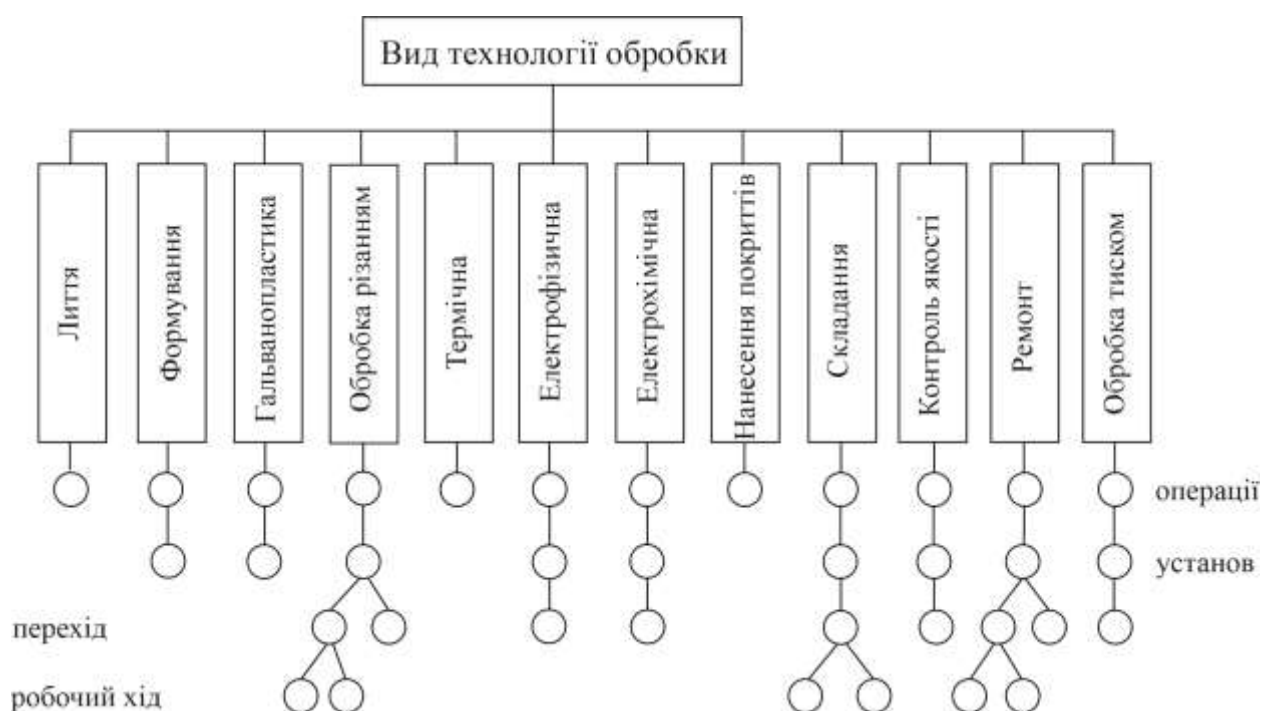


Рис. 1.5. Структура технологічних процесів у машинобудівному виробництві.

Лиття – формоутворення заготовки або виробу з рідкого матеріалу шляхом заповнення ним порожнини заданої форми та розмірів із наступним затвердінням.

Формування – формоутворення заготовки або виробу з порошкоподібного матеріалу шляхом заповнення порожнини заданої форми та розміру з наступним стисненням матеріалу.

Гальванопластика - формоутворення з рідкого матеріалу шляхом осадження його під дією електричного струму.

Обробка різанням – зміна форми, розмірів, шорсткості поверхні та властивостей заготовки полягає в утворенні нових поверхонь шляхом деформування та відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки.

Термічна обробка – зміна структури та властивостей матеріалу внаслідок теплових та дифузійних впливів.

Електрофізичне - формоутворення заготовки шляхом електророзрядів або плазмового струменя.

Електрохімічне - формоутворення заготовки шляхом розчинення матеріалу в електроліті.

Нанесення покриттів – утворення на заготовці поверхневого шару із заданого стороннього матеріалу.

Складання - процес утворення нероз'ємних або роз'ємних з'єднань складових частин виробів або заготовки.

Основні види складальних операцій поділяються на:

- нероз'ємні: зварювання, клепка, запресування, склеювання;
- роз'ємні: згвинчування, запресування, байонетне з'єднання.

Контроль якості – перевірка відповідності показників якості продукції, встановленої технічними вимогами.

Ремонт – комплекс робіт для підтримки справності та відновлення працездатності виробу.

Обробка тиском - формоутворення заготовки або виробу з твердого матеріалу завдяки тиску без утворення стружки.

На рисунку кружками показана можлива деталізація технологічних процесів різних видів на операції -установи -переходи-робочі ходи.

1.7. Технологічна документація машинобудівних виробництв.

Для виконання виробничого завдання у процесі технологічної підготовки виробництва формується пакет технологічних документів, які необхідні для виготовлення виробу. Залежно від типу виробництва може бути підготовлено

різний комплект документів. Основним елементом цього комплексу є технологічний процес.

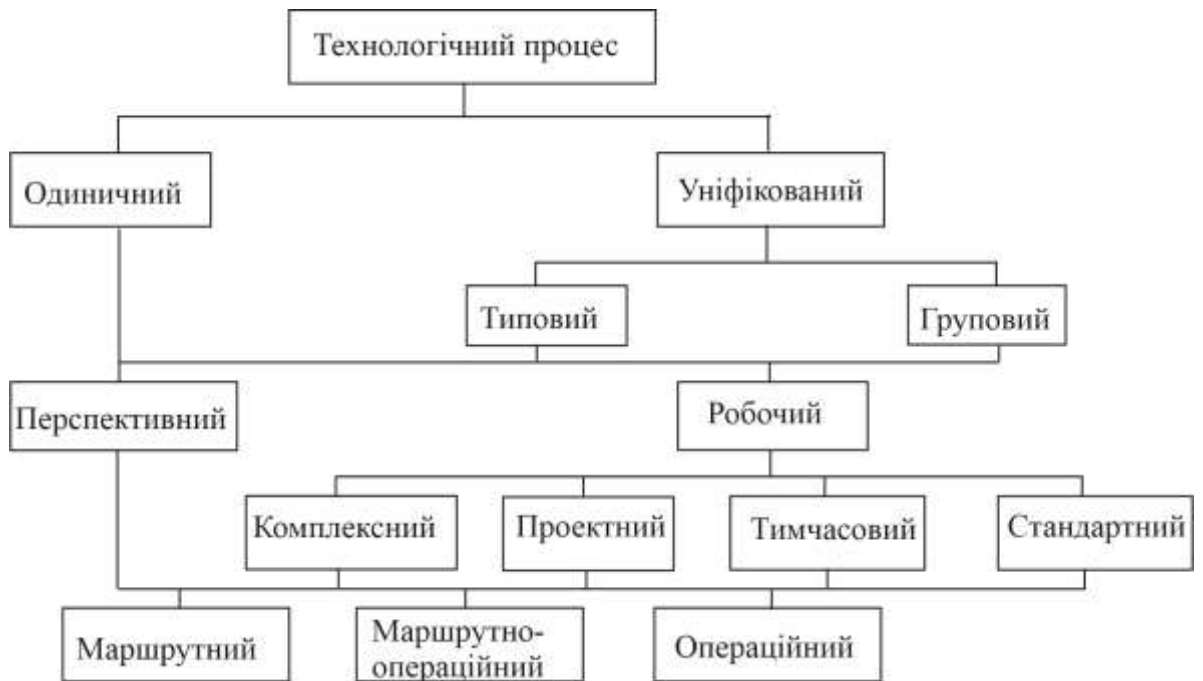


Рис. 1.6. Класифікація технологічних процесів.

Одиничний ТП – виготовлення виробу одного найменування і типорозміру, незалежно від типу виробництва.

Уніфікований ТП – для одного чи кількох найменувань деталей, одного чи кількох типорозмірів.

Типовий ТП – має на увазі єдність змісту та послідовність виконання більшості технологічних операцій для виробів із загальними конструкційними ознаками.

Груповий ТП - має на увазі спільність обладнання та технологічного оснащення при виконанні операцій.

Перспективний ТП є основою для майбутнього виробництва конкретного виробу або групи виробів.

Проектний ТП – попередній ТП до розробки одного з вище згаданих.

Тимчасовий ТП – використовується у випадках, коли немає необхідного обладнання, інструменту чи технологічного оснащення, згодом замінюється.

Стандартний ТП – технологічний процес на стандартну деталь або елемент і може використовуватися на різних підприємствах, що випускають ці вироби.

Комплексний ТП - представляє сукупність типових ТП.

Маршрутний ТП – укрупнений технологічний процес як послідовність виконання операцій (маршруту), без деталізації кожної операції.

Маршрутно-операційний ТП – укрупнений технологічний процес з деталізацією деяких найбільш складних операцій.

Операційний ТП – найповніший технологічний процес, який вказує послідовність виконання операцій та деталізацію всіх параметрів і дії робітника на кожній технологічній операції.

Комплектність технологічної документації МШ підприємств залежить від типу виробництва та регламентується стандартами.

Усі технологічні документи поділяються на:

- основні (загального та спеціального призначення);
- допоміжні.

Допоміжна технологічна документація використовується при розробці, впровадження та супроводу ТП, сюди належать:

- акти впровадження;
- карта замовлення;
- акти реєстрації.

Основні технологічні документи загального призначення включають форми технологічних документів, та не залежать від типу обладнання, операцій та інше. До них відносяться:

- титульна сторінка;
- карти ескізів;
- інструментальні налагодження.

Технологічні документи спеціального призначення включають:

- маршрутні карти ТП (МК);
- карти ТП (КТП);

- карти типового ТП (КТТП);
- операційні карти (ОК);
- карти типових операцій (КТО);
- карти налагодження (КН).

Стандарт передбачає різні види карт залежно від обладнання, що використовується: верстати з ЧПУ або універсальне обладнання.

Загальні правила заповнення технологічних документів.

При заповненні МК і ОК, кожен рядок по горизонталі ділиться навпіл, інформація записується в нижній його частині.

Допускаються скорочення, які дозволені стандартами. У незаповнених графах за відсутності інформації ставляться прочерки (4-5 мм). Запис здійснюється рядками із прив'язкою до спеціальних кодових символів у лівій частині документа.

Найменування операції обробки різанням присвоюється за видом технологічного обладнання, що застосовується для її виконання, і записується прикметником в називному відмінку. Найменування операцій слід записувати відповідно до класифікатора технологічних операцій машинобудування та приладобудування.

У змісті операції повинні бути відображені всі необхідні дії, що виконуються в технологічній послідовності виконавця або виконавцями з обробки виробів або його складових частин на одному робочому місці. У разі виконання на одному робочому місці інших видів робіт (крім обробки різанням), що виконуються іншими робітниками, їх дії також слід відображати у змісті операції.

При записі змісту переходу допускається повна чи скорочена форма запису.

До змісту переходу (операції) при його повному записі має бути включено:

- ключове слово, що характеризує метод обробки, виражене дієсловом в невизначеній формі (наприклад, обточити, точити, розточити, свердлити, роз-

свердли, зенкерувати, розгорнути, протягнути, нарізати, відрізати, фрезерувати, довбати, стругати, закруглити, хонінгувати, шевінгувати, накатати, закріпити, встановити, перевстановити, зняти, вивірити, піджати, змастити, контролювати, тощо);

- найменування оброблюваної поверхні конструктивних елементів або предметів виробництва (наприклад, поверхня, отвір, циліндр, конус, контур, сфера, торець, фаска, лиска, паз, жолобник, канавка, виточення, різьблення, рифлення, зуби, черв'як, заготовка, деталь, тощо);

- інформація щодо розмірів або їх умовних позначень;

- додаткова інформація:

- характеризує кількість одночасно або послідовно оброблюваних поверхонь, характер обробки (наприклад, послідовно, одночасно, за копіром, за програмою, з підрізанням торців, по розмітці, тощо);

- уточнююча назва оброблюваної поверхні або конструктивного елемента (наприклад, внутрішня, зовнішня, глуха, наскрізна, кільцева, конічна, криволінійна, фасонна, шліцевий, шпонковий, Т-подібний, тощо);

- що вказує на заключні дії (наприклад, попередньо, остаточно);

- при неповному викладі інформації в текстовій частині (наприклад, згідно креслення, ескізу).

Порядок формування повного запису змісту переходу можна умовно висловити як коду.

Повний запис слід виконувати за необхідності перерахування всіх розмірів, що витримуються. Цей запис є й у проміжних переходів, які мають графічні ілюстрації. У цьому випадку у записи змісту переходу слід зазначати виконавчі розміри зі своїми граничними відхиленнями.

Наприклад :

1. Обточити поверхню, витримуючи розміри $d = 40_{-0,34}$ та $l = 100 \pm 0,6$.

Проставлення службових символів обов'язкове. Допускається не проставляти їх на наступних рядках, що несуть цю інформацію.

Службові символи позначаються літерами абетки.

А – вказується номер цеху, ділянки чи робочого місця, де виконувалася операція, і навіть код найменування операцій, позначення документів, які використовуються під час операцій.

Б – код найменування та модель обладнання, інформація про трудовитрати.

К – інформація про комплектацію виробу.

М – інформація про основний матеріал і вихідну заготовку із зазначенням коду матеріалу, коду одиниці величини, кількість виробу, норму витрати.

О – зміст операції.

Т – інформація про технологічне оснащення.

Р – дані про технологічні режими обробки.

При опису операцій запис проводиться по всій довжині рядка з можливістю перенесення на наступні рядки в кінці опису переходу, а при можливості на новому рядку необхідно вказати основний і допоміжний час його виконання. Допускається після вказівки переходу перераховувати технологічні вимоги або спеціальні вказівки з використанням скорочень. Додаткова інформація щодо переходу записується у певних рядках, причому у першій колонці вказується належність інформації до певної групи (код).

ПР – пристосування;

РІ – ріжучий інструмент;

ДІ – допоміжний інструмент;

МІ – слюсарно-монтажний інструмент;

ЗВ – засіб виміру;

Р – режими обробки.

При оформленні ілюстрацій технологічного процесу на картах ескізів слід керуватися такими вимогами:

1. Зображення заготовок (деталей) повинні бути представлені в їхньому робочому положенні, тобто таким чином, як вони встановлені на верстаті під час обробки при виконанні даного переходу (операції). Саме так бачить їх робітник з робочого місця. Це основний вид заготовки (деталі) на ілюстрації.

Головний вид на ілюстрації може не збігатися з основним видом на кресленні деталі.

2. Кількість видів заготовки (деталі) має бути мінімальною, але достатньою для повного урозуміння процесу обробки, вказівки всіх оброблювальних на даному переході (операції) поверхонь.

3. Зображення деталі слід виконувати після обробки на цій операції або переході.

4. Зображення деталі слід виконувати без дотримання масштабу, але із зразковим витримуванням пропорцій (графічних елементів).

5. Поверхні деталі, що підлягають обробці, слід виділяти червоним кольором або лінією завтовшки 2S.

6. Поверхні, що обробляються, нумерують арабськими цифрами в порядку їх обробки. Порядковий номер розміру або конструктивного елемента поверхні, що обробляється, слід проставляти в колі діаметром $6 \div 8$ мм і з'єднувати з розмірною або виносною лінією.

7. Для складних криволінійних поверхонь, що мають безліч розмірів, які повинні бути витримані у разі застосування засобів технологічного оснащення (верстати з ЧПУ, гідросупорти, копіри, тощо), слід наводити умовне позначення їхньої поверхні з використанням виносної лінії зі стрілкою. На ескізі показують лише основні базові розміри.

8. При вказівці довідкових розмірів достатньо на ескізі відзначити їх знаком «*» без наведення текстового запису «Довідкові розміри».

9. Якщо операція містить кілька установ або позицій, то для кожного установу (позиції) виконується самостійне графічне зображення.

10. За потреби у лівій верхній частині ескізу вказується позначення установу чи позиції, наприклад: «Установ А», «Позиція III». Допускається підкреслення інформації щодо установ та позицій.

11. Графічне зображення виконується для кожного технологічного переходу установка. Для позиції виконується одне графічне зображення, у тому числі і у разі, коли на одній позиції обробка здійснюється одночасно з поздовжнього та поперечного супорта або з різних сторін.

12. Інструмент зображується у кінцевому робочому положенні (після виконання переходу).

13. На ілюстрації вказується схема базування та закріплення деталі умовними знаками відповідно до стандартів.

14. На ілюстрації технологічного процесу вказуються всі рухи, що здійснюються заготовкою, інструментом, а також рухомими частинами верстата.

15. На ілюстрації вказуються всі технологічні розміри та їх граничні відхилення, які витримуються під час переходу (операції). Граничні відхилення розмірів вказують лише як числові позначення.

16. На ілюстрації технологічного процесу вказуються допуски форми та розташування поверхонь, які забезпечуються під час переходу (операції).

17. На ілюстрації технологічного процесу вказується шорсткість оброблюваних поверхонь, причому вказується шорсткість, яка забезпечується при виконанні даного переходу. Якщо кілька оброблюваних поверхонь мають однакову шорсткість, то її значення вказують у правому верхньому кутку ескизу, як на кресленнях.

18. При необхідності в зонах для ескізів допускається розміщувати таблиці та відповідні технічні вимоги.

Приклад графічного зображення поверхонь, що обробляються, та закріплення заготовки на карті ескізів наведено на рисунку 1.7.

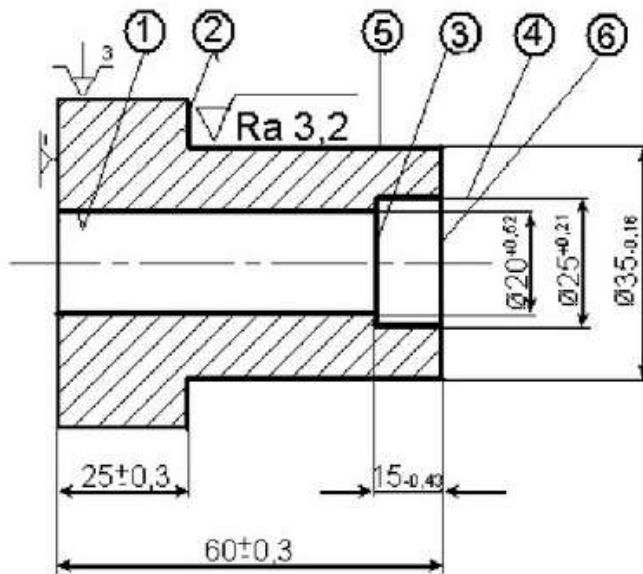


Рис. 1.7. Зображення поверхонь на карті ескізів.

Для складних операцій практично для всіх типів серійного та масового виробництва під час розробки технологічного процесу формуються карти інструментальних налагоджень. Особливо вони необхідні для обробки на багатопозиційних або багатошпindelних верстатах. Інструментальні налагодження представлені у вигляді складального креслення та є основним документом для налаштування пристосування, різального інструменту та виконуються з дотриманням масштабу, до них складаються специфікації відповідно до вимог ЕСКД. При цьому необхідно дотримуватись таких правил:

1. Установочно-затискні пристрої (патрони, лещата, центри, прихвати, тощо) викреслюються в розрізі із зазначенням їх внутрішньої конструкції, щоб був зрозумілий принцип роботи. Допускається представлення установочно-затискних пристроїв у розрізі тільки на графічному зображенні у першій позиції. На наступних позиціях слід опори та затискачі вказувати відповідно до стандартних позначень.

2. На налагодженні вказується спосіб кріплення інструменту. Якщо на головному вигляді не можна показати спосіб кріплення інструменту, виконують додаткові перерізи (наприклад, при кріпленні різців).

3. Зверху креслення налагодження вказується номер операції, код, найменування, під ними модель верстата.

4. На налагодженні вказуються таблиця технологічних режимів та інструментів (карта налагодження для верстатів з ЧПК). Перелік технологічних режимів, що вказуються в таблиці, повинен відповідати переліку для відповідного методу обробки.

6. Інші вимоги щодо оформлення налагоджень на операції аналогічні вимогам до ілюстрацій технологічного процесу.

На рисунку 1.8. наведено приклад оформлення інструментального налагодження на токарну операцію на верстаті з ЧПК, а на рисунку 1.9 – на фрезерно-центрувальну операцію на спеціальному фрезерно-центрувальному верстаті МР-73.

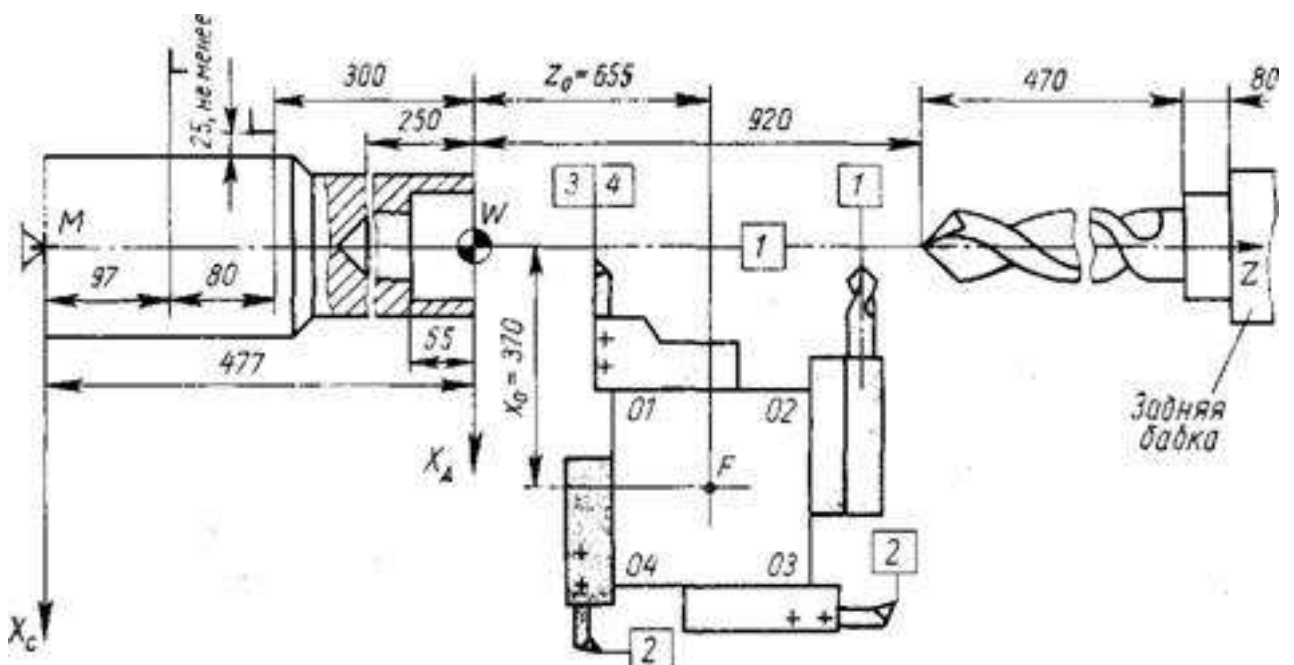


Рис. 1.8. Приклад оформлення інструментального налагодження на токарну операцію на верстаті з ЧПУ.

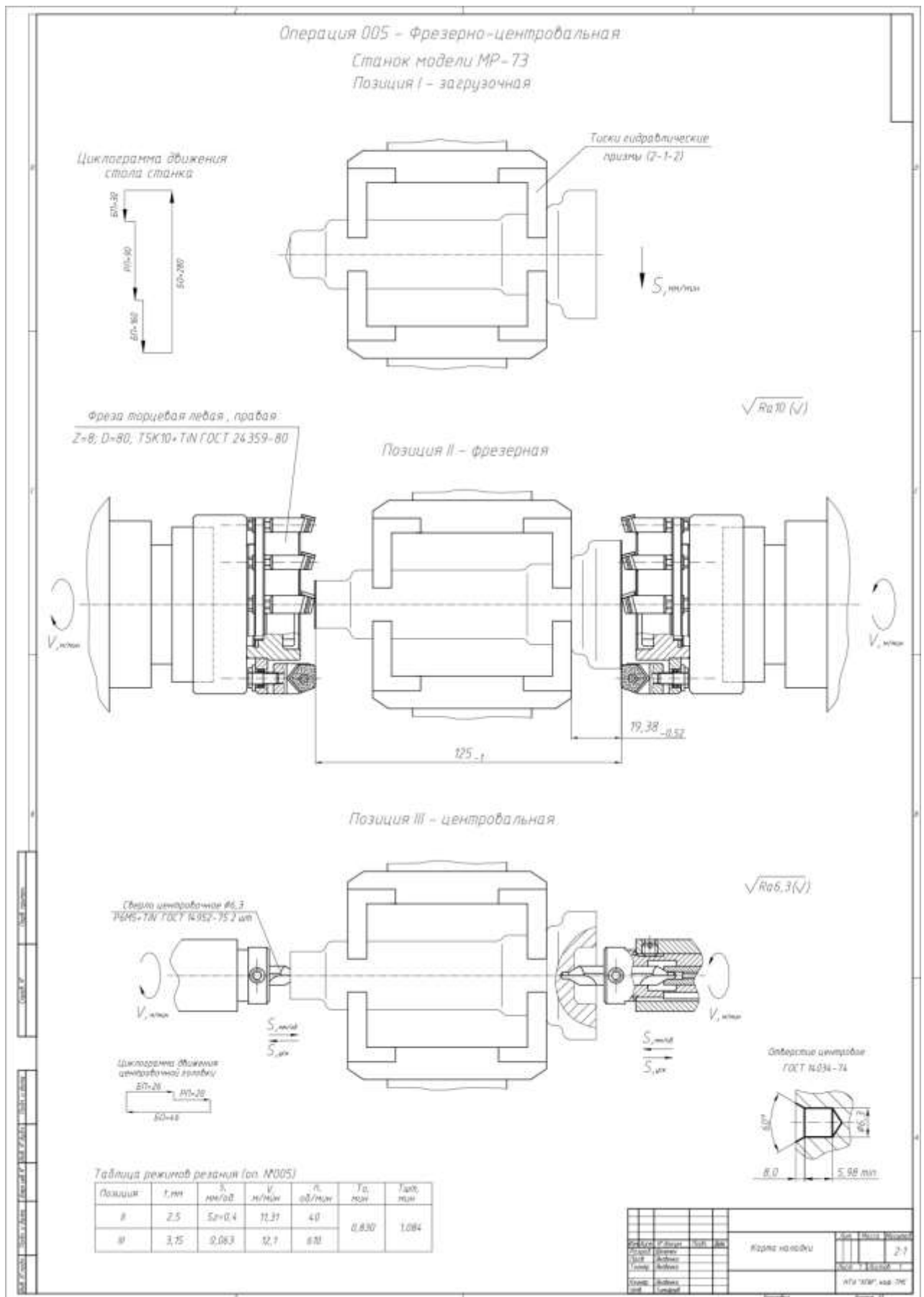


Рис. 1.9. Приклад оформлення інструментального налагодження на фрезерно-центрувальну операцію.

Запитання для самоконтролю:

1. *Які основні завдання вирішує технологія машинобудування?*
2. *Які основні поняття технології машинобудування? Машина, властивості машини.*
3. *Що включає виробничий процес? Його елементи .*
4. *Які основні засади організації виробничого процесу?*
5. *Що включає підготовку виробничого процесу? Його етапи.*
6. *Які типи машинобудівного виробництва існують? Їхні основні характеристики.*
7. *Що таке потокове та непотокове машинобудівне виробництво?*
8. *Що входить у технологічний процес? Його елементи*
9. *Що таке перехід? Основні та допоміжні переходи.*
10. *Як організовано виробничу структуру цеху?*
11. *Які існують види технологічних процесів у машинобудуванні?*
12. *Що включає технологічну документацію машинобудівного виробництва?*
13. *Як класифікуються технологічні процеси?*
14. *Які основні правила заповнення технологічної документації?*

2. Матеріали у машинобудуванні

Основна тенденція сучасного машинобудування - застосування матеріалів, які забезпечують необхідні конструктивні та експлуатаційні властивості та мають підвищену оброблюваність на всіх стадіях виробничого процесу. Тобто матеріали повинні мати необхідний запас певних властивостей, які характеризують їх фізико-механічні, хімічні, технологічні та експлуатаційні характеристики, необхідні для ефективного функціонування машини.

У якості заготовки для деталей в машинобудуванні можуть використовуватися різні матеріали і, відповідно, застосовуватися різні способи отримання заготовок. Матеріал заготовки для деталей виробу, що випускається, задається проектувальником на стадії маркетингових досліджень та конструкторської підготовки виробництва. Тому завдання технолога підібрати конфігурацію та спосіб отримання заготовки, які забезпечують мінімальні витрати в процесі випуску виробу, як на етапі виготовлення заготовки, так і за її подальшої механічної обробки.

При виборі способу виробництва заготовок необхідно врахувати такі фактори:

1) матеріал деталі.

Наприклад, заготовки з чавуну отримують литтям, заготовки із сталі – найбільш доцільно методом пластичної деформації, рідше литтям та зварюванням.

2) конфігурація деталі.

Наприклад, корпусні деталі складного профілю практично неможливо отримати методами пластичного деформування, тому їх відливають. Заготовки валів найчастіше одержують методом пластичної деформації або з прокату, порожнистих шпинделів – із труб, тощо.

3) Програма випуску деталей, чи тип виробництва.

Чим більша річна програма випуску, тим досконаліший спосіб отримання заготовок можна застосувати, тому що висока вартість прес-форм, штампів або ливарних моделей буде рознесена на велику кількість заготовок.

2.1. Матеріал заготовки.

У машинобудуванні використовуються різні види матеріалів, які забезпечують необхідні технічні характеристики машин, їх вузлів та елементів, залежно від умов експлуатації. Найбільшого поширення набули різні металеві матеріали. Проте, останнім часом у різних галузях машинобудування все більше використовуються неметалеві та композиційні матеріали, які замінюють традиційні метали.

2.1.1. Властивості матеріалів.

При виборі матеріалу заготовки конструктор спирається на ряд властивостей, які забезпечують надалі необхідні експлуатаційні якості та ремонтпридатність виробу. Властивість - це кількісна або якісна характеристика матеріалу, що визначає його спільність або різницю з іншими матеріалами.

Розрізняють такі групи властивостей:

Механічні властивості визначають здатність матеріалів чинити опір впливу зовнішніх сил. Зовнішнє навантаження викликає у твердому тілі напругу та деформацію. Напруга - це сила, що діє на одиницю площі перерізу деталі. Деформація - це зміна форми та розмірів тіла під впливом зовнішніх сил.

До основних механічних властивостей відносяться:

Твердість - здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього твердішого тіла під дією навантаження.

Міцність - здатність матеріалу чинити опір деформації або руйнуванню під дією різних навантажень.

Пластичність - здатність матеріалу змінювати свої розміри та форму під дією зовнішніх сил без руйнування.

В'язкість (ударна) - здатність матеріалу чинити опір швидко зростаючим ударним навантаженням.

Пружність - здатність матеріалу відновлювати свою первісну форму і розміри після зняття навантаження, що діє.

Крихкість - властивість матеріалів руйнуватися під впливом зовнішніх сил без залишкових деформацій.

Втома — властивість матеріалів змінювати механічні та фізичні характеристики під дією циклічно змінюваних навантажень, деформації та напруги у часі, а властивість протистояти втомі називається *витривалістю*.

Повзучість – здатність матеріалу до повільної та безперервної пластичної деформації при дії постійного навантаження чи напруги. Особлива увага приділяється цій властивості для деталей, що працюють за високих температур.

Фізичні властивості матеріалів обумовлені їх складом та структурою.

Щільність - це маса однорідної речовини, що міститься в одиниці об'єму. Ця властивість важлива при використанні матеріалів в авіаційній та ракетній техніці, де створювані конструкції повинні бути легкими та міцними.

Плавлення - здатність металу переходити з кристалічного (твердого) стану в рідкий з поглинанням теплоти. Чим нижче температура плавлення металу, тим легше протікають процеси його плавлення, зварювання і тим вони дешевше.

Теплопровідність - здатність матеріалу з тією чи іншою швидкістю проводити теплоту під час нагрівання.

Теплове розширення – здатність матеріалу збільшувати свій об'єм при нагріванні. Цю властивість важливо враховувати під час будівництва мостів, прокладання залізничних та трамвайних колій, тощо.

Електропровідність – здатність матеріалу проводити електричний струм. Хорошу електропровідність мають метали та їх сплави, особливо мідь і алюміній. Більшість неметалічних матеріалів не здатні проводити електричний струм.

Магнітні властивості - здатність матеріалу намагнічуватися (мають залізо, нікель, кобальт та їх сплави).

Металевий блиск - здатність поверхні металу відбивати світлові промені.

Хімічні властивості - здатність матеріалів протистояти окисленню та руйнуванню під дією зовнішнього середовища.

Корозійна стійкість - здатність металів і сплавів чинити опір дії різних агресивних середовищ.

Хімічна стійкість - здатність неметалевих матеріалів протистояти шкідливому впливу різних речовин.

Розчинність - здатність матеріалу розчиняються в тому чи іншому розчиннику.

Окислюваність - здатність матеріалу поєднуватися з киснем.

Технологічні властивості характеризують здатність матеріалів піддаватися різним методам гарячої та холодної обробки. Технологічні властивості часто є визначальними при виборі матеріалу для конструкції.

Основні технологічні властивості:

Ливарні властивості характеризуються здатністю металів і сплавів у розплавленому стані добре заповнювати порожнину ливарної форми і точно відтворювати її контури (рідкотекучість), величиною зменшення об'єму при затвердінні (усадкою), схильністю до утворення тріщин і пор (тріщиностійкість), схильністю до поглинання газів у розплавленому стані (газонасичення).

Деформованість (ковкість) - це здатність матеріалів набувати необхідної форми під впливом зовнішнього навантаження (удару або тиску) без руйнування і при найменшому опорі навантаженню.

Зварюваність - це здатність матеріалів утворювати нероз'ємні з'єднання необхідної якості. Оцінюється за якістю зварного шва.

Оброблюваність називають властивості матеріалів піддаватися обробці різанням. Критеріями оброблюваності є режими різання та якість поверхневого шару.

Загартовуваність - здатність матеріалу підвищувати свою твердість у результаті загартування. Загартуванням називається вид термічної обробки, при якій матеріал нагрівають вище критичної температури з подальшим швидким охолодженням. Деякі сталі мають погане гартування, що залежить в основному від вмісту в них вуглецю (чим менше вуглецю, тим нижче твердість сталі).

Прожарюваність - здатність матеріалу гартуватися на певну глибину.

Експлуатаційними (службовими) називають *властивості матеріалу*, які визначають працездатність деталей машин, приладів або інструментів:

Зносостійкість - здатність матеріалу чинити опір руйнуванню поверхневих шарів під дією зовнішнього тертя.

Корозійна стійкість - здатність матеріалу чинити опір дії агресивних кислотних, лужних середовищ.

Холодостійкість - здатність матеріалу зберігати пластичні властивості при температурах нижче 0 градусів за Цельсієм.

Жароміцність - здатність матеріалу зберігати механічні властивості при високих температурах.

Жаростійкість характеризує здатність матеріалу чинити опір окисленню в газовому середовищі при високій температурі.

Антифрикційність - здатність матеріалу додаватися до іншого матеріалу.

Радіаційна стійкість – здатність матеріалу чинити опір дії ядерного опромінення.

2.1.2. Класифікація матеріалів.

Металеві матеріали.

До них відносяться всі метали та їх сплави. Серед них можна виділити кілька груп, що відрізняються одна від одної за властивостями:

чорні метали (залізо та сплави на його основі);

кольорові метали (мідь, алюміній, титан, нікель, інші метали, та їх сплави);

благородні метали (золото, срібло, платина);

рідкісноземельні метали (лантан, неодим та інші).

Метали належать до однієї групи хімічних елементів.

Металеві сплави — це матеріали, що мають металеві властивості та складаються з двох або більшої кількості хімічних елементів, з яких хоча б один є металом. Речовини, що утворюють метал, називаються компонентами. Найпоширеніший спосіб отримання сплавів – затвердіння однорідної суміші з розплавлених компонентів.

Неметалеві матеріали. Серед них можна виділити кілька груп: пластмаси; кераміка; металокераміка; скло; гума (матеріали на основі каучуку з додаванням сірки та інших елементів); дерево (складна органічна тканина деревних рослин) та інші.

Композиційні матеріали. Вони є композиції, отримані штучним шляхом з двох або більше різнорідних матеріалів, що сильно відрізняються один від одного за властивостями. В результаті композиція матеріалів суттєво відрізняється за властивостями від складових компонентів, тобто одержуваний матеріал має новий комплекс властивостей. До складу композиційних матеріалів можуть входити як металеві, так і неметалеві складові.

Основну частку матеріалів в машинобудуванні займають залізобуглецеві сплави. Залізобуглецеві сплави - це сталі та чавуни, які є основними матеріалами, що зараз використовуються при виробництві машин. Проектувальнику і технологу необхідно розбиратися в позначення різних марок цих матеріалів, так як в цьому позначенні зазвичай вказуються основні метали і домішки, які формують розглянуті вище властивості, які необхідні для забезпечення запланованих характеристик виробу з одного боку, та ефективного виробництва цього виробу, з іншого боку. Позначення матеріалу відповідає певним стандартам. Досі українські виробники використовували стандарти, які прийняті ще в Радянському Союзі. Однак останнім часом, за рахунок розширення експорту металургійної промисловості до країн Європи, підприємства переходять на єв-

ропейські стандарти ISO. Ці стандарти передбачають своє маркування та відсотковий вміст домішок у залізовуглецевих сплавах. У цьому посібнику розглядається маркування відповідне до старих стандартів, які поки що достатньо широко використовуються на більшості підприємств України.

2.1.3. Чавуни

Чавун - це сплав заліза з вуглецем, в якому вміст останнього перевищує 2,14%. У чавуні є домішки кремнію, марганцю, фосфору та сірки. Чавуни відносяться до матеріалів з високими ливарними властивостями. У чавунів нижча, ніж у сталей, температура плавлення, висока рідкотіркість, мала усадка, що дозволяє відливати деталі досить складної форми (рис.2.1) .



Рис.2.1. Приклад деталей з чавуну .

Властивості чавуну сильно залежать від технології виготовлення. Спрощено технологія виготовлення чавуну зводиться до наступного: береться металевий брухт, розплавляється у великому чані – чавун готовий. Звичайно, все набагато складніше, але чим більше різних матеріалів на вході, тим менш пе-

редбачуваними є властивості чавуну на виході, а це серйозно ускладнює подальшу механічну обробку. Незважаючи на це, метал з економічної точки зору ідеально підходить для виготовлення великих партій деталей і широко використовується в верстатобудуванні, загальному машинобудуванні та автомобільній промисловості.

Застосовується безліч видів чавуну, включаючи ковкий, білий, сірий та високоміцний (з кулястим графітом).

Білий чавун (передільний) в основному переробляють на сталь, оскільки він має високу твердість і крихкість і погано піддається механічній обробці. Білий чавун є сплавом, в якому надлишковий вуглець, що не знаходиться в твердому розчині заліза, присутній у зв'язаному стані у вигляді карбідів заліза Fe_3C (цементит) або у вигляді спеціальних карбідів (в легованому чавуну). Кристалізація білих чавунів відбувається за метастабільною системою з утворенням цементиту та перліту. Білий чавун використовується як зносостійкий конструкційний матеріал. Так як білий чавун містить карбід заліза, то на зламі він має дрібнозернисту структуру та дзеркальну сріблясто-білу поверхню. Білий чавун внаслідок низьких механічних властивостей та крихкості має обмежене застосування для деталей простої конфігурації, що працюють в умовах підвищеної абразивної амортизації.

Сірий чавун (ливарний) - вид чавуну, який найбільш широко застосовується (машинобудування, сантехніка, будівельні конструкції) - має включення графіту пластинчастої форми. Через малу усадку при литті та хорошій плинності застосовується для отримання виливків. Для деталей із сірого чавуну характерні мала чутливість до впливу зовнішніх концентраторів напруги при циклічних навантаженнях і вищий коефіцієнт поглинання коливань при вібраціях деталей (у 2-4 рази вище, ніж у сталі). Важлива конструкційна особливість сірого чавуну - більш високе, ніж у сталі, відношення межі плинності до межі міцності на розтяг. Наявність графіту покращує умови мастила при терті, що підвищує антифрикційні властивості чавуну. Перлітний сірий чавун має ви-

сокі властивості міцності і застосовується для циліндрів, втулок та інших навантажених деталей двигунів, станин, тощо. Для менш відповідальних деталей використовують сірий чавун із феритно-перлітною металевою основою. У більшості марок сірого чавуну вміст вуглецю від 2,9 до 3,7 %. Сірий чавун характеризується великою міцністю на стиск, проте погано чинить опір ударам. Його не можна піддавати розтягуванню, скручуванню та згинанню. Зважаючи на невисокі механічні властивості у виливків із сірого чавуну та простоту отримання, їх застосовують для виготовлення деталей менш відповідального призначення, а також деталей, що працюють за відсутності ударних навантажень. Зокрема, з них роблять кришки, шківни, станини верстатів та пресів.

Легований чавун — це чавун, до складу якого входять легуючі елементи (Ni, Cr, Cu, Al, Ti, W, V, Mo та інші). Легуючими елементами можуть бути також Mn при вмісті > 2% і Si при вмісті > 4%. Леговані чавуни класифікують відповідно до змісту основних легуючих елементів - хромистих, нікелевих, алюмінієвих та інше. За ступенем легування розрізняють низьколеговані (сумарна кількість легуючих елементів < 2,5%), середньолеговані (2,5-10%) та високолеговані (>10%). Низьколеговані чавуни мають перлітну або бейнітну структуру матриці, середньолеговані зазвичай мартенситну, високолеговані в більшості випадків аустенітну або феритну.

Легований чавун відрізняється високою корозійною стійкістю та жароміцністю, а також має гарні механічні властивості. Його застосовують для виготовлення деталей машин з підвищеними механічними властивостями, що працюють у водних розчинах, газових та інших агресивних середовищах.

Залежно від призначення розрізняють зносостійкі, жаростійкі, жароміцні, корозійностійкі та антифрикційні чавуни.

Зносостійкий чавун. Такі чавуни леговані нікелем (до 5,0%) та хромом (0,8%), застосовують для виготовлення деталей, що працюють в абразивних середовищах. Чавуни (до 0,6% Cr і 2,5% Ni) з додаванням титану, міді, вана-

дія, молібдену мають підвищену зносостійкість в умовах тертя без мастильного матеріалу. Їх використовують для виготовлення гальмівних барабанів автомобілів, дисків зчеплення, гільз циліндрів, тощо.

Жаростійкий легований чавун має стійкість до утворення окалини. Його випускають з добавками алюмінію, хрому та кремнію. Застосовуються для виготовлення деталей дизелів, компресорів та інших.

Корозійно-стійкий легований чавун має підвищену корозійну стійкість у газовому, повітряному та лужному середовищах. Його застосовують для виготовлення деталей вузлів тертя, що працюють при підвищених температурах (поршневих кілець, блоків та головок циліндрів двигунів внутрішнього згоряння, деталей дизелів, компресорів, тощо).

Антифрикційний чавун використовується як підшипникові сплави, здатні працювати в умовах тертя як підшипники ковзання. Для легування антифрикційних чавунів використовують хром, мідь, нікель, титан.

Спеціальний чавун (або феросплав) має підвищений вміст кремнію або марганцю.

Ковкий чавун отримують термообробкою з виливків білого чавуну і підданих подальшому графітизуючому відпалу, в результаті чого цементит розпадається, а графіт, що утворюється, набуває форми пластівців. Він отримав свою назву через підвищену пластичність і в'язкість (хоча обробці тиском його не піддають). Ковкий чавун має підвищену міцність при розтягуванні і високий опір удару. Ковкий чавун має кращу демпфіруючу здатність, ніж сталь, і меншу чутливість до надрізів, що задовільно працює при низьких температурах. Механічні властивості ковкого чавуну визначаються структурою металевої основи, кількістю та ступенем компактності включень графіту. Металева основа ковкого чавуну в залежності від типу термообробки може бути феритною, феритно-перлітною та перлітною. Найбільш високі властивості має ковкий чавун, що є матрицю зі структурою зернистого перліту; ним можна замінювати литу або куту сталь. У тих випадках, коли потрібна підвищена пластичність, застосовують феритний чавун. З ковкого чавуну виготовляють дрібні

та середні тонкостінні виливки складної форми відповідального призначення, що працюють в умовах динамічних знакозмінних навантажень (деталі приводних механізмів, коробок передач, гальмівних колодок, шестерень, тощо). Ковкий чавун використовують в основному в автомобіле-, тракторо - та сільгоспмашинобудуванні. Спостерігається тенденція (особливо в автомобілебудуванні) до заміни ковкого чавуну високоміцним з кулястим графітом з метою підвищення міцності виливків, зменшення тривалості технологічного циклу та спрощення технології виготовлення.

Високоміцний чавун характеризується кулястою або близькою до неї формою включень графіту. Його отримують модифікуванням рідкого чавуну присадками Mg, Cr, Ca та деяких інших елементів (у чистому вигляді або у складі сплавів). Кулястий графіт найменшою мірою послаблює металеву матрицю, що призводить до різкого підвищення механічних властивостей чавуну із суто перлітною або бейнітною структурою, наближаючи їх властивості до властивостей вуглецевих сталей. При чисто феритної матриці (в литому або термообробленому стані) забезпечується підвищений рівень пластичності. Високоміцний чавун має хороші ливарні та технологічні властивості (рідкотекучість, лінійна усадка, оброблюваність різанням), але за значенням зосередженої об'ємної усадки наближається до сталі. Високоміцні чавуни, що мають включення вермікулярного графіту (при розгляді в оптичному мікроскопі - потовщені вигнуті пластини з округленими краями), за властивостями займають проміжне положення між чавуном із кулястим і чавуном із пластинчастим графітом. Чавун з вермікулярним графітом застосовується у дизелебудуванні та інших галузях машинобудування. Такий чавун використовується для заміни сталевих литих та кованих деталей для виготовлення відповідальних виробів - колінчастих валів, поршнів, шестерень, гальмівних колодок та інше, а також деталей з ковкого або звичайного сірого чавуну. Також із високоміцного чавуну виготовляють труби. Високоміцний чавун є найперспективнішим ливарним сплавом, за допомогою якого можна вирішувати проблему зниження маси металевої конструкції при збереженні її високої надійності та довговічності.

2.1.4. Сталі.

Сталь - матеріал (сплав заліза з вуглецем), в якому масова частка заліза більша, ніж масова частка будь-якого іншого елемента, а масова частка вуглецю становить менше 2%, та до складу якого входять також інші хімічні елементи.

Залежно від *хімічного складу* розрізняють два типи сталей - **вуглецеві та леговані**.

За *призначенням* стали поділяють на **конструкційні** (для виготовлення деталей машин, конструкцій та споруд), **інструментальні** та сталі **спеціального призначення** (стали з особливими електричними, магнітними властивостями та інше).

Класифікація сталей.

Вуглецеві сталі відносяться до залізовуглецевих сплавів із вмістом вуглецю від 0,05 до 1,35 %. Вуглецеві конструкційні сталі містять до 0,65% С, інструментальні - більше 0,65% С. За вмістом вуглецю вуглецеві сталі діляться на **низьковуглецеві** (до 0,25% С), **середньовуглецеві** (0,3-0,60% С) та **високовуглецеві** (понад 0,60 % С).

Вуглець істотно впливає на властивості сталі навіть за незначної зміни його змісту. З підвищенням вмісту вуглецю до 1,2% знижуються пластичність і в'язкість сталі та підвищуються твердість та міцність. Підвищення вмісту вуглецю впливає і на технологічні властивості сталі: ковкість, зварюваність та оброблюваність різанням погіршуються, але ливарні властивості покращуються.

Крім заліза та вуглецю у сталі завжди присутні постійні домішки. Наявність домішок пояснюється технологічними особливостями виробництва сталі (марганець, кремній) та неможливістю повного видалення домішок, що потрапили в сталь із залізної руди (сірка, фосфор, кисень, водень, азот). Можливі також випадкові домішки (хром, нікель, мідь, тощо).

Марганець і кремній вводять у будь-яку сталь для розкислення або видалення шкідливих домішок оксиду заліза FeO. Марганець також усуває шкідливі сірчисті сполуки заліза. У цьому випадку вміст марганцю зазвичай перевищує 0,8 %, а кремнію — 0,4 %. Марганець підвищує міцність, а кремній – пружність сталі.

Фосфор знижує пластичність та в'язкість, але підвищує міцність сталі. Шкідливий вплив фосфору полягає в тому, що він сильно підвищує температуру переходу сталі в крихкий стан, тобто викликає її холоднокламкість. Шкідливість фосфору також посилюється тим, що може розподілятися в сталі нерівномірно. Тому вміст фосфору сталі обмежується величиною 0,045 %.

Сірка також є шкідливою домішкою. Вона нерозчинна в залозі і утворює з ним сульфід заліза FeS, який робить сталь крихкою при високих температурах. Це явище називається червоноламкістю. Кількість сірки у сталі обмежується 0,05 %.

Водень, азот і кисень містяться в сталі у невеликих кількостях. Вони є шкідливими домішками, що погіршують властивості сталі.

Леговані сталі - це сплави на основі заліза, до складу яких спеціально введені в певних концентраціях хімічні (легуючі) елементи, що забезпечують сплаву необхідну структуру та властивості.

Хром, що широко застосовується для легування (у конструкційних сталях до 3,0%), підвищує твердість і міцність, зносостійкість. Завдяки високій зносостійкості хромистої сталі, з неї виготовляють підшипники кочення. При вмісті понад 13% хрому сталь стає корозійностійкою (нержавіючою). Подальше збільшення вмісту хрому надає сталі антикорозійності при високих температурах.

Нікель надає сталі міцності, високої пластичності, корозійної стійкості та збільшує щільність.

Вольфрам підвищує твердість і міцність сталі, сприяє утворенню дрібнозернистої структури. Він вводиться в інструментальну сталь для підвищення

червоностійкості. Додатки вольфраму в сталь також підвищують її жароміцність.

Молибден (у конструкційних сталях у кількості 0,2-0,6%), підвищує міцність і твердість, та незначно знижує пластичність. У інструментальних (швидкорізальних) сталях молибден підвищує червоностійкість. Найбільш цінною властивістю молибдену є підвищення жароміцності сталі.

Ванадій підвищує міцність, сприяє утворенню дрібнозернистої структури, підвищує пружність та опір втоми сталі.

Марганець підвищує механічні властивості, а при підвищенні вмісту до 13% надає їй зносостійкості та магнітостійкості.

Кремній, як і марганець, є неминучою домішкою сталі. В конструкційних легованих сталях його міститься до 2%, він підвищує міцність та пружність сталі при збереженні в'язкості (ресори та пружинні сталі). Підвищений вміст до 21% збільшує електроопір і магнітну проникність.

Ніобій та титан додають у сталь у кількостях 0,1-0,2%, вони підвищують механічні властивості.

Алюміній вводиться для підвищення твердості азотируємої сталі. При вмісті 5-6% алюмінію сталі набувають підвищеної окалиностійкості.

Вуглецеві сталі звичайної якості

Це найдешевші сталі. Вони допускають підвищений вміст шкідливих домішок, і навіть газонасиченість та забрудненість неметалевими включеннями, оскільки вони виплавляються за нормами масової технології.

Конструкційні якісні та спеціальні сталі

Якісні та спеціальні сталі маркуються літерами та цифрами. Двозначні числа показують середній вміст вуглецю у сотих частках відсотка.

Таку сталь використовують для виготовлення автомобільних шестерень, тонких шпинделів, зубчастих передач та інших деталей, які потребують високої зносостійкості.

Леговані конструкційні сталі.

Залежно від хімічного складу та властивостей конструкційна сталь ділиться на такі категорії: якісна; високоякісна - А; особливо високоякісна - Ш.

Сталі будівельні застосовують для будівельних конструкцій, армування залізобетону, магістральних нафтопроводів та газопроводів та ін.

Сталі підшипникові застосовують при виробництві деталей підшипників кочення (кільця, ролики, кульки, голки).

Автоматні сталі призначені для виготовлення деталей обробкою різанням. Сірчисті сталі А12, А20 використовують для виготовлення кріпильних деталей та малонавантажених виробів складної форми, але з високими вимогами за розмірами та чистотою поверхні. Сталі А30, А40Г призначені для деталей, що зазнають більш високу напругу. Сталі, які містять свинець типу АС40, широко застосовують на автомобільних заводах для виготовлення деталей двигунів на верстатах-автоматах.

Ресорно-пружинні вуглецеві та леговані сталі призначаються виготовлення пружних елементів загального призначення— пружин, ресор та інших.

2.1.5. Інструментальні сталі.

Вуглецеві інструментальні сталі призначені для виготовлення маловідповідального різального, вимірювального інструменту та штампів холодного і гарячого деформування. Вуглецеві інструментальні сталі є найдешевшими. Основні властивості для інструменту - зносостійкість та теплостійкість. Недоліком інструментальних вуглецевих сталей є втрата міцності при нагріванні вище 200 °С (відсутність теплостійкості). Інструмент вироблений з цих сталей застосовують для обробки м'яких матеріалів і при невеликих швидкостях різання або деформування. Використовуються для виготовлення різного роду різального інструменту, таких як свердла, мітчики, розгортки, напилки, протяжки, що працюють при легких режимах різання.

Леговані інструментальні сталі застосовують для виготовлення інструменту, що використовується при обробки металів та інших матеріалів у холодному стані та для обробки металів тиском при температурі вище 300 °С.

Швидкорізальні (вольфрамові) сталі широко застосовують для виготовлення ріжучого інструменту, що працює в умовах значного силового навантаження і нагріву (до 600-640 °С) ріжучих кромки. До цієї групи сталей відносяться високолеговані вольфрамом спільно з іншими карбідоутворюючими елементами (молібден, хром, ванадій) сталі, що набувають високу твердість, міцність, тепло-і зносостійкість.

Швидкорізальні сталі маркують літерою «Р» і числом, що показує середній вміст вольфраму, а також наступними літерами та цифрами, що вказують інші легуючі елементи та їх кількість, як у стандартному маркуванні легованих сталей. За основними властивостями швидкорізальні сталі поділяються на п'ять підгруп:

- 1) сталі помірної теплостійкості (типу Р9, Р6М5);
- 2) підвищеної зносостійкості (типу Р12Ф3, Р6М5Ф3);
- 3) підвищеної теплостійкості (типу Р6М5К5, Р9К5);
- 4) високої зносо- та теплостійкості (типу Р18К5Ф2);
- 5) високої твердості та теплостійкості з поліпшеною обробкою шліфуванням (типу Р9М4К8).

З швидкорізальної сталі виготовляють переважно кінцевий інструмент (мітчики, свердла, фрези невеликих діаметрів).

Для фасонних та складних інструментів (для нарізування різьблення та зубів), для яких основною вимогою є висока зносостійкість, рекомендують використовувати сталь Р18 (вольфрамова), проте високий вміст вольфраму значно здорожчує виготовлений інструмент. Вольфрамомолібденові сталі (Р9М4, Р6М3) використовують для інструментів, що працюють в умовах чорнової обробки, а також для виготовлення протяжок, довбаків, шеверів, фрез.

2.1.6. Нержавіючі сталі.

Корозійно-стійкі сталі та сплави — мають стійкість проти електрохімічної та хімічної корозії (атмосферної, ґрунтової, лужної, кислотної, сольової), міжкристалітної корозії, корозії під напругою та інших.

Жаростійкі (окалиностійкі) сталі і сплави - мають стійкість проти хімічного руйнування поверхні в газових середовищах при температурах вище 550°C, що працюють в ненавантаженому або слабонавантаженому стані.

Жароміцні сталі і сплави - працюють у навантаженому стані при високих температурах протягом певного часу і мають при цьому достатню жаростійкість.

2.1.7. Тверді сплави.

Твердими називаються сплави, до складу яких входять такі тугоплавкі елементи, як вольфрам, молібден, титан, хром, тощо. Зв'язуванням у твердих сплавах служать кобальт, нікель, залізо та інші метали.

За способом виробництва тверді сплави ділять на литі та металокерамічні.

Тверді сплави поділяються на три групи:

Вольфрамові виготовляються на основі карбиду вольфраму та кобальту. Застосовуються при обробці крихких матеріалів: чавуну, бронзи, пластмаси та ін. Маркуються літерами ВК та цифрою, що показує вміст кобальту у відсотках (ВК2, ВК6, ВК10).

Титановольфрамові тверді сплави додатково містять карбід титану і призначені для обробки більш в'язких матеріалів: сталі, латуні, тощо. Вони маркуються літерами Т, К і цифрами. Після букви Т вказується вміст карбиду титану в відсотках, а після букви К - кобальту (Т15К10, Т15К6).

Титанотанталовольфрамові містять додатково карбід титану, їх використовують для грубої чорнової обробки сталевих поковок. Ці сплави мають

вищу міцність, ніж сплави **ТК**. Маркуються літерами **ТТ**, після яких вказується сумарний вміст карбідів титану та танталу у відсотках та літерою **К**, після якої вказується вміст кобальту (ТТ7К12, ТТ10К8).

2.1.8. Кольорові метали.

Латунь - сплав міді з цинком (від 5 до 50%) з невеликими добавками алюмінію, кремнію, нікелю, марганцю, тощо.

Насправді дуже рідко використовують латуні, у яких концентрація цинку перевищує 45 %. Цинк дешевший матеріал у порівнянні з міддю, тому його введення в сплав одночасно з підвищенням механічних, технологічних та антифрикційних властивостей призводить до зниження вартості. Електропровідність та теплопровідність латуні нижче, ніж міді.

Латуні за технологічною ознакою поділяють на *деформовані* та *ливарні*.

Ливарні латуні використовують для виготовлення корозійно-стійких деталей у суднобудуванні, а також шестерень, гвинтів, черв'якових коліс, втулок і підшипників. З них отримують хороші виливки, так як латунь має гарну плинність і малу схильність до ліквації. Вони добре обробляються, особливо за наявності свинцю, і є корозійно-стійкими у вологій атмосфері та морській воді.

Латуні, що деформуються, обробляють пресуванням, прокаткою, волочінням і штампуванням. Застосовують латуні для виготовлення труб, листів, стрічок, смуг, прутків та поковок для деталей машин, приладів та агрегатів.

Бронзою називається сплав міді з оловом у різних пропорціях, сплави міді з оловом та цинком, а також деякими іншими металами або металоїдами (свинцем, марганцем, фосфором, кремнієм та ін. у невеликих кількостях).

Бронза має високі антифрикційні та механічні властивості, а також хорошу корозійну стійкість. Вона йде на виготовлення арматури та деталей механізмів, що працюють у вологій атмосфері та в інших агресивних середовищах.

Усі бронзи прийнято ділити на олов'яні та безолов'яні .

Олов'яні бронзи є хорошими антифрикційними матеріалами, наявність фосфору забезпечує хорошу рідкотіркість.

Безолов'яні бронзи - це сплави міді зі свинцем, алюмінієм, берилієм, залізом, кремнієм, хромом та іншими елементами.

Алюмінієві бронзи мають більш високі механічні властивості та корозійну стійкість порівняно з олов'яними. Вони добре пручаються окисленню і дії морської води, набагато краще, ніж інші сплави. Домішка кремнію змінює колір та властивості алюмінієвої бронзи. Колір бронзи, при вмісті 5% алюмінію, дуже схожий на золото, а також, крім краси, вона відрізняється багатьма іншими чудовими якостями.

Кремнисті бронзи мають гарну пружність і тому використовуються для виготовлення деталей, що пружинять.

Свинцеві бронзи мають високі антифрикційні властивості і застосовуються в підшипниках ковзання.

Берилієві бронзи (БрБ2) відрізняються високою твердістю, міцністю, пружністю та зносостійкістю.

2.1.9. Алюміній та сплави на його основі.

Ливарні алюмінієві сплави застосовуються під час виробництва деталей методом лиття. Серед них найбільшого поширення набули сплави алюмінію з кремнієм – *силуміни*. Вони мають високу рідкотіркість, досить високу міцність, добре опираються корозії, добре обробляються різанням. Їх використовують для виготовлення корпусів та кришок двигунів, поршнів та інше.

До сплавів, що зміцнюються термічною обробкою відносяться дюралюміній, кувальні сплави, високоміцні сплави алюмінію.

Дюралюміній (дуралюмін) є сплавом алюмінію з міддю (до 5 %), марганцем (до 1,8 %) і магнієм (до 0,9 %). Маркується літерою Д та цифрою, що показує порядковий номер (Д1, Д16, Д18 та ін.). Дюралюміній застосовується як

конструкційний сплав в авіаційній та космічній промисловості, завдяки їх міцності та відносної легкості. Сплав легко обробляється різанням. Дюралюміній випускається у вигляді листів та прутків.

Високоміцні сплави алюмінію містять крім міді та магнію додатково цинк (до 10%). Ці сплави маркуються літерою (В95, В96). Їх застосовують в авіаційній промисловості, для виготовлення важконавантажених деталей.

Ковочні сплави алюмінію призначені для виробництва деталей куванням і штампуванням (наприклад, лопаті гвинта, поршні та ін.).

Маркуються літерами АК та числом, що показує порядковий номер. За хімічним складом близькі до дюралюмінію (сплав АК1 збігається за складом Д1), іноді відрізняючись вищим вмістом кремнію (АК6, АК8).

Принцип маркування алюмінієвих сплавів. На початку вказується тип сплаву: Д - сплави типу дюралюмініїв; АК - кування алюмінієві сплави; В - високоміцні сплави; АЛ – ливарні сплави. Далі вказується умовний номер металу. За умовним номером слідує позначення, що характеризує стан сплаву: М — м'який (відпалений); Т - термічно оброблений (загартування плюс старіння).

2.1.10. Титан та сплави.

Це легкий, пластичний, в'язкий, міцний метал. Він має низьку електропровідність і теплопровідність. Титан (Ti) маркують поєднанням «BT1», наступні цифри вказують на ступінь чистоти: BT1-00 (99,53% Ti), BT1-0 (99,48 % Ti), BT1-2 (99,44% Ti).

Головна перевага титану та його сплавів – висока корозійна стійкість. Недоліки титану - схильність до взаємодії з газами при температурах вище 500÷600°C, погана оброблюваність різанням, висока вартість.

Головна мета легування титану - підвищення механічних властивостей. Основними легуючими елементами є алюміній, хром, молібден, ванадій, марганець. Титан є легуючою добавкою у багатьох легуваних сталях та більшості

спеціальних сплавів. Наприклад, нітінол (нікель-титан) - сплав, що володіє *пам'яттю форми*, та застосовується в медицині та техніці.

2.2. Неметали.

Пластичні маси (пластмаси) - це матеріали на основі природної або синтетичної високомолекулярної сполуки, здатні перероблятися у виробі в результаті пластичної деформації під впливом нагрівання і тиску, а потім зберігати закріплену в результаті охолодження або затвердіння форму. Сировиною для виготовлення пластмас є природний газ, продукти нафти, вугілля.

Пластмаси набули широкого поширення при виготовленні різних деталей машин. До їх переваг слід віднести невелику щільність, задовільну міцність, високі антифрикційні, шумо- і вібро- поглинаючі властивості, досить високу антикорозійну стійкість, невелику трудомісткість виготовлення деталей з них.

Основні механічні властивості пластмас залежать від виду смоли та характеру наповнювача. Міцність окремих видів деревослоїстих пластмас і склопластиків наближається до міцності вуглецевої сталі і іноді перевершує міцність чавуну, бронзи, алюмінію та міді.

Наголошуючи на позитивних властивостях пластмас, необхідно враховувати і цілий ряд їх недоліків: низькі теплопровідність і теплостійкість, старіння під дією температури та вологості, повзучість. Теплопровідність пластмас у 500÷600 разів нижча за теплопровідність металів, а деталі з них можуть працювати в інтервалі температур від -60 до 200 °С. Виняток становлять пластмаси на основі кремній-полімерів та фторопластів, деталі з яких можуть задовільно працювати при температурах до 350 °С.

Старіння пластмас протікає значно інтенсивніше, ніж металів, що призводить до зниження початкових механічних властивостей до 30%. До того ж, повзучість пластмас виражається набагато сильніше, ніж у металів. Механічні властивості пластмас визначають специфіку стружкоутворення, рівень сил і

температури різання, характер зносу інструменту. Всебічний аналіз цих питань дозволяє сформулювати такі особливості, характерні для обробки пластмас різанням:

1) схильність ряду пластмас до сколювання в процесі різання, що призводить до мікросколів з поверхонь заготовок на вході та виході інструменту та збільшення шорсткості поверхні або так званого «сріблення» їх. Тому ріжучий клин інструменту повинен мати великі передні та задні кути, а знос по задній грані, наприклад свердл, не повинен перевищувати $0,1 \div 0,5$ мм, фрез – $0,4 \div 0,5$ мм при чорновій та $0,2 \div 0,3$ мм при чистовій обробці. Збільшення зносу сприяє зростанню шорсткості обробленої поверхні;

2) неоднорідність структури пластмаси та різна твердість її складових частин ускладнюють досягнення низьких показників шорсткості обробленої поверхні. Внаслідок цього знос інструменту, що застосовується при їх обробці, лімітується, як правило, технологічним критерієм затуплення і насамперед збільшенням шорсткості обробленої поверхні;

3) сильний абразивний вплив на інструмент при обробці окремих видів пластмас, наприклад, склотекстоліту, що має складові з підвищеними абразивними властивостями. Різець при обробці таких матеріалів зношується сильніше, ніж при обробці сталей марок 30, 50 та чавуну;

4) знижена теплопровідність пластмас, що обумовлює погане тепловідведення із зони різання, і, отже, різке нагрівання лез різальних інструментів, а також оплавлення, задираки та руйнування обробленої поверхні;

5) інтенсивне пилоутворення, особливо при обробці термореактивних пластмас, та виділення шкідливих газів, що потребує пристроїв, які відсмоктують газ;

6) труднощі застосування змашувально-охолоджувального технологічного середовища (ЗОТС) через гігроскопічність окремих видів пластмас або утворення пасти з пилу та ЗОТС, яка налипає на поверхні деталей верстата, викликаючи їхнє корозування, потрапляє на інструмент та ускладнює обробку.

Тому при обробці пластмас найчастіше для охолодження застосовують стиснене повітря;

7) складність досягнення високої точності деталей через їх великий пружний прогин, підвищений коефіцієнт лінійного розширення пластмас, інтенсивне зношування інструменту та інших факторів.

Вуглепластик (карбон) - це сучасний високотехнологічний матеріал. Він міцний, має невелику вагу. Завдяки своїм визначним властивостям, карбонова тканина знайшла своє застосування спочатку в аерокосмічній промисловості та авіації, пізніше в спорті, автоспорті та побуту. Карбонові вироби наймовірно затребувані завдяки своїй міцності, зносостійким характеристикам та декоративним якостям.

Запитання для самоконтролю:

1. *Як класифікуються матеріали у машинобудуванні? Сфери їх застосування.*
2. *За якими ознаками класифікуються властивості матеріалів?*
3. *Що відноситься до механічних властивостей матеріалів?*
4. *Що відноситься до фізичних властивостей матеріалів?*
5. *Що відноситься до хімічних властивостей матеріалів?*
6. *Що відноситься до експлуатаційних властивостей матеріалів?*
7. *Як класифікуються чавуни? Їхнє призначення.*
8. *Як класифікуються сталі? Їхнє призначення.*
9. *Як класифікуються інструментальні сталі? Їхнє призначення.*
10. *Якою є сфера застосування сплавів кольорових металів?*
11. *Якою є сфера застосування титанових сплавів?*
12. *Якою є сфера застосування неметалічних матеріалів?*

3. Виробництво заготовок у машинобудуванні

Вихідною заготовкою називають заготовку перед першою технологічною операцією. Таким чином, виріб починається з вихідної заготовки, тип якої залежить від програми випуску, розмірів та маси виробу.

Технологічність заготовок обумовлюється такими умовами:

- раціональним вибором матеріалу та методом отримання заготовок;
- технологічністю форми заготовок;
- раціональним проставленням розмірів, допусків та величин параметра шорсткості поверхонь;
- достатньою жорсткістю та зручністю їх встановлення і базування у пристосуванні на перших операціях;
- можливість обробки на прохід, зручністю врізування та виходу інструменту;
- забезпечення рівномірного та ненаголошеного знімання матеріалу.

Вибір методу отримання заготовок залежить від програми випуску, вимог до якості, міцності та величини припуску (рис. 3.1). Метод отримання заготовок визначається їхньою вартістю, технологічним процесом механічної обробки та типом виробництва. Кожен метод виготовлення заготовок дозволяє забезпечити певний квалітет точності, величину параметра шорсткості і поверхневого шару та припуск на механічну обробку.

Вимоги до точності заготовок постійно зростають, тому розробляються нові методи одержання заготовок високоточного лиття, холодної обробки тиском та інші. Це забезпечує значне зниження витрат на подальшу механічну обробку заготовок.

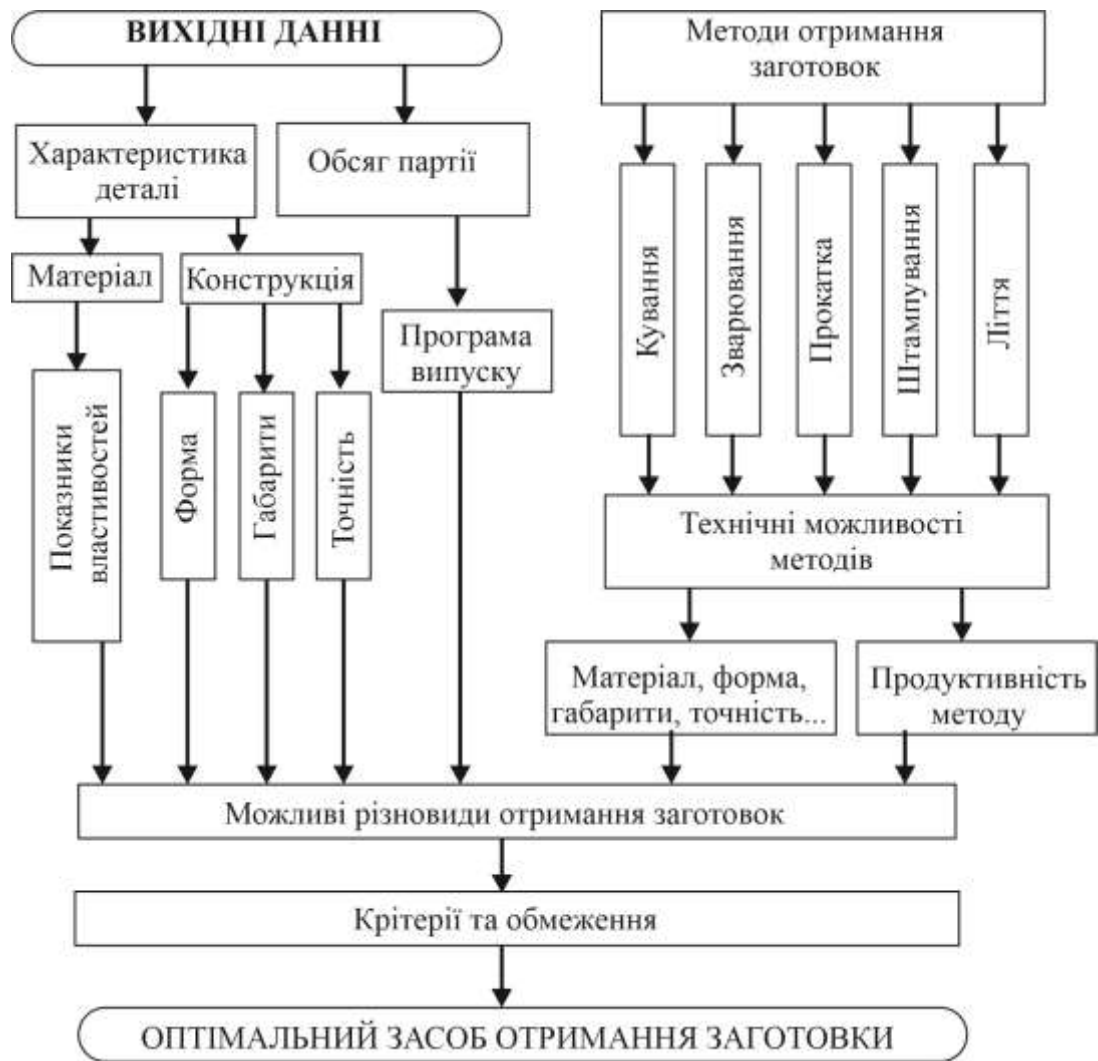


Рис. 3.1 Вихідні дані під час вибору методу отримання заготовки.

3.1. Виробництво заготовок литтям.

Ливарне виробництво - галузь машинобудування, що займається виготовленням заготовок шляхом заливання розплавленого металу у форму, при охолодженні якої метал твердне, скопіювавши конфігурацію форми.

Одержання виливків у піщано-глинисті форми.

Це один із найпоширеніших методів отримання заготовок.

Піщано-глинисті форми поділяють на три групи:

- разові, що виготовляються з піщано-глинистих сумішей, які служать для отримання однієї виливки (при вибиванні форма руйнується). Їх застосовують для отримання заготовок із чорних та кольорових металів будь-якого розміру та ваги;

- напівпостійні, що виготовляються з вогнетривких матеріалів (шамот, магнезит та інші) та які служать для отримання кількох десятків виливків;
- постійні, що виготовляються з металів та сплавів.

Для виготовлення разової піщано-глинистої форми необхідно мати модельний комплект, опоки та формувальний інструмент. Модельний комплект включає модель, стрижневі ящики, моделі літникової системи, підмодельні плити.

Модель - пристрій, за допомогою якого отримують відбиток, що відповідає зовнішній конфігурації виливки.

Літникова система служить для заливання ливарної форми металом.

Опоками називають чавунні, сталеві або алюмінієві рамки, у які поміщають модель. Опоки з моделлю набивають формувальною сумішшю. Для центрування та скріплення опок на їх бічних стінках роблять припливи з отвором, у які вставляють штирі.

Вихідними матеріалами для виготовлення формувальних та стрижневих сумішей є кварцовий пісок, глина та різні добавки.

Для виготовлення виливків застосовують чавун, сталь, сплави міді, алюмінію та інші матеріали.

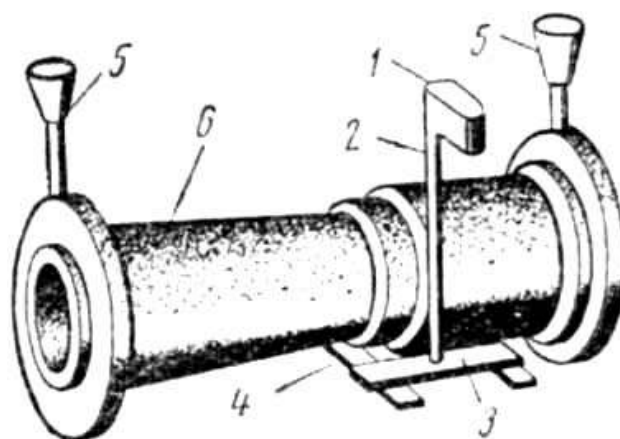


Рис.3.1 Відлита втулка після вилучення з форми: 1 - літникова чаша, 2 - літниковий стояк, 3 - шлакоуловлювач. 4 - живильники, 5 - випір, 6 – вироб.

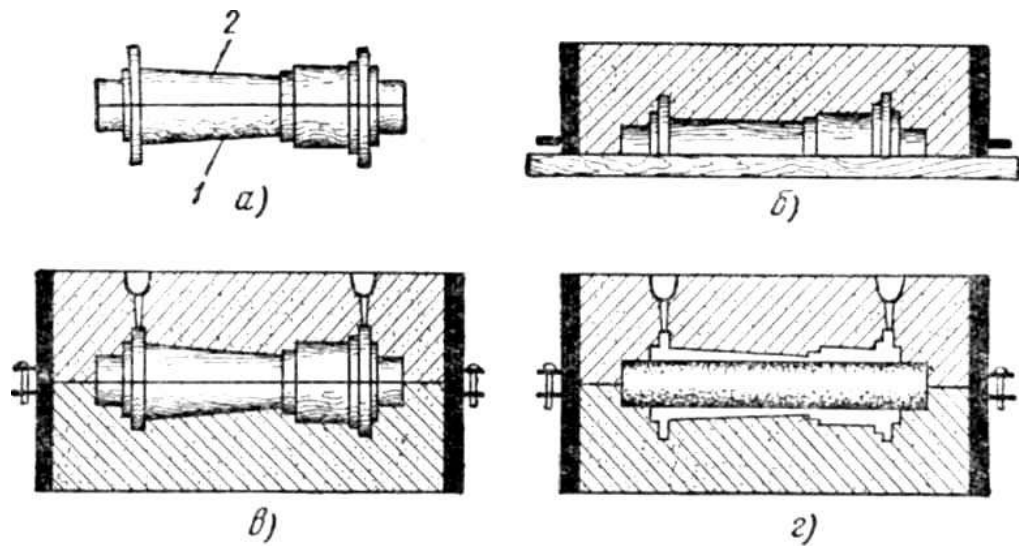


Рис. 3.2 . Схема формування порожнистої втулки: а - модель втулки: 1 - нижня половина моделі, 2-верхня половина моделі; б - формування у нижній опоці, в - формування у верхній опоці, г - зібрана форма зі стрижнем

Після заливання форми виливок твердне і певний час охолоджується разом з формою, так як міцність металу за високої температури мала. Вибивання виливка при високій температурі не проводиться ще й тому, що охолодження її на повітрі відбувається нерівномірно, що може викликати внутрішні напруги у виливках, їх короблення та тріщини. Можливе виникнення напруги двох видів: температурних, пов'язаних з усадкою металу при охолодженні, та фазових, викликаних структурними перетвореннями. Тому сталеві та чавунні виливки вибивають із форми при температурі нижче $727\text{ }^{\circ}\text{C}$, коли закінчується перетворення аустеніту на перліт. Практична температура вибивання становить $700\div 600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тривалість охолодження великих і складних за формою виливків може досягати кількох діб, а температура вибивання $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Процес вибивання полягає в тому, що форму руйнують на вібраційних ґратах та витягують із неї виливок. Суміш провалюється крізь ґрати та потрапляє на транспортер, що йде у відділення підготовки форм. Виливки надходять на подальшу обробку - обрубкування та очищення, а опоки - на формувальну ділянку. Технологічний процес обрубкування та очищення виливків складається з операцій видалення стрижнів, відділення прибутків та літникової системи, якщо вони не облама-

лися при вибиванні, обрубуванні заток, очищення виливків від пригарів та задирок. Видалення стрижнів є трудомісткою операцією і тому здійснюється на вібраційних або гідравлічних установках (струменем води під високим тиском), а також електрогідравлічним методом. Прибутки та літники обрізають тепловою різкою, а у малопластичних металів відбивають. Виливки очищають від пригару та окалини в очисних (галтувальних) барабанах і в дробоструминних (дробометних) камерах.

При виборі методу лиття під час виробництва заготовок необхідно спиратися на ливарні властивості сплавів:

- рідкотіркість - здатність металів заповнювати порожнину ливарної форми;

- усадка - здатність металів зменшувати лінійні розміри та обсяг при затвердінні;

- ліквация - неоднорідність хімічного складу в металі.

Як і у будь-якому виробництві, у ливарному виробництві зустрічаються такі види браку, які надалі впливають на процес виготовлення виробів, а саме:

- газові раковини - порожнини у виливку, що утворюються внаслідок підвищеної вологості форми та її низької газопроникності;

- піщані раковини - порожнини у виливку, заповнені формувальною сумішшю, що виникають внаслідок часткового руйнування форми завдяки її низької міцності;

- усадкові раковини - порожнини у виливках, що з'являються при нерівномірній усадці в місцях переходу від тонких до товстих її частин;

- шлакові раковини – порожнини, заповнені шлаком;

- тріщини (гарячі та холодні) - виникають через недостатню податливість форми та нерівномірність охолодження заготовки;

- недолив - незаповнення металом деяких частин форми;

- спай - поверхневі потоки металу, який передчасно охолонув;

- пригар - формувальна суміш, що оплавилася і затверділа на поверхні виливки у вигляді кірки.

Розглянуті вище форми браку можуть як візуально виявлятися, так і вимагають спеціального обладнання для встановлення браку (усадкові раковини). Виявлення такого браку із застосуванням спеціального обладнання особливо важливе при виготовленні великогабаритних відповідальних деталей (наприклад, станини верстатів), оскільки витрати на транспортування та подальшу обробку до виявлення браку можуть бути досить значними.

Лиття в оболонкові форми Лиття в оболонкові форми є одним з порівняно нових технологічних процесів, що забезпечують отримання виливків з більш високою точністю і меншою шорсткістю поверхні в порівнянні зі способом лиття в звичайні піщані (піщано-глинисті) форми.

Ливарна форма при цьому способі має вигляд міцної оболонки товщиною $5 \div 15$ мм. Для отримання такої форми необхідні підігриваються до 400°C металеві модельні плити і стрижневі ящики, а також спеціальні формувальні суміші, що складаються з дрібного кварцового піску і термореактивної смоли. Найкращими експлуатаційними властивостями мають модельні плити, виготовлені зі сталі або сірого чавуну. Алюмінієві сплави, що характеризуються кращою оброблюваністю, мало придатні для модельних плит через низьку теплоємність і значний коефіцієнт лінійного розширення. Металеві моделі плити повинні мати штовхачі для знімання одержуваних оболонок. З однієї чавунної або сталевий підмодельної плити можна отримати $100 \div 120$ тис. оболонок. Порівняно з литтям у піщані форми, витрата формувальних сумішей при литті в оболонкові форми скорочується у $8 \div 10$ разів. Процес виготовлення оболонкових форм легко піддається механізації та автоматизації. Для виготовлення оболоноквих форм потрібне дороге оснащення, тому даний метод доцільно використовувати в масовому, багатосерійному або середньосерійному виробництві для виготовлення заготовок масою до 100 кг. Виділення шкідливих газів і парів вимагає наявності хорошої вентиляції та очищення газів з метою збереження навколишнього середовища. Цей спосіб лиття забезпечує точність розмірів $13 \div 14$ квалітету і величину параметра шорсткості $Ra=6,3 \text{ мкм}$.

Лиття в кокіль . Цей метод отримання заготовок застосовують у серійному та масовому виробництві. *Кокіль* – це багаторазова металева форма. У порівнянні з литтям у піщано-глинисті форми лиття в кокіль дозволяє підвищити продуктивність отримання заготовок у 2÷5 разів при меншій собівартості. До недоліків цього методу лиття відноситься невисока стійкість форм при литті чавуну та сталі, а також можливість утворення відбілу чавунних виливків, що вимагає проведення додаткової операції відпалу. Лиття в кокіль забезпечує точність розмірів 12÷14 квалітетів, параметр шорсткості *Ra* до 3,2мкм.

Лиття по моделях, що виплавляються. Отримують виливки зі сплавів кольорових металів, сталі та чавуну. Даний метод отримання заготовок застосовують у масовому та багатосерійному виробництві при виготовленні дрібних та складних за формою заготовок.

Сутність лиття по моделях, що виплавляються, полягає у використанні точної нероз'ємної разової моделі, за якою виготовляється нероз'ємна керамічна оболонкова форма, куди і заливається розплавлений метал після видалення моделі з форми шляхом випалювання, випаровування або розчинення. Цим способом виготовляють досить точні виливки. Точність виливки і стан її поверхні визначаються точністю і якістю виготовлення порожнини пресформи для моделі, що виплавляється. Досить висока вогнетривкість та хімічна інертність матеріалу дозволяє отримати високоякісні виливки, точність розмірів яких відповідає 8÷11 квалітетам та параметру шорсткості *Ra* = 2,5мкм.

При використанні лиття за моделями, що виплавляються, в пресформах з легкоплавких матеріалів виготовляють моделі деталей і літникові системи. Моделі з'єднують у блок шляхом припаювання їх до літникової системи, і на них шарами наносять суспензію з сполучного розчину та пилоподібного вогнетривкого матеріалу. Шари суспензії присипають піском та просушують. Потім моделі виплавляють (витоплюють) і отримують тонкостінну оболонку, яку поміщають в опоку, засипають зовні піском, прожарюють і заливають металом. Після охолодження виливки її вибивають із форми, відрізають елементи літникової системи і піддають термічній обробці та очищенню.

Схема процесу лиття за моделями, що виплавляються, наведена на рисунку 3.3: а) формування твердий моделі майбутньої заготовки; б) виготовлення форми для моделі з легкоплавкого матеріалу; в) модель заготовки з легкоплавкого матеріалу; г) виготовлення ливарної моделі з легкоплавкого матеріалу; д,е) формування ливарної оболонки неодноразовим зануренням у ванну зі скріплюючим розчином, а потім у ванну зі сумішшю; ж) формування ливарної форми шляхом видалення легкоплавкого матеріалу при нагріванні; з) зміцнення ливарної форми перед заливкою металу; и) заливання форми металом.

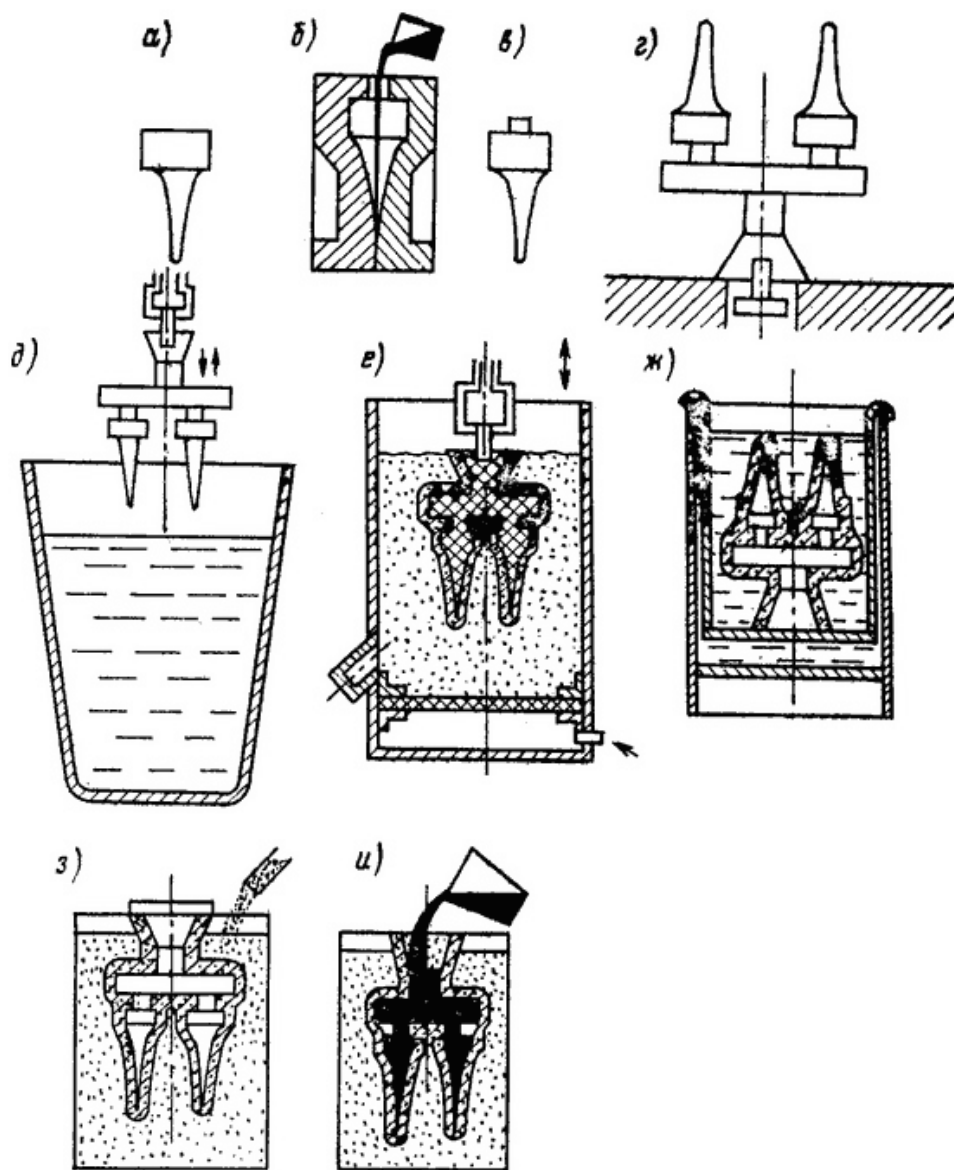


Рис 3.3 Послідовність операцій при лиття за моделями, що виплавляються.

Лиття під тиском. Це теж прогресивний метод виготовлення виливків, що полягає у заповненні металом металевої ливарної форми під тиском стисненого повітря або поршня, коли метал запресовується у форму та відтворює її точну конфігурацію. Розплав металу заповнює форму з великою швидкістю, що забезпечує високу щільність матеріалу, точність та якість поверхні виливки (рис. 3.4.). Цей метод дозволяє отримати металеві виливки 8÷12 квалітету та параметра шорсткості $Ra=12,5\div3,2\text{мкм}$. Метод лиття під тиском застосовують у багатосерійному та масовому виробництві.

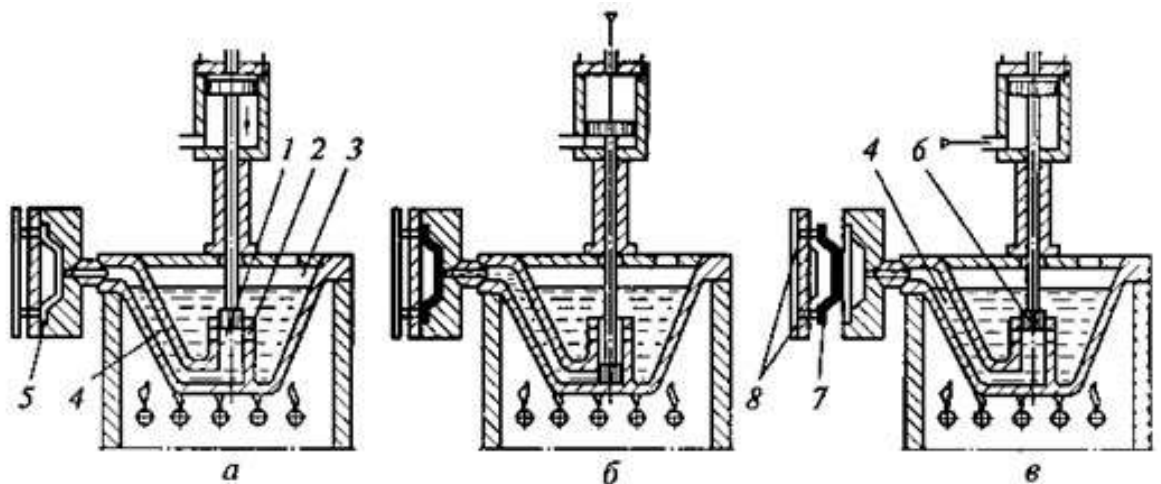


Рис. 3.4. Лиття під тиском 1 – рідкий метал; 2 – зона ходу поршня; 3 – ванна з металом; 4 – ливарний канал; 5 – порожнина форми; 6 – поршень; 7 – виливок; 8 – форма.

Висока продуктивність методу та можливість отримання заготовок складної форми є важливою перевагою цього методу. Однак висока вартість пресформ, низька їхня стійкість (при виготовленні виливків зі сталі, що має високу температуру заливки) не дозволяють рекомендувати цей метод для сталевих заготовок. В даний час широке поширення набув цей метод для заготовок з кольорових металів та сплавів, пластмас та полімерів.

Відцентрове лиття. Застосовують даний метод у масовому та серійному виробництві для отримання пустотілих і тонкостінних виливків складної конфігурації, наприклад, гільз, втулок з чавуну, сталі, кольорових металів і

сплавів. Використовують відцентрове лиття з горизонтальною та вертикальною осями обертання, рідше з похилою.

Виготовлення виливків відцентровим методом здійснюють шляхом заливання металу в металеву форму, що обертається. Під дією відцентрових сил частки розплавленого металу відкидаються до поверхні форми і тверднуть, приймаючи її контури (рис.3.5).

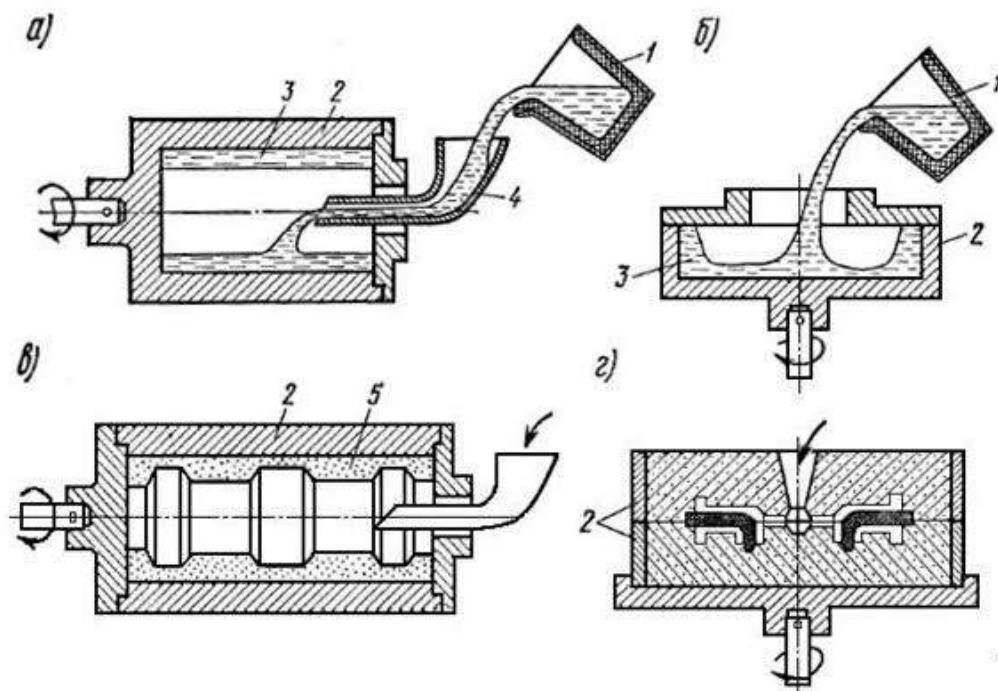


Рис. 3.5. Схема відцентрового лиття: а) – з горизонтальною віссю обертання форми; б) - з вертикальною віссю обертання; в) – у фанеровані форми; г) – у піщані форми; 1 – ківш; 2 – форма; 3 – метал; 4 – жолоб; 5 – облицювання.

Крім розглянутих вище найбільш використовуваних методів отримання точного лиття застосовують інші методи: безперервне, електрошлакове, вичавлюванням, штампуванням з розплаву та інші.

3.2. Виробництво заготовок пластичним деформуванням.

Обробка металів тиском можлива завдяки тому, що метали та сплави відрізняються високою пластичністю. В результаті пластичної деформації з металевої заготовки можна отримати готовий виріб, форма та розміри якого відпо-

відають необхідним параметрам. Обробка металу тиском виконується за різними технологіями (рис. 3.6) та активно використовується для випуску продукції, що застосовується в машинобудівній промисловості. Сутність обробки металів тиском полягає в тому, що їх атоми такого матеріалу при впливі на них зовнішнього навантаження, величина якого перевищує значення межі пружності, можуть займати нові стійкі положення в кристалічній решітці. Таке явище, яким супроводжується пресування металу, отримало назву пластичної деформації. У процесі пластичної деформації металу змінюються як механічні, так й фізико-хімічні характеристики.

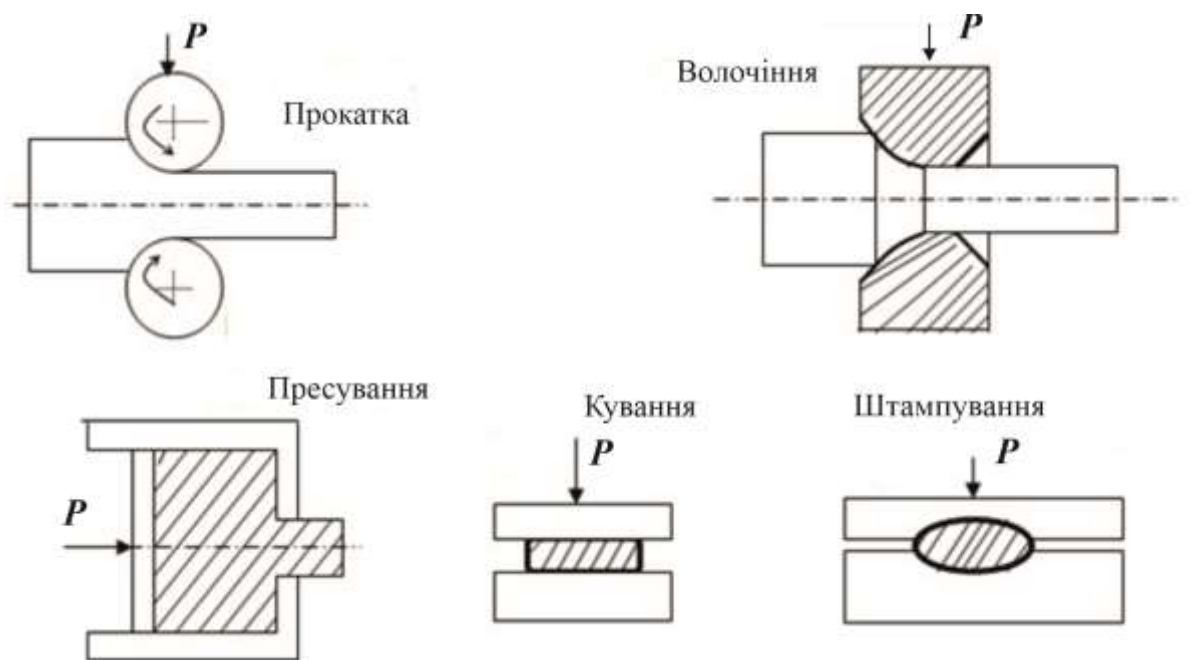


Рис. 3.6. Способи обробки металів тиском.

Залежно від умов, за яких відбувається обробка пластичним деформуванням, вона може бути холодною або гарячою. Відмінності її полягають у наступному:

1. Гаряча обробка металу виконується при температурі, яка вища за температуру його рекристалізації.
2. Холодна обробка металів, відповідно, здійснюється при температурі, що знаходиться нижче за температуру, при якій вони рекристалізуються.

Кування - метод обробки металів тиском, при якому заготовці надається задана форма зі зливка за допомогою інструмента, що не обмежує перебіг металу в площині, перпендикулярній дії сили.

Розрізняють кування ручне і машинне. Машинне кування виробляють на молотах і гідропресах. У одиничному та дрібносерійному виробництві кування є найбільш економічним способом отримання високоякісних заготовок. Крім того, кування може виявитися єдиним можливим способом отримання заготовки великої маси.

Штампування - метод обробки металів тиском, при якому заготовці (поковці) надається досить складна за конфігурацією форма за допомогою інструменту (штампу), що обмежує перебіг металу в площині, перпендикулярній дії осьової сили.

В умовах масового та багатосерійного виробництва гаряче об'ємне штампування набагато рентабельніше за кування. Зазвичай вихідною заготовкою для штампування є сортовий прокат. Гаряче штампування проводять на молотах, горизонтально-кувальних машинах, кривошипних гарячештампувальних пресах і гвинтових пресах з використанням різних типів штампів.

Залежно від конструктивного виконання штампи можуть бути відкритими та закритими. У відкритих штампах, застосування яких дозволяє не дотримуватися точної ваги заготовки, що обробляється, передбачений спеціальний зазор між їх рухомими частинами, в який може видавлюватися надлишок металу (рис. 3.7). Тим часом використання штампів відкритого типу змушує фахівців займатися видаленням облою, що утворюється за контуром готового виробу в процесі його формування.

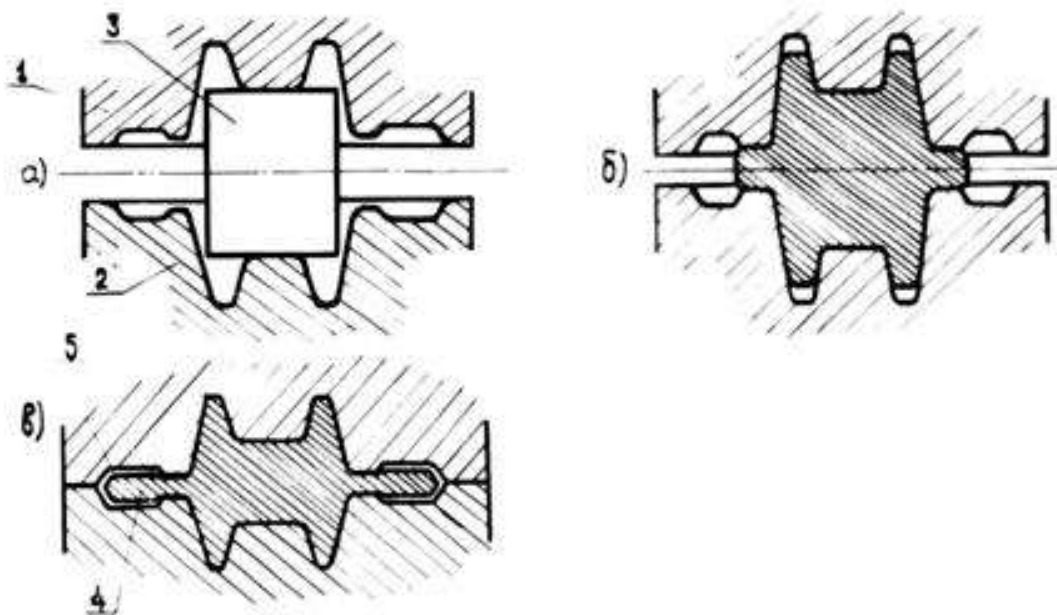


Рис. 3.7. Схема облойного штампування у відкритому штампі: 1,2 – частини штампі; 3 – заготовка; 4 - задирок (облий); 5 - канавка для облою.

Між конструктивними елементами штампів закритого типу такий зазор відсутній, формування готового виробу відбувається в замкнутому просторі (рис.3.8). Для того щоб обробляти металеву заготовку за допомогою такого штампі, її вага та об'єм повинні бути точно розраховані.

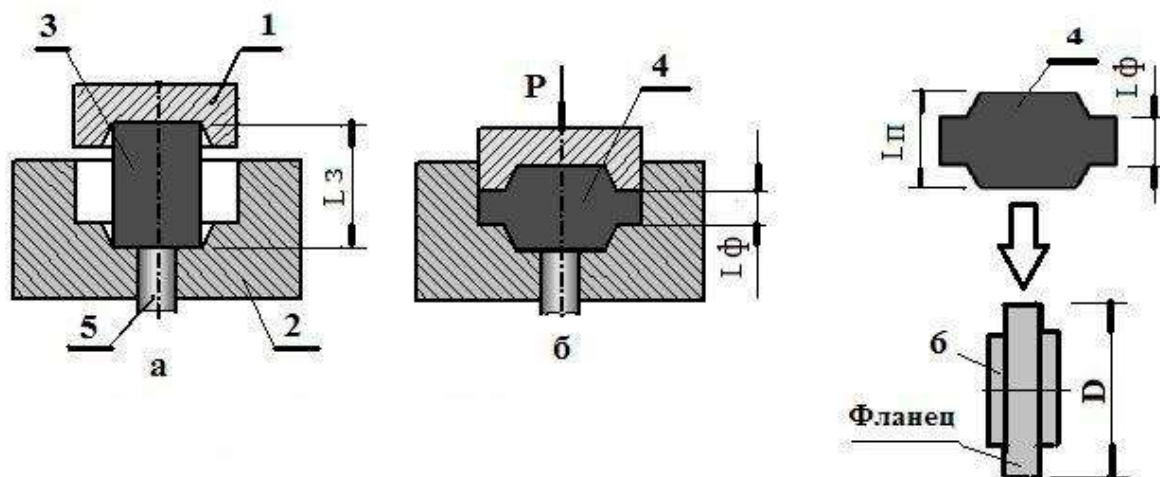


Рис. 3.8. Схема гарячого об'ємного штампування у закритому штампі: 1 – верхня половина штампі; 2 – нижня половина штампі; 3 – вихідна заготовка; 4 – готова заготовка; 5 – виштовхувач; 6 – деталь, яка отримана із заготовки.

Всі операції холодного штампування можна розділити на два основні види: розділові та формозмінні.

Листове штампування - метод обробки металів тиском, що полягає в пластичному деформуванні в штампах листової заготовки з метою отримання різноманітних за призначенням, формою та розмірами листових деталей. В умовах масового та багатосерійного виробництва застосовують високоавтоматизоване обладнання та дорогі штампи. В умовах середньо- та дрібносерійного виробництва використовують преси з ЧПУ. До методу листового штампування відносяться всі методи обробки листового матеріалу тиском (гнучка, вирубка, витяжка та інше.)

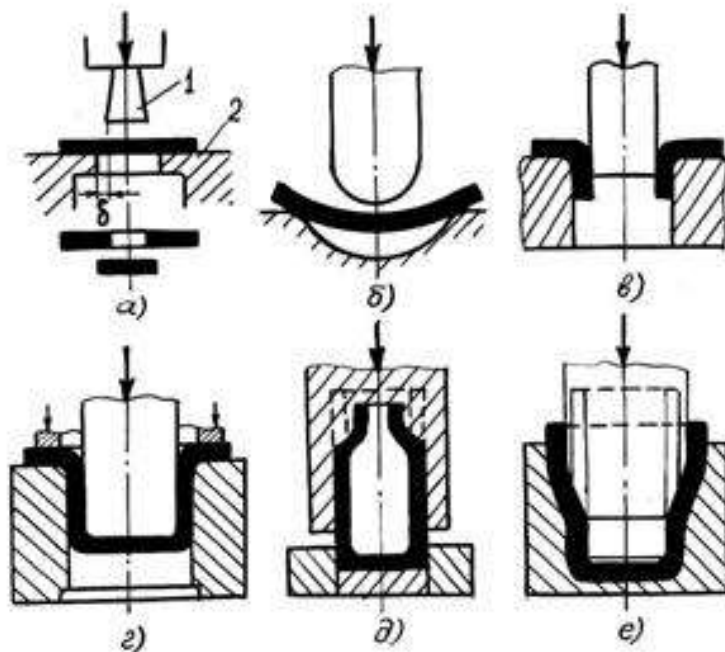


Рис. 3.9. Операції листового штампування: а – вирубування та пробивання; б – гнучка; в – відбортування ; г – витяжка; д - обтиск; е – роздача

Гнучка - технологічна операція штампування, при якій із плоскої заготовки або дроту отримують вигнуту просторову деталь. Гнучка супроводжується спотворенням первісної форми поперечного перерізу заготовки та зменшенням його площі в місці вигину (утяжка). Для компенсації утяжки у зоні вигину заготовки надають збільшені поперечні розміри. При згинанні можливе утво-

рення складок за внутрішнім контуром і тріщини по зовнішньому. Для уникнення цього явища по заданому куту вигину підбирають відповідний радіус заокруглення. Радіус у місці вигину не повинен бути меншим за півтори товщини заготовки.

Цією операцією отримують косинці, скоби, гачки, кронштейни.

Витяжка - це операція перетворення плоскої або порожнистої заготовки (або подальша зміна форми та розмірів попередньо витягнутої заготовки), у відкритий зверху порожній виріб, що здійснюється за допомогою витяжних штампів. Виходячи з форми та технологічних особливостей листового штампування, порожнисті деталі, одержувані витяжкою, можна розділити на кілька основних груп:

- 1) деталі, що мають форму тіла обертання;
- 2) деталі коробчастої форми;
- 3) деталі складної форми.

За характером та ступенем деформації розрізняють:

- 1) витяжку без витончення стінок;
- 2) витяжку з витонченням стінок (протяжку);
- 3) комбіновану витяжку.

У першому випадку витяжка відбувається без заздалегідь обумовленої зміни товщини матеріалу стінки виробу, але при значному зменшенні діаметра заготовки; у другому - витяжка здійснюється за рахунок заздалегідь передбаченого зменшення товщини стінки напівфабрикату, що витягується, при незначному зменшенні його діаметра. Комбінована витяжка характеризується одночасним значним зменшенням діаметра і товщини стінки напівфабрикату, що витягується.

Формування - штампувальна операція, при якій попередньо витягнутій заготовці надається остаточна форма. Тобто, при якій відбувається зміна окремих ділянок поверхні заготівлі в результаті розтягування листового матеріалу. Цей метод широко застосовується для забезпечення необхідної жорсткості деталей, виготовлених з листового матеріалу, зокрема для формування зигів,

ребр жорсткості, тощо. До операцій листового формування відносять: правку (рихтування), фасонне штампування, відбортування, віджимання, роздачу.

Волочіння - обробка металів тиском, при якій вироби (заготовки) круглого або фасонного профілю (поперечного перерізу) протягуються через круглий або фасонний отвір, переріз якого менший за переріз заготовки. В результаті площа поперечного перерізу заготовки зменшується, а довжина збільшується. Волочіння широко застосовується у виробництві металевих прутків (арматури), дроту, труб та інших виробів. Виготовляється на волочильних верстаках, основними частинами яких є волоки та пристрої для протягування заготовки. Волочінням отримують дріт діаметром $0,002 \div 4$ мм, прутки та профілі фасонного перерізу, тонкостінні труби, у тому числі і капілярні. Волочіння застосовують також для калібрування перерізу та підвищення якості поверхні виробів, що обробляються. Волочіння частіше виконують за кімнатної температури, коли пластичну деформацію супроводжує наклеп, це використовують для підвищення механічних характеристик металу, наприклад, межа міцності зростає в $1,5 \div 2$ рази.

3.3. Одержання заготовок із прокату.

Прокатка - деформування металу валками, що обертаються, для зміни форми і розмірів поперечного перерізу і збільшення довжини попередньо нагрітих або холодних заготовок (рис.3.10).

Відповідно до необхідної форми виробу, що прокачується, використовують для її отримання спеціальну форму валків:

- гладку (для отримання листів та стрічок);
- калібровану, що має на робочій поверхні вирізи (струми) відповідно до необхідного профілю виробу.

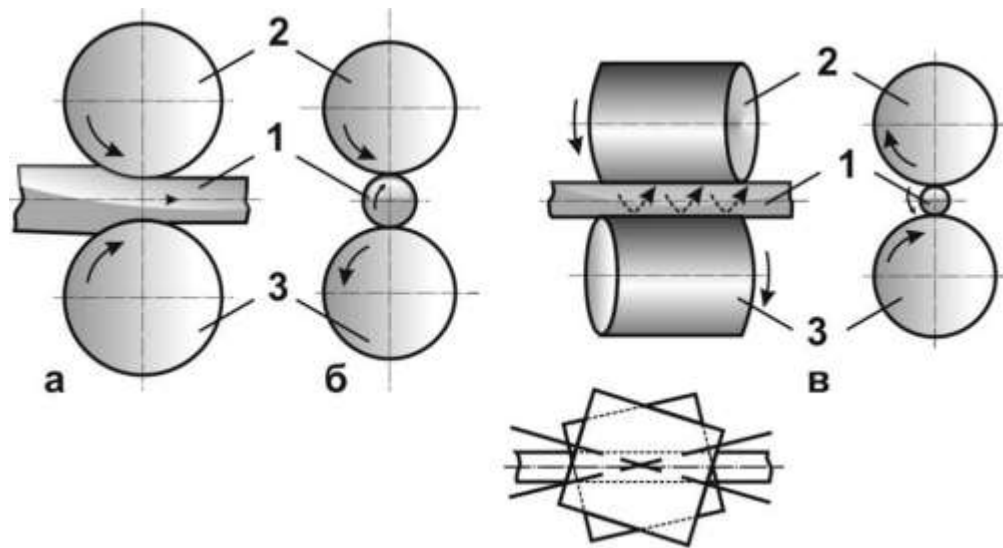


Рис.3.10 Види обробки металу методом прокатки: 1 – заготовка; 2,3 - валки.

Виділяють три основні види прокатки: поздовжню, поперечну та поперечно-гвинтову. При поздовжній прокатці (рис. 3.10а) заготовка 1 деформується між валками 2 і 3, що обертаються в різні боки, і перпендикулярно переміщається до осей валків.

При поперечній прокатці (рис. 3.10б) валки 2 і 3, обертаючись в одному напрямку, надають заготовці 1 обертання і деформують її. При поперечно-гвинтовій (косій) прокатці (рис.3.10в) валки розташовані під кутом і повідомляють заготовці при деформуванні обертального та поступального руху.

Усі прокатні вироби залежно від форми можна розділити на чотири основні групи: сортова сталь, листовая сталь, труби, спеціальні види прокату.

Багато виробів, що виготовляються прокаткою, стандартизовані. У стандартах наведено форму, розміри, площу поперечного перерізу та масу погонного метра профілю (рис.3.11). Для балок, швелерів та куточків додатково стандартизовано: момент опору, момент інерції, радіус інерції (рис 3.11б).

Сукупність різних профілів із різними розмірами називається *сортаментом прокату*.

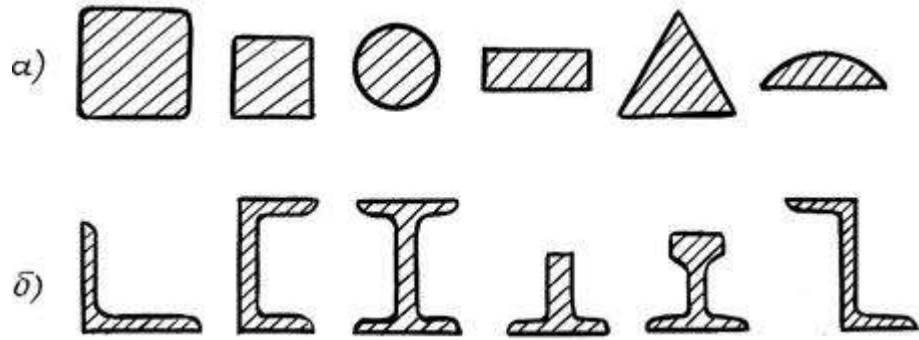


Рис. 3.11. Приклади сортаменту прокату

Запитання для самоконтролю:

1. Як класифікуються види одержання заготовок? Чинники, які впливають вибір методу отримання заготовки.
2. Які види лиття існують? Призначення та сфери застосування, основні технології.
3. У чому суть технології лиття у піщані форми?
4. У чому суть технології лиття у кокіль?
5. У чому суть технології лиття за моделями, що виплавляються?
6. У чому суть технології лиття під тиском?
7. У чому суть технології відцентрового лиття?
8. Як класифікуються методи обробки тиском?
9. У чому суть методів прокатки? Призначення, принципи формування заготовок
10. У чому суть методів кування? Призначення, засади формування заготовок.
11. У чому суть методів штампування?
12. У чому суть методів волочіння?

4. Базування деталей у машинобудуванні

4.1. Основи теорії базування.

При механічній обробці заготовок на верстатах під базуванням прийнято вважати надання заготовки необхідного положення щодо елементів верстата, які визначають траєкторію руху різального інструменту.

При встановленні заготовки в пристрій вирішуються два основних завдання:

1. Орієнтація заготовки у просторі, здійснювана базуванням.
2. Надання заготовки нерухомості, що досягається закріпленням.

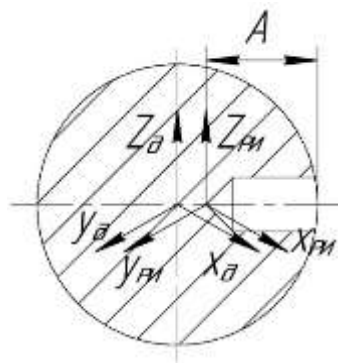


Рис. 4.1. Положення оброблюваної поверхні.

У деяких пристроях ці функції можуть бути поєднані. Такі пристрої називають установочно-затискними (трикулачковий патрон, цангові затискачі, гідропластові оправки і втулки, тощо).

У тривимірній системі координат при повному базуванні заготовка позбавляється 6-ти ступенів свободи: переміщення щодо трьох координатних осей та обертання навколо них.

Базування - це надання заготовки необхідного положення щодо обраної системи координат.

База - це поверхня або поєднання поверхонь, лінії або точки, які належать заготовці і використовуються при базуванні.

Опорна точка - це точка, що символізує один із зв'язків заготовки з обраною системою координат.

Схема базування - це схема розташування опорних точок на базах заготовки.

Всі опорні точки позначаються умовними значками з порядковим номером, починаючи з бази, яка має найбільшу кількість опорних точок. При накладенні, в будь-якій проекції, однієї опорної точки на іншу зображується одна опорна точка, а поруч ставиться два номери. На рисунку 4.2 показано умовне позначення опорних точок (рис. 4.2,а) та схема базування заготовки на площині з двома призмами, що переміщуються до центру (рис. 4.2,б).

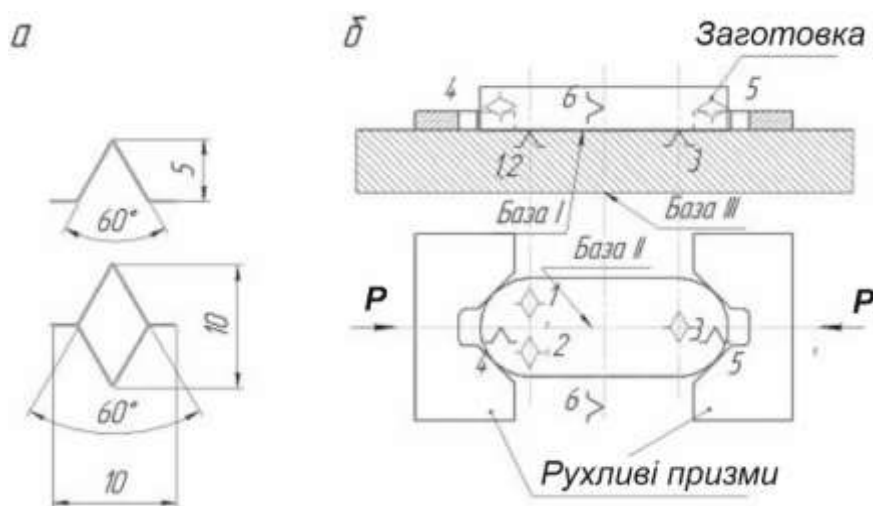


Рис. 4.2. Умовне позначення опорних точок.

Число проекцій заготовки на схемі базування має бути достатнім для чіткого визначення розташування кожної опорної точки.

4.1.1. Класифікація баз за призначенням.

Бази поділяються на конструкторські, технологічні та вимірювальні.

Конструкторська база — ця база використовується для визначення положення деталі чи складальної одиниці у виробі.

У свою чергу, конструкторські бази поділяються на основні та допоміжні.

Основна конструкторська база - це база, що належить даної деталі та використовується для визначення її положення у виробі.

Допоміжна конструкторська база - це база, що належить даної деталі або складальної одиниці і використовується для визначення положення деталей і вузлів, що приєднуються.



Рис. 4.3. Приклад розташування конструкторських баз.

На рисунку 4.4 показано приклад складальної одиниці з трьох деталей із зазначенням основних конструкторських баз.

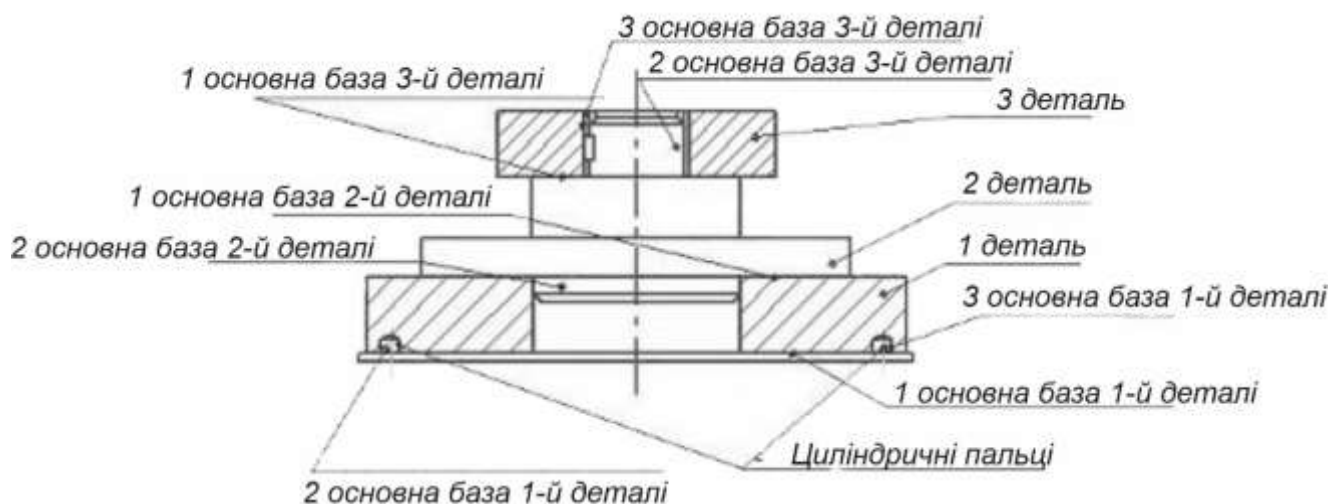


Рис. 4.4. Розташування конструкторських баз.

Технологічна база — це база, що використовується для визначення положення заготовки у процесі виготовлення чи ремонту.

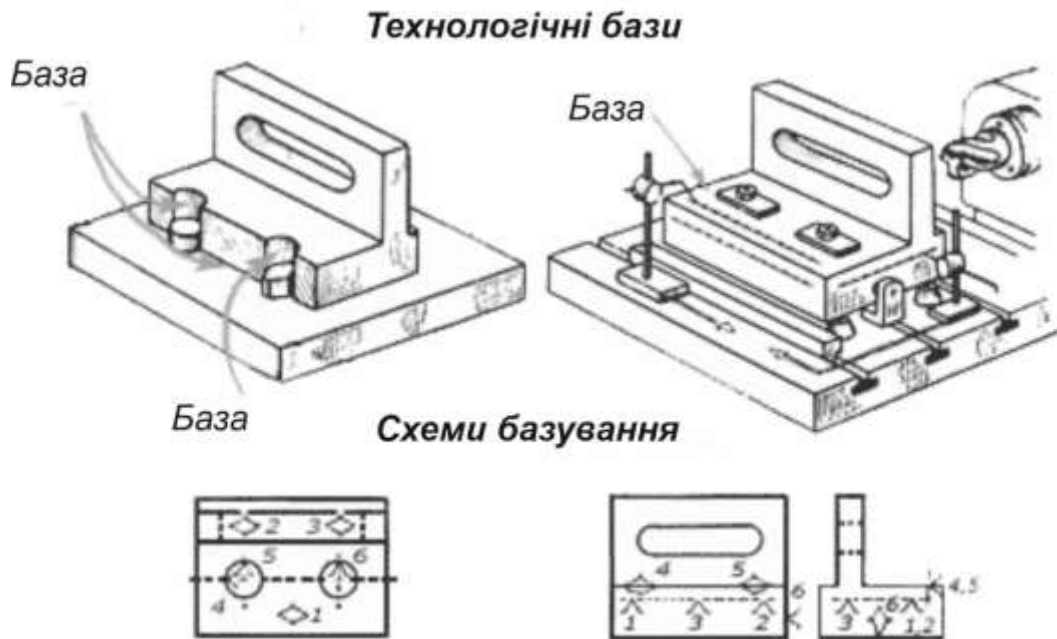


Рис. 4.5. Приклад розташування технологічних баз.

Вимірювальна база - це база, що використовується для визначення відносного положення заготовки та вимірювального інструменту.

На рисунку 4.6. вказано вимірювальні бази B_A та B_C для розмірів A та C , тобто, поверхні, від яких виконуються вимірювання після обробки.

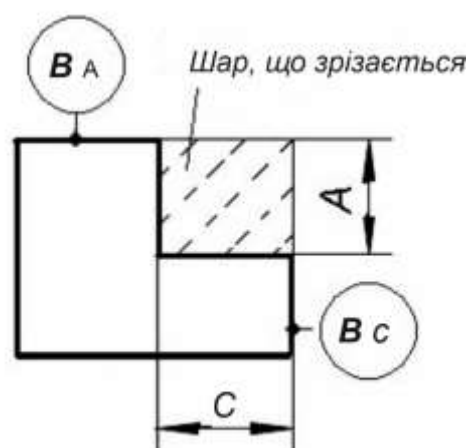


Рис. 4.6. Розташування вимірювальних баз.

Крім класифікації, наведеної вище, у виробничій практиці та літературі розрізняють також штучні, чорнові та чистові технологічні бази.

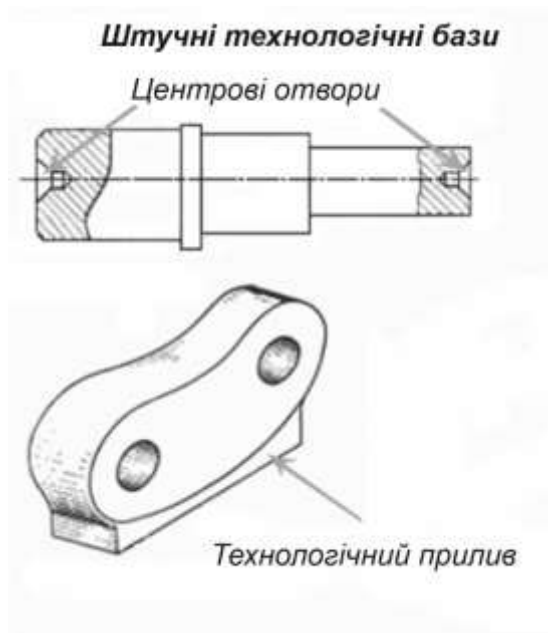


Рис. 4.7. Приклади штучних технологічних баз.

4.1.2. Класифікація баз за ступенями свободи, що позбавляються.

Настановна база позбавляє заготовку 3-х ступенів свободи: переміщення вздовж однієї осі координат та обертання навколо 2-х інших (рис. 4.8).

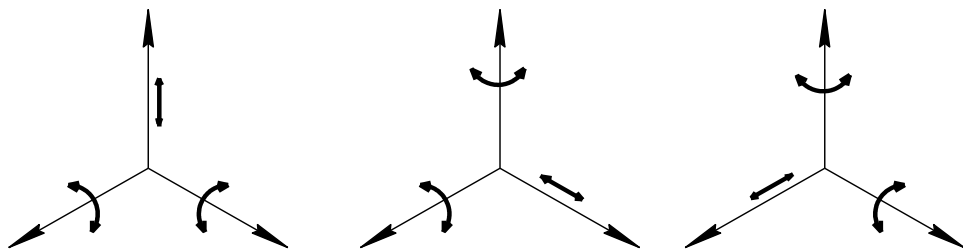


Рис. 4.8. Схема позбавлених ступенів свободи під час базування.

Напрямна база позбавляє заготовку 2-х ступенів свободи: переміщення вздовж одного та обертання навколо іншого.

Опорна база позбавляє заготовку одного ступеня свободи: переміщення уздовж координатної осі або обертання.

Подвійна напрямна база позбавляє заготовку 4-х ступенів свободи: переміщення вздовж 2-х координатних осей та обертання навколо цих осей.

Подвійна опорна база позбавляє заготовку 2-х ступенів свободи: переміщення вздовж 2-х координатних осей.

4.2. Схеми базування заготовок.

Базування здійснюється за суворими закономірностями, які мають приватні рішення в залежності від конфігурації заготовки та виду обробки. Розглянемо основні схеми базування.

4.2.1. Базування призматичних тіл.

У прямокутній системі координат при базуванні призми використовуються три технологічні бази: нижня, бічна та торцева площини (рис. 4.9.).

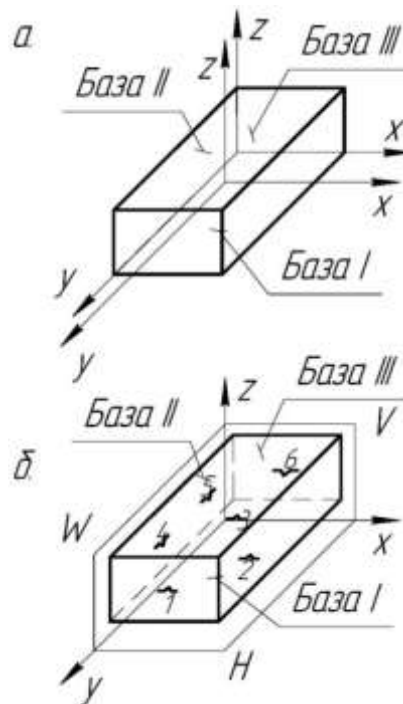


Рис. 4.9. Базування призматичного тіла.

Опорні точки 1, 2, 3 визначають положення тіла щодо площини H і позбавляють його 3-х ступенів свободи: - переміщення по осі z та обертання навколо осей X та Y .

Умовне зображення даного аналізу можна представити так

$$1, 2, 3 (H) - \updownarrow z (x (y$$

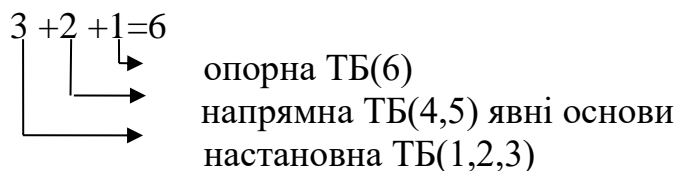
Опорні точки 4 і 5 визначають положення тіла щодо площини W і позбавляють його 2-х ступенів свободи - переміщення по осі X та обертання навколо осі Z

$$4, 5 (W) - \uparrow x (z)$$

Опорна точка 6 визначає положення тіла щодо площини V і позбавляє його 1-го ступеня свободи - переміщення по осі Y

$$6 (V) - \uparrow y$$

Формула базування є умовне позначення схеми базування, де кількість доданків вказує на кількість баз, а цифри - кількість опорних точок на кожній базі.



Реалізація обраної схеми базування у пристосуванні полягає у заміні опорних точок настановними елементами пристосування у суворій відповідності зі схемою базування.

Реалізація обраної схеми базування може виконуватися за допомогою точкових опор, розташованих на трьох взаємно перпендикулярних площинах. Відомо, що три точки характеризують площину, тоді як настановні елементи можуть використовуватися пластини або прямокутна плита. При цьому, чим вища якість базової поверхні деталі, тим більша площа зіткнення її з настановними елементами допускається.

Аналогічний підхід до настановних елементів - напрямні бази. Оскільки дві точки характеризують лінію, то як настановні елементи можна застосовувати або точкові опори (лиття, штампування) або вузьку планку (якісно оброблена поверхня).

Для 6-го настановного елемента завжди застосовується точкова опора з обмеженою площею контакту.

4.2.2. Базування по довгих циліндричних поверхнях.

Повне базування заготовки типу «Вал» виконується за трьома технологічними базами: циліндрична поверхня, торець і елемент, що визначає його кутове положення (рис. 4.10).

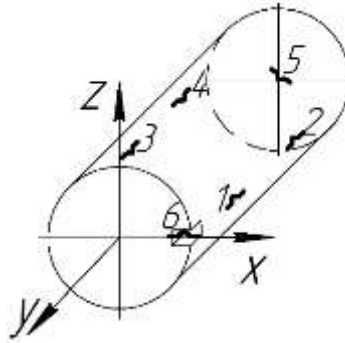


Рис. 4.10. Базування довгого циліндра.

Розташування баз може бути представлене при зображенні деталі у ізометрії (рис. 4.10) або на координатних площинах (рис. 4.11). У попередньому прикладі ми розглянули як можна формалізувати опис схеми базування.

Опис даної схеми базування валу виглядає так:

1,2 – $\updownarrow z$ (x

3,4 – $\updownarrow x$ (z

5 – $\updownarrow y$

6 – (y

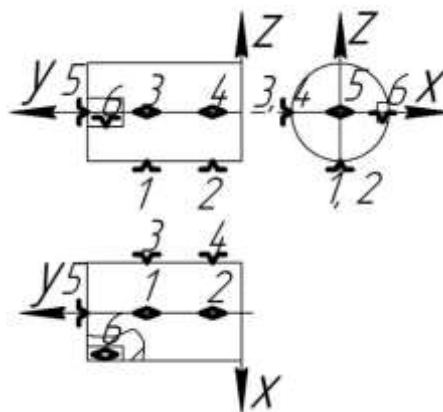


Рис. 4.11. Розташування опорних точок на циліндрі.

Формула базування буде

$$4 + 1 + 1 = 6$$

↳ друга опорна ТБ (6)
↳ перша опорна ТБ (5)
↳ подвійна напрямна ТБ (1, 2, 3, 4)

Перша база - це циліндрична поверхня, де розташовані чотири опорні точки (1, 2, 3, 4), друга – торець заготовки (5), третя – шпонковий паз (6).

Як третя база на деталях циліндричної форми використовується шпонкові пази, отвори, припливи, плоскі вибірки, тощо. Тобто, ті елементи, якими можна визначити кутове положення деталі. При цьому 6-а опорна точка повинна бути розташована якнайдалі від осі обертання.

Реалізація даної схеми базування у пристосуванні полягає в установці її на призми для точок 1, 2, 3, 4 та використання завзятих елементів для точок 5 і 6. Установка може бути виконана в призмі з точковими опорами. Причому положення призми має відповідати розташуванню опорних точок на схемі базування (рис. 4.12).

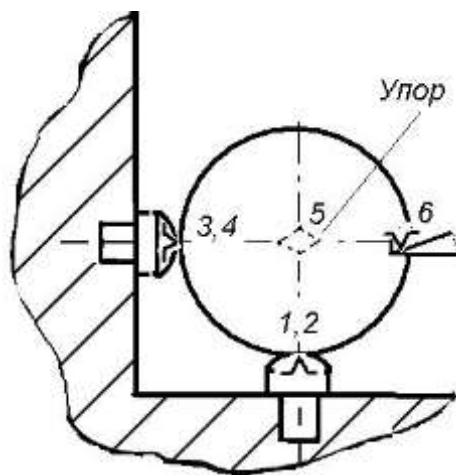


Рис. 4.12. Встановлення валу на точкових опорах.

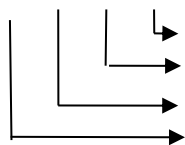
Залежно від якості циліндричної поверхні заготовка може бути встановлена на дві вузькі призми або суцільну призму, що забезпечує лінійний контакт заготовки з настановним елементом.

У разі встановлення заготовки на горизонтальні призми схема базування зміниться (рис. 4.13). У цьому випадку опорні точки 1,2,3,4 знаходяться на

прихованих базах. Опорні точки 1 і 2 лежать на лінії перетину площини симетрії та площини, яка проходить через контактні точки заготовки з призмою. Опорні точки 3 і 4 знаходяться на лінії, що лежить у площині симетрії заготовки та призми.

Формула базування буде

$$2 + 2 + 1 + 1 = 6$$



друга опорна ТБ (6) (явна)
 перша опорна ТБ (5) (явна)
 друга напрямна ТБ (3, 4) (прихована)
 перша напрямна ТБ (1, 2) (прихована)

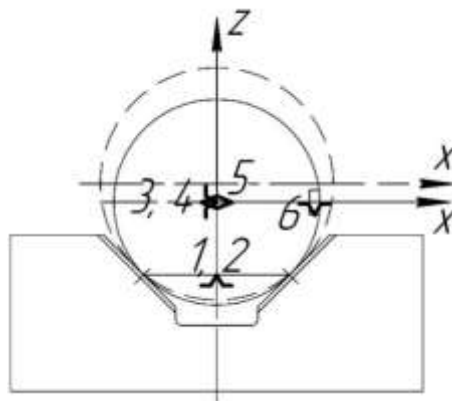


Рис. 4.13. Встановлення валу на призмі.

При якісно обробленій циліндричній поверхні заготовка може встановлюватися з використанням втулки або оправки.

На рисунку 4.14 показано розташування заготовки у твердій втулці. При цьому базами будуть циліндрична поверхня та торець.

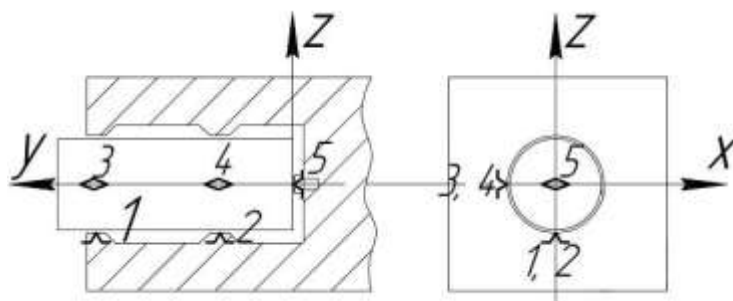


Рис. 4.14. Встановлення валу в твердій втулці.

У затискних системах, які поєднують вісь деталі з віссю пристосування (цангові патрони, 3-х кулачкові патрони та інше) опорні точки (1,2,3,4) розташовані на осі деталі, яка є подвійною прихованою технологічною базою. На рисунку 4.15 показано встановлення циліндричної заготовки в цанговому патроні. При цьому базами будуть вісь деталі, на якій розміщуються чотири опорні точки 1, 2, 3, 4 (подвійна направляюча прихована база). У токарно-револьверних автоматах, що обробляють деталі з прутка, осьове положення визначається за упором, встановленим у револьверному супорті – опорна точка 5 (опорна база явна). Після затиску деталі цей упор забирається, але при цьому осьове положення деталі залишається певним.

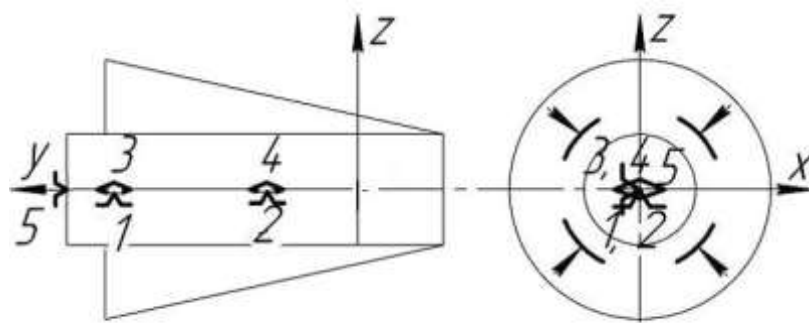


Рис. 4.15. Установка вала в цанговом патроні токарно-револьверного автомата.

Розглянемо обробку 2-х отворів, розташованих під кутом 90° у гладкій циліндричній деталі, встановленій у ділильній головці. Обробка виконується послідовно одним інструментом. При базуванні деталі для свердління першого отвору вона позбавляється 5-ти ступенів свободи, тому неможливо (та й немає необхідності) визначати її кутове положення. Після обробки першого отвору з'явився елемент, яким можна визначити кутове положення деталі. На другому технологічному переході (після повороту на 90°) кутове положення другого отвору визначається положенням першого. Тому при обробці другого отвору деталь позбавлена вже 6-ти ступенів свободи. Шоста опорна точка буде розташована у першому отворі.

На круглошліфувальних верстатах використовуються осьова орієнтація деталі при переміщенні столу. Деталь, встановлена в патроні передньої бабки, переміщається разом зі столом до зіткнення щупа датчика лінійних переміщень з поверхнею, вибраною як опорну базу. По команді від датчика стіл зупиняється у положенні, що відповідає заданому осьовому положенню заготовки.

4.2.3. Базування по довгих конічних поверхнях.

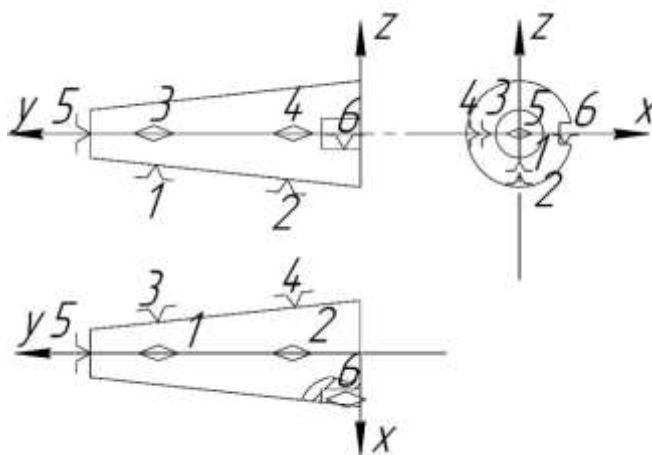


Рис. 4.16. Схема базування довгого конуса.

Формула базування

$$4 + 1 + 1 = 6$$

- ↳ друга опорна ТБ явна (6)
- ↳ перша опорна ТБ явна (5)
- ↳ подвійна напрямна ТБ явна (1, 2, 3, 4)

Реалізація даної схеми базування може виконуватися в косих призмах, залежно від кута конуса, за закономірностями, аналогічними під час базування довгого циліндричного тіла.

Схема базування (рис. 4.16) аналогічна схемою базування довгого циліндричного тіла, однак, має свої особливості. У деяких випадках конічну поверхню можна використовувати для орієнтації заготовки в осьовому напрямку.

Розглянемо приклад установки заготовки в конічний отвір пристосування (рис. 4.17). В даному випадку на конічній поверхні заготовки розташовані 5 опорних точок, і ця база носить назву «Подвійна напрямна та опорна».

Формула базування буде

$$5+1=6$$

└┐ опорна ТБ (6)
└┘ подвійна напрямна та опорна ТБ (1, 2, 3, 4, 5)

Інструмент встановлений на відстані $U = \text{const}$ тому точність розміру A визначається положенням передньої кромки конуса.

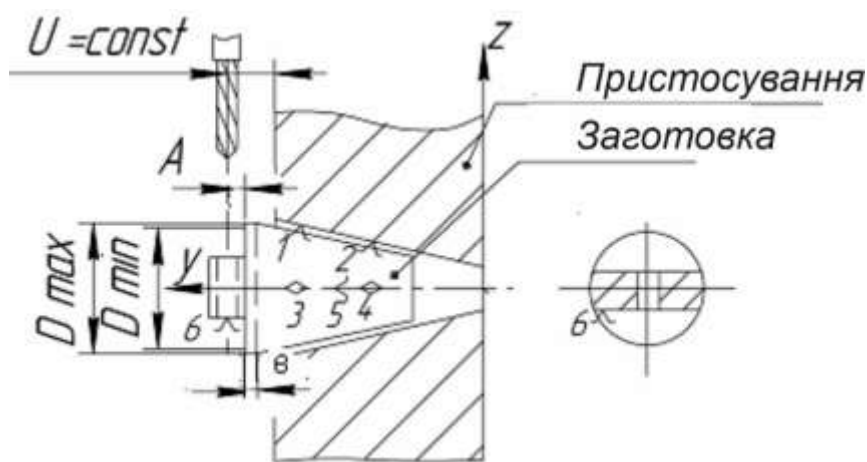


Рис. 4.17. Встановлення заготовки в конічну втулку.

Зовнішній діаметр має певне відхилення ($D_{max} - D_{min} = TD$), при цьому торцева поверхня деталі може зміщуватися в певних межах. Оскільки центр свердла завжди переміщається на відстань $U = \text{const}$ щодо пристосування, то ця величина ϵ похибкою базування для розміру A .

Величина зміщення ϵ прямо пропорційна допуску на діаметр TD і обернено пропорційна куту конуса α , що видно зі схеми (рис. 4.18).

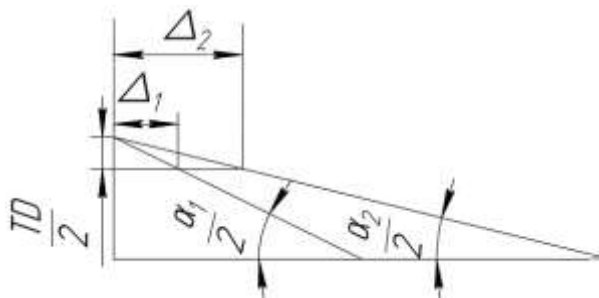


Рис. 4.18. Розрахункова схема визначення похибок

З наведеної схеми видно, що при однаковому допуску на більшому діаметрі зсув буде більшим за меншого кута конуса. І в тому випадку, якщо похибка B перевищує допустиму, таку схему базування не можна використовувати. Тоді конічну поверхню слід використовувати для розміщення 1, 2, 3 і 4 опорних точок, а осьову орієнтацію виконувати по окремій опорній точці 5. Наприклад, при базуванні конічного отвору застосовують плаваючу довгу оправку з автономним упором (аналогічно плаваючому центру, рис. 4.19).

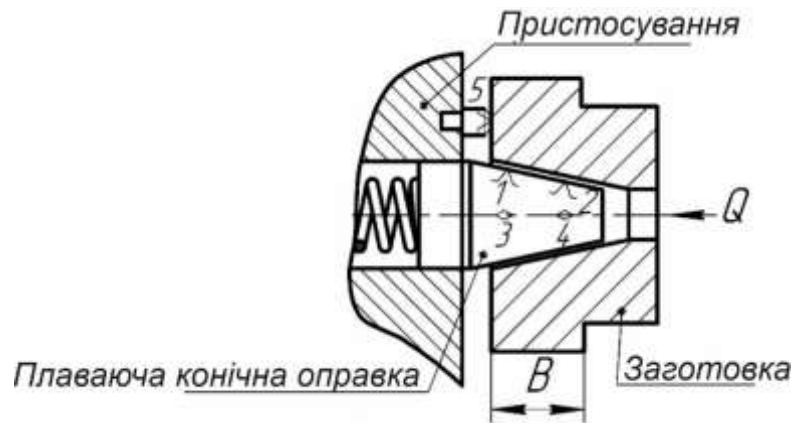


Рис. 4.19. Встановлення заготовки на конічну оправку.

При цій установці заготовка спочатку позбавляється 4-х ступенів свободи (при встановленні на довгу конічну оправку), а потім переміщається до зіткнення з точковою опорою (5), при цьому конічна оправка здавлює пружину.

4.2.4. Базування заготовки з використанням коротких циліндричних поверхонь.

При повному базуванні деталей типу «Диск» використовуються три технологічні бази: торцева площина, циліндрична поверхня та конструктивний елемент, яким можна визначити кутове положення заготовки (рис. 4.20).

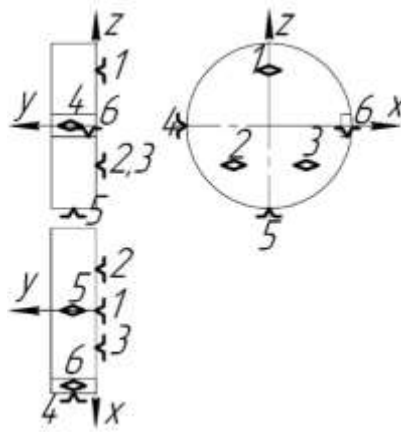


Рис. 4.20. Схема базування диска.

Розташування опорних точок та формула базування:

- 1, 2, 3 → $\uparrow y$ (x (z
 - 4 → $\uparrow x$
 - 5 → $\uparrow z$
 - 6 → (y
- $3 + 2 + 1 = 6$
 - опорна ТБ явна (6)
 - подвійна опорна ТБ явна (4,5)
 - установча ТБ явна (1,2,3)

Реалізація схеми базування у пристосуванні виконується шляхом заміни опорних точок настановними елементами пристосування.

Установча ТБ може спиратися на 3 точкові опори при грубій обробці, на кільцеву оправку або суцільну п'яту у випадку якісній торцевій поверхні. Для центрування деталі використовується вузька призма або призма з опорними точками, яка встановлена відповідним чином.

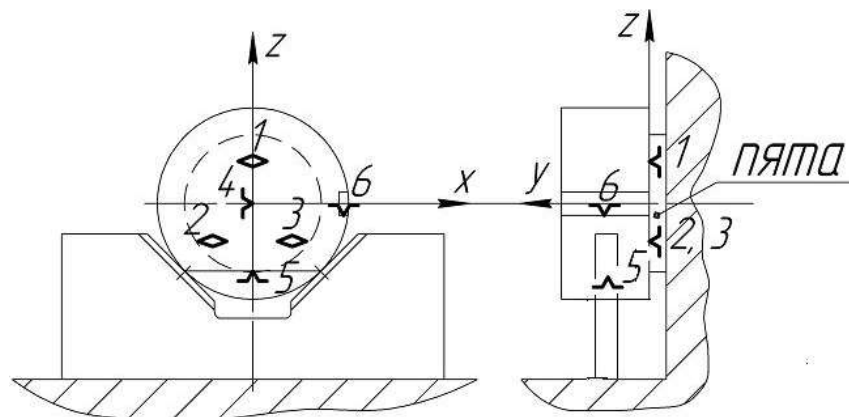


Рис. 4.21. Встановлення диска у горизонтальній призмі.

При базуванні в призмах, встановлених горизонтально (рис. 4.21) опорна точка 4 (положення X) завжди знаходиться на лінії симетрії призми і заготовки. Положення заготовки по осі Z визначається точкою 5, що лежить на перетині осі симетрії заготовки (і призми) і лінії, яка проходить через точки контакту заготовки з призмою.

Встановлення заготовки на площину і центрування двома призмами, що сходяться, показано на рисунку 4.22. При такій установці використовуються дві бази: торцева поверхня заготовки та її центр (перетин осей).

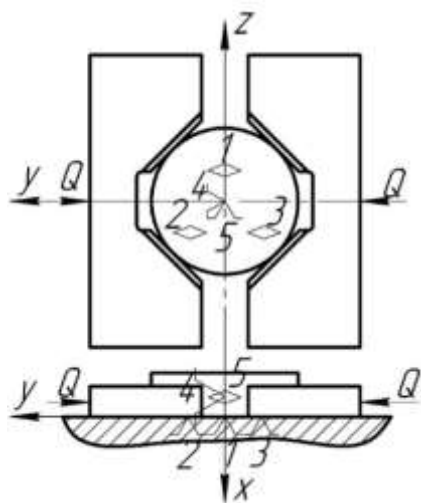


Рис. 4.22 . Установка диска в призмах, що сходяться.

Розташування опорних точок та формула базування

$$\begin{array}{l}
 1, 2, 3 - \uparrow x \text{ (} y \text{ (} z \\
 4 - \uparrow y \\
 5 - \uparrow z
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 3 + 2 = 5 \\
 \downarrow \\
 \rightarrow
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{подвійна опорна ТБ (4,5), прихована} \\
 \text{настановна ТБ (1,2,3), явна}
 \end{array}$$

Установка заготовки на жорсткий циліндричний короткий палець показана на рисунку 4.23. В цьому випадку для базування використовуються торцева площина, циліндрична поверхня отвору і паз.

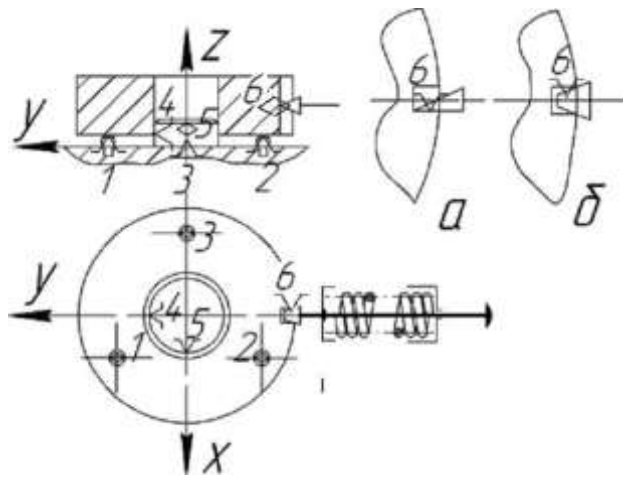


Рис.4.23. Базування диска по отвору та пазу.

Розташування опорних точок і формула базування (всі явні бази):

1, 2, 3 – $\uparrow z$ (x (y	3+ 2+1=6	
4 – $\uparrow y$		опорна ТБ (6)
5 – $\uparrow x$		подвійна опорна ТБ (4,5)
6-(z		настановна ТБ (1,2,3)

В якості елемента, яким визначається кутове положення заготовки використовується паз (рис. 4.23). На рисунку показані два способи базування у кутовому напрямку. У першому випадку (рис. 4.23,а) використовується упор, який орієнтує деталь по нижній кромці паза. Ця база явна, на ній показано опорну точку 6. У другому випадку (рис. 4.23,б) використовується симетричний клин, який одночасно стикається з двома кромками паза. У цьому випадку опорна точка (6) перебуватиме на лінії симетрії паза, тобто база буде прихована.

У наступному прикладі деталь встановлюється на кільцеву п'яту, центрується розтискним пальцем, кутове положення визначається одностороннім упором (рис. 4.24). У цьому випадку установка виконується при поєднанні центру розтискного пальця та центру отвору заготовки.

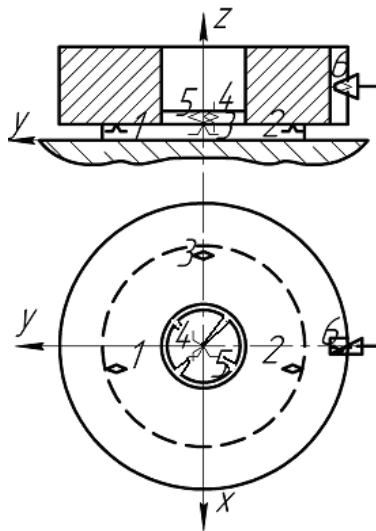


Рис. 4.24. Встановлення диска на п'яту та короткий палець.

Розташування опорних точок та формула базування:

1, 2, 3 – $\uparrow z$ (x (y) $3 + 2 + 1 = 6$
 4 – $\uparrow y$
 5 – $\uparrow x$
 6 – (z

опорна ТБ (6), явна
 подвійна опорна ТБ (4,5), прихована
 настановна ТБ (1,2,3), явна

4.2.5. Базування на коротких конічних поверхнях.

Розглянемо два види базування:

1. Базування коротких конічних шайб.
2. Базування по центровим отворах.

Базування деталі типу конічної шайби.

Схема базування короткої конічної шайби аналогічно базування по коротких циліндричних поверхнях (рис. 4.25)

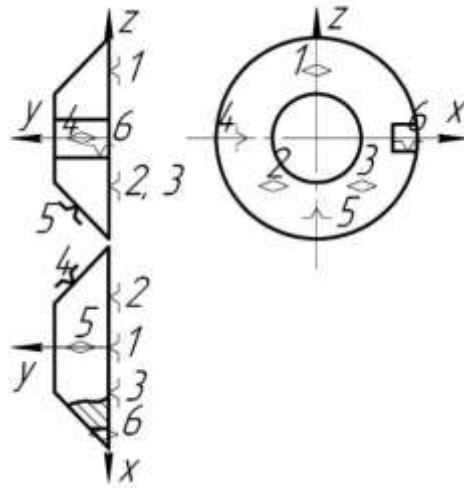
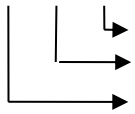


Рис. 4.25. Схема базування конічної шайби.

Розташування опорних точок та формула базування:

1, 2, 3 → $\updownarrow y$ (z)	$3 + 2 + 1 = 6$	
4 → $\updownarrow x$		опорна ТБ явна (6)
5 → $\updownarrow z$		подвійна опорна ТБ явна (4,5)
6 → (y)		установча ТБ явна (1,2,3)

При реалізації такої схеми базування в пристрої вузька призма повинна мати кут нахилу планок відповідно до кута конуса.

Базування заготовки з використанням центрових отворів.

Часто для обробки деталей типу «Тіло обертання» використовуються технологічні бази такі, як отвори з короткими конічними поверхнями (рис. 4.26). При цьому заготовка може встановлюватися залежно від умов обробки на нерухомі центри, центри, що обертаються, плаваючі центри та ін.

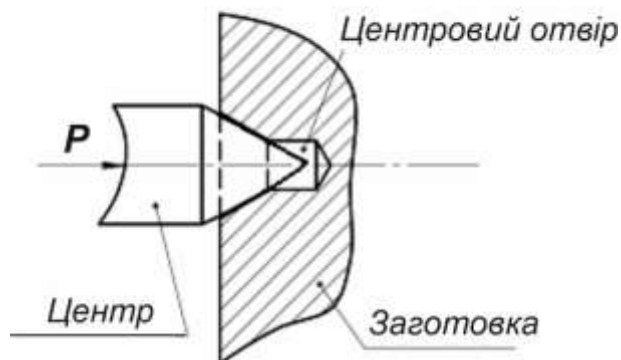


Рис. 4.26. Встановлення заготовки на центр.

При встановленні в центрах можливе використання 2-х схем базування:

1. Лівий жорсткий центр, правий, що підводиться.
2. Лівий центр плаваючий, правий, що підводиться.

При використанні лівого жорсткого центру (рис. 4.27) заготовка на ньому позбавляється трьох ступенів переміщення. На коротких конічних поверхнях центрального отвору розміщуються три опорні точки. При вибраній системі координат ці координатні зв'язки визначають лінійне положення заготовки щодо трьох координатних осей X , Y , Z . На правому центральному отворі розташовані дві опорні точки, що визначають кутове положення деталі щодо осей X , Z .

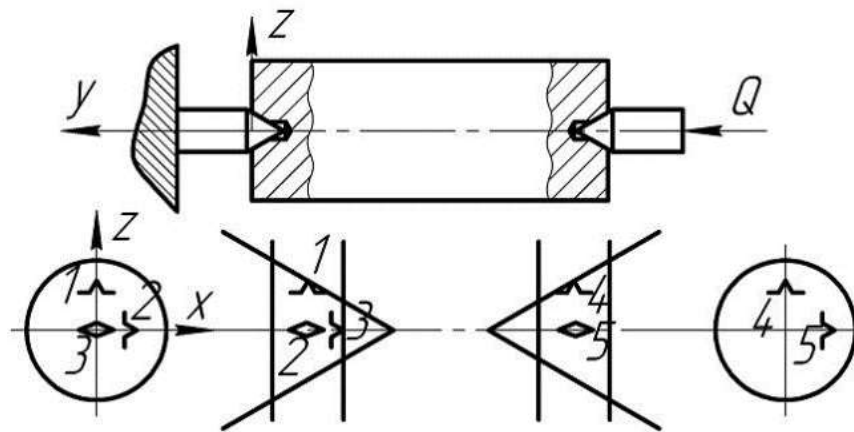


Рис. 4.27. Встановлення заготовки на жорсткий центр.

Розташування опорних точок та формула базування

1 – $\uparrow z$	3 + 2 = 5	
2 – $\uparrow x$	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> $\begin{array}{l} \downarrow \\ \rightarrow \end{array}$ </div>	подвійна опорна ТБ (4,5)
3 – $\uparrow y$		подвійна опорна та опорна ТБ (1,2,3)
4 – (x		
5 – (z		

При такій схемі базування точність осьового розміру залежить від точності виготовлення центру лівого отвору заготовки по глибині. У цьому випадку можливість усунення лівого торця заготовки і буде похибкою базування.

Коли на заготовки необхідно отримати точні осьові розміри, використовуються схеми базування з плаваючим центром і автономною опорою в осьовому напрямку (рис. 4.28).

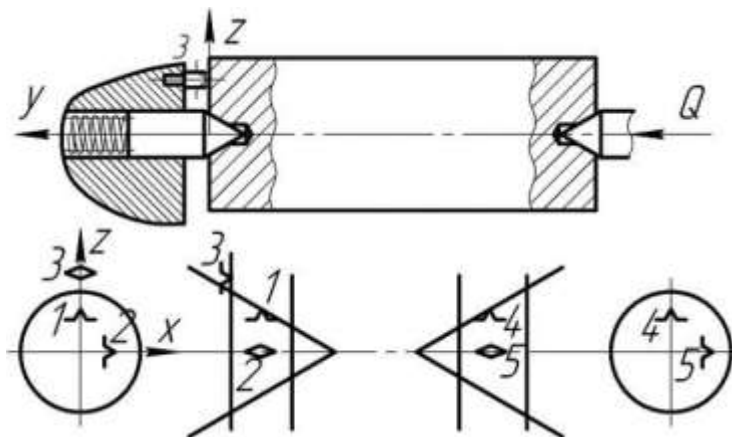


Рис. 4.28. Встановлення заготовки на центр плавання.

Розташування опорних точок та формула базування:

1 – $\uparrow z$	$2 + 2 + 1 = 5$	опорна ТВ (3)
2 – $\uparrow x$		II подвійна опорна ТВ (4, 5)
3 – $\uparrow y$		I подвійна опорна ТВ (1, 2)
4 – (x		
5 – (z		

Такі схеми базування використовуються, зокрема, у верстатах з ЧПУ, гідрокопіювальних та багаторізцевих верстатах на остаточних операціях.

4.3. Комбіновані схеми базування.

У реальних умовах обробки часто доводиться використовувати розглянуті вище елементи класичних схем базування у різних поєднаннях.

При обробці *плоских, корпусних* та інших деталей часто використовують схеми установки на площину та два циліндричні пальці (рис. 4.29). В якості баз, при цьому, приймають нижню опорну площину (переміщення осі **Z**, обертання навколо осей **X** і **Y**) і циліндричні поверхні двох отворів. Причому в

одному з них (0 координатної системи) заготовка позбавляється двох ступенів свободи: переміщення вздовж осей X і Y , а в другому - обертання навколо осі Z .

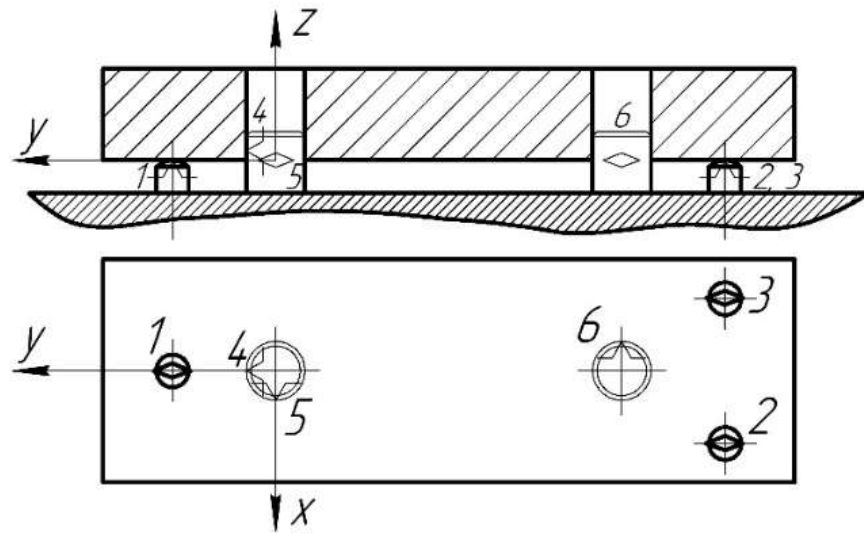


Рис. 4.29. Установка заготовки на два циліндричні пальці.

Розташування опорних точок та формула базування:

1, 2, 3 – $\updownarrow z$ (x (y	$3+2+1=6$	опорна ТБ (6)
4 – $\updownarrow y$		подвійна опорна ТБ (4,5)
5 – $\updownarrow x$		настановна ТБ (1,2,3)
6 – (z		

Для базування в кутовому положенні щодо Z необхідно одна точка контакту, тому як настановний елемент для другого отвору можна використовувати зрізаний (ромбічний) палець (рис. 4.30).

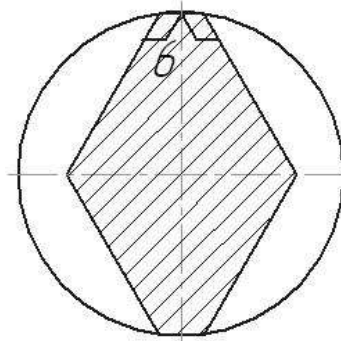


Рис. 4.30. Ромбічний палець.

Часто, при обробці корпусних деталей, на перших операціях фрезерують базову площину, і створюють технологічні отвори, що використовуються надалі на ряді операцій для базування за розглянутою схемою.

Для установки заготовок типу косинців і хрестовин часто використовують три вузькі призми (рис. 4.31). При встановленні у призмах застосовуємо способи аналізу схем базування, які ми використовували раніше (див.п. 4.2.4).

Розташування опорних точок та формула базування:

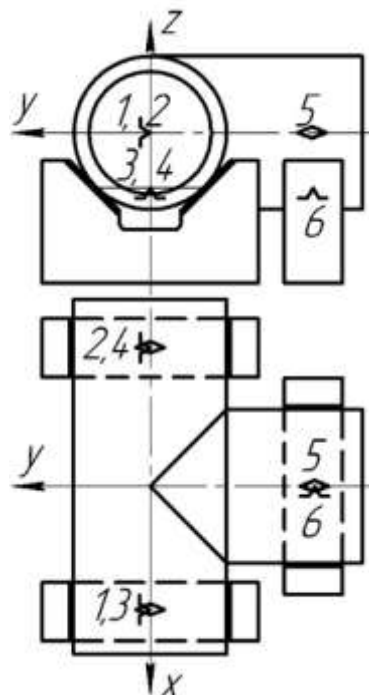
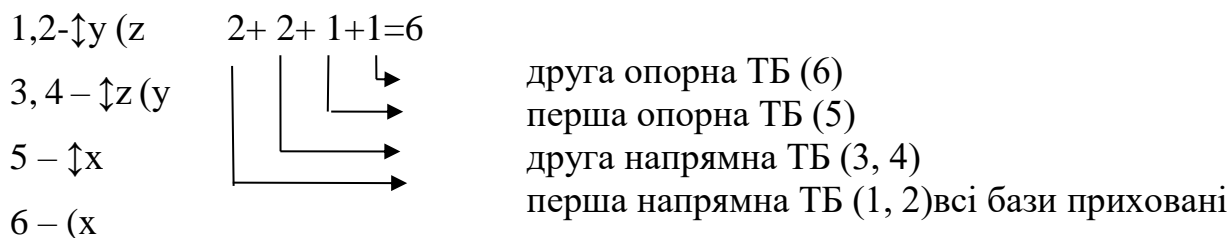


Рис. 4.31. Встановлення заготовки на три призми.

Для обробки деталей типу хрестовин не можна використовувати 4 вузькі призми, тому що схема матиме 8 координатних зв'язків, з яких визначати положення заготовки будуть тільки 6, але не відомо яких (випадкових). Така схема називається *схемою невизначеного базування*, і її використання може призвести до значних похибок обробки. У цьому випадку для створення необхідної жорсткості під час обробки слід використовувати додаткову опору.

4.4. Схеми повного та неповного базування.

При автоматичному отриманні розміру на верстатах необхідна орієнтація заготовки щодо ріжучого інструменту досягається за допомогою пристосування. Якщо за умовами обробки поверхня визначається в усіх напрямках, тобто, задані три координатні розміри та три параметри за кутовим розташуванням, то застосовують схему повного базування з позбавленням заготовки шести ступенів свободи.

Якщо поверхня, що обробляється, задана меншою кількістю координат, то немає необхідності застосовувати повне базування. У цьому випадку досить позбавити тіло п'яти, чотирьох або трьох ступенів свободи. Таке базування заготовки називають неповним. При цьому пристосування буде простіше та дешевше. Для грубої орієнтації заготовки у бік, необговорений базуванням, служать позначки на верстаті, неточні (чи неконтрольовані) упори тощо.

Розглянемо приклади базування призматичного тіла під час обробки різних за формою поверхонь.

При обробці паза пальцевою фрезою заданого розмірами A_x , A_y , A_z та напрямом поверхонь щодо цих осей необхідно виконати повне базування призматичного тіла (рис. 4.32), позбавивши його всіх шести ступенів свободи.

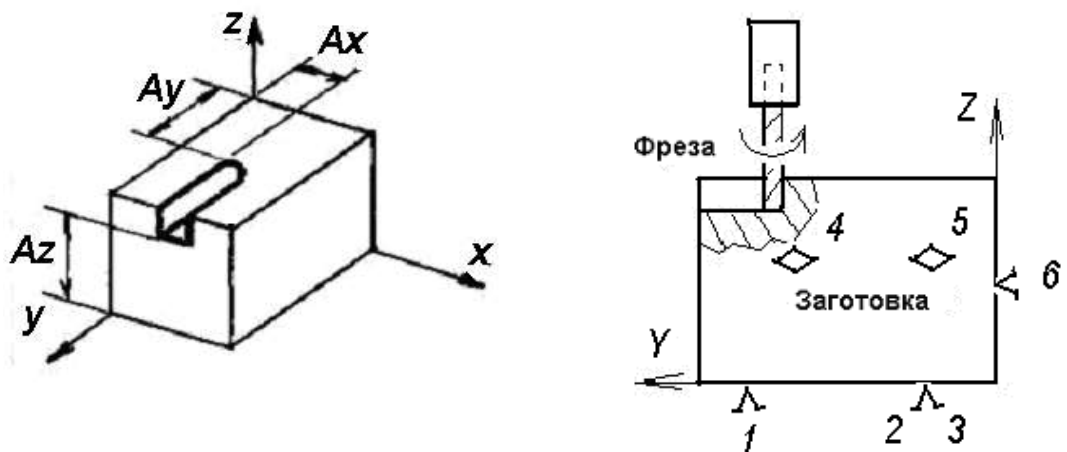


Рис. 4.32. Схема встановлення та обробки закритого пазу.

Формула базування буде $3+2+1 = 6$

При обробці наскрізного паза дисковою фрезою, заданого розмірами A_x , A_z та напрямом щодо осей X , Y , Z (рис. 4.33), застосовують спрощене базування позбавляючи заготовку п'яти ступенів свободи.

Формула базування $3+2=5$. При цьому не потрібно точного положення заготовки по осі Y (тобто вздовж паза). Обов'язковою умовою є розміщення заготовки в цьому напрямку в межах робочого ходу інструменту (L_{px}).

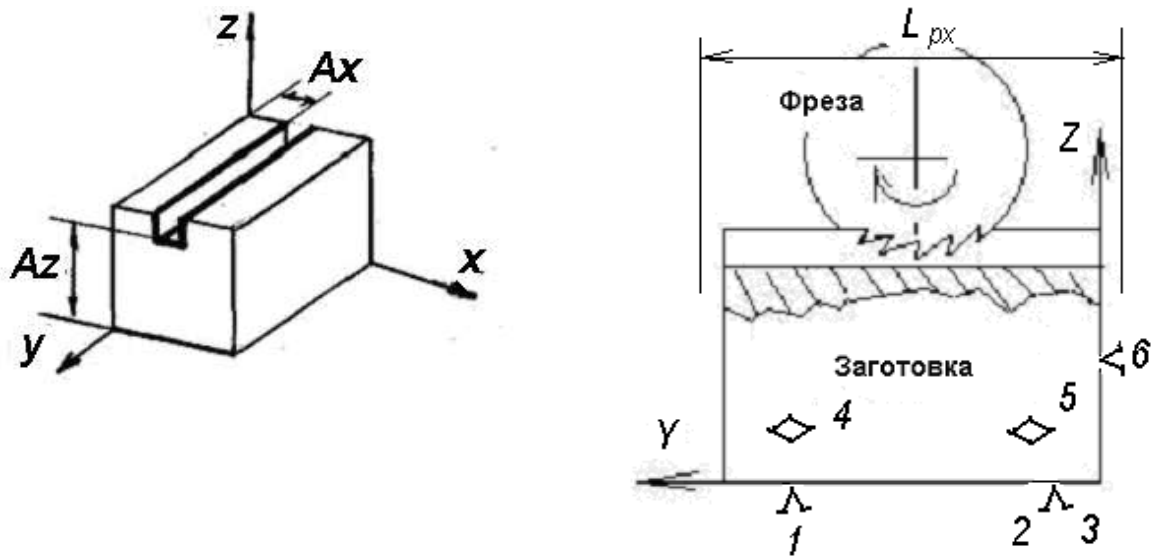


Рис. 4.33. Схема установки та схема обробки відкритого пазу.

При обробці верхньої площини деталі заданої розміром A_z (рис. 4.34) тіло позбавляють всього трьох ступенів свободи: положення по осі Z - і обертання навколо осей X і Y .

Формула базування $3=3$. Оброблювана заготовка встановлюється на три точки установчої технологічної бази. При цьому необхідно, щоб зона обробки була обмежена шириною циліндричної фрези ($B_{фр}$) і довжиною робочого ходу (L_{px}) та перекривала оброблювану поверхню. Аналогічне базування виконується для плоского шліфування заготовок, які встановлюються на магнітній плиті.

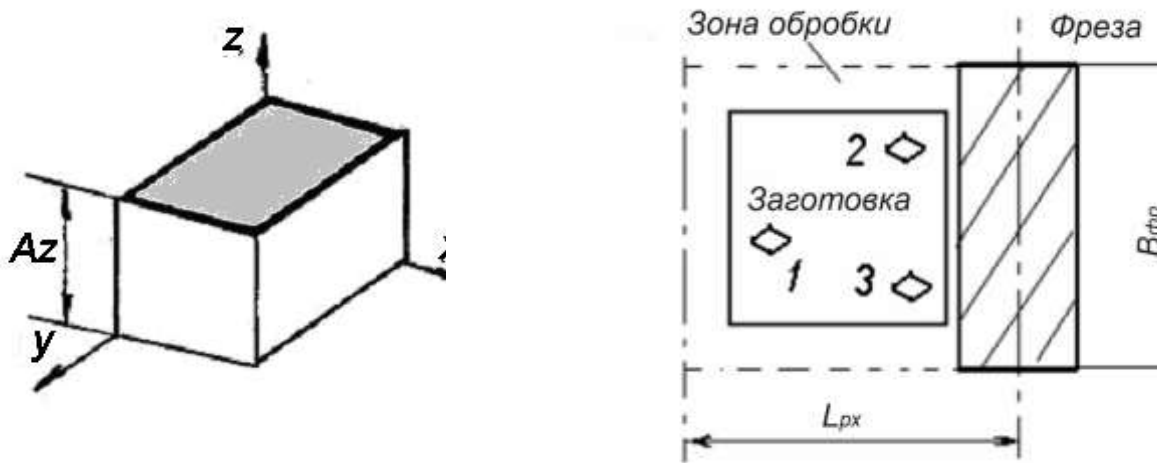


Рис. 4.34. Схема установки заготовки під час обробки площини.

4.5. Вимоги до настановних поверхонь пристроїв.

Якщо обробка заготовки проводиться на ряді пристроїв послідовно, то розташування опорних елементів на всіх пристроях слід виконувати однаково.

При встановленні заготовки на три точкові опори останні слід розташувати таким чином, щоб утворений ними опорний трикутник мав можливо більші розміри (див. рис. 4.34).

Найкращим випадком є таке розташування опор (рис.4.35), коли рівнодіюча від сил затискання, ваги і різання проектується в центр тяжіння опорного трикутника. Мінімальним для нормального процесу обробки є проектування сил усередину опорного трикутника.

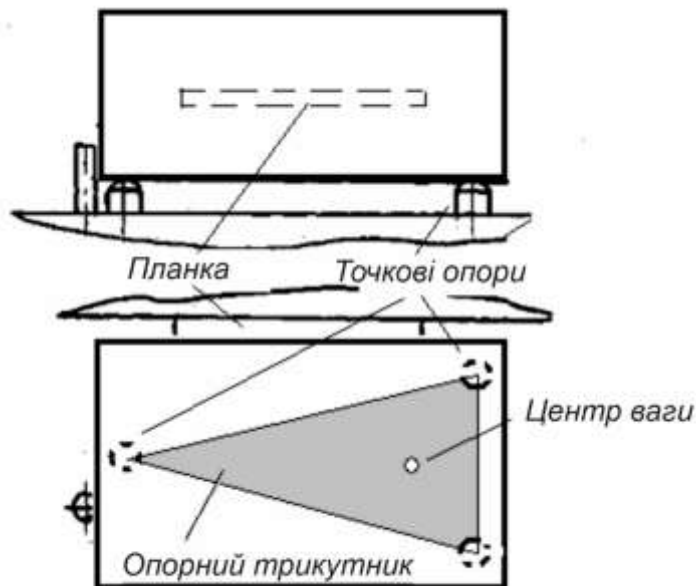


Рис. 4.35. Схема розташування опорного трикутника.

При розташуванні заготовки на плиті установча технологічна база заготовки за розмірами повинна бути більшою за установчу поверхню пристосування, а направляюча база довша за напрямну поверхню пристосування.

Площа контактів по головній і напрямній технологічним базам повинна бути такою, щоб запобігти пошкодженню деталі від надмірної контактної напруги. Особливо це стосується заготовок з кольорових матеріалів, сплавів.

При базуванні заготовок, які мають штампувальні або ливарні ухили, рекомендується настановні поверхні пристроїв виконувати відповідно до кутів ухилів $\alpha = 5^\circ \div 7^\circ$.

4.6. Конструкції настановних елементів пристроїв.

До настановних елементів відносяться деталі та елементи пристосувань, які визначають положення заготовки в пристрої. Конструкція та розміри настановних деталей повинні, як правило, вибиратися за стандартами або нормами машинобудування.

За своїм призначенням настановні елементи поділяються на дві групи: основні та додаткові (допоміжні).

До основних настановних елементів пристроїв відносяться жорсткі опори, які беруть участь у процесі базування.

Точкові опори. Вони можуть мати рифлену (рис. 4.36,а), гладку (рис. 4.36,б) або сферичну (рис. 4.36,в) опорні поверхні.

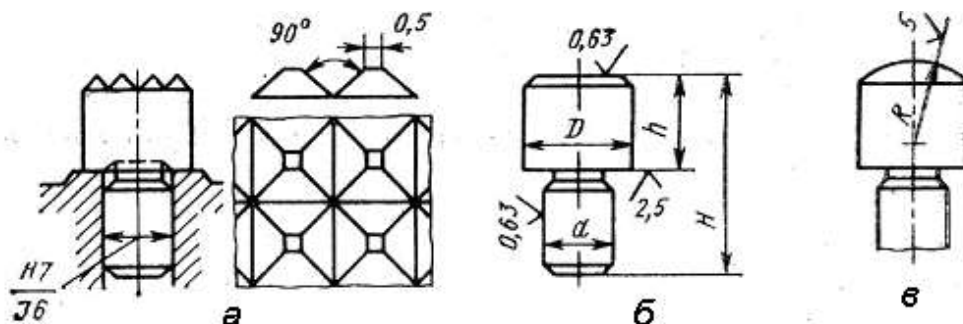


Рис. 4.36. Точкові опори.

Планки. На рисунку 4.37 наведено конструкцію опорної настановної планки з пазами для прибирання стружки.

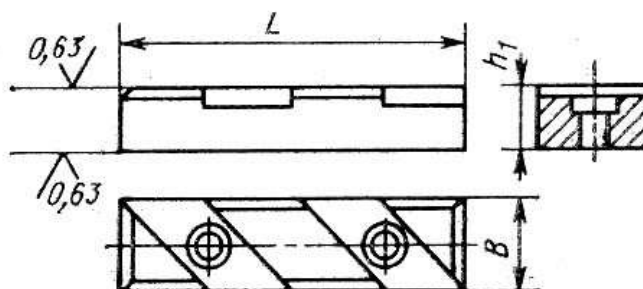


Рис. 4.37. Установчі планки.

Призми. Для встановлення циліндричних заготовок застосовуються стандартні призми (рис. 4.38).

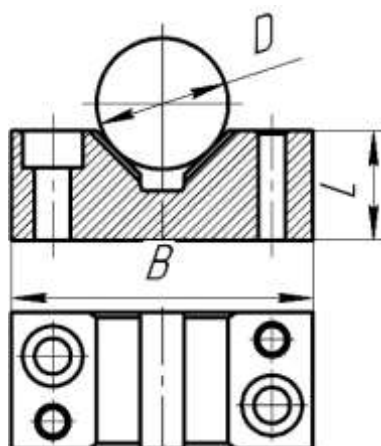


Рис. 4.38. Призма.

Контактні поверхні настановних елементів повинні мати достатню жорсткість і велику зносостійкість. Зазвичай їх виготовляють із сталей 15, 20, 20Х з цементацією на глибину 0,8÷1,2мм з наступним загартуванням до твердості 50÷55 (60) HRC. Особливо відповідальні деталі виготовляються зі сталей марок У7А хромуєть або покривають твердим сплавом.

Для створення необхідної жорсткості та вібростійкості у зоні обробки без зміни схеми базування використовуються додаткові опори. Ці опори не беруть участь у процесі базування і є додатковими опорними точками. Входячи в контакт з обрабною поверхнею, додаткові опори не повинні порушувати положення заготовки, задане їй при базуванні.

Додаткові опори поділяються на підведені, регульовані та самовстановлюючі (рис. 4.39).

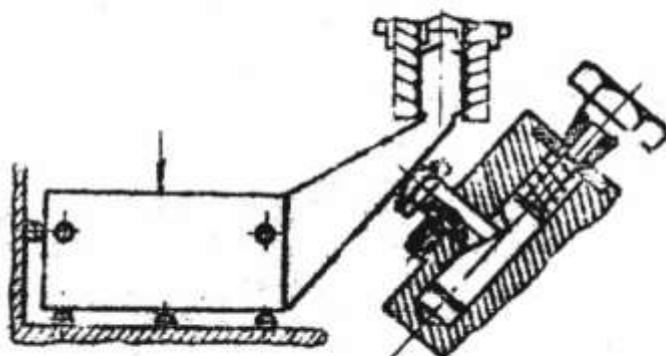
У опорі, що підводиться, показаної на рисунку 4.39 контакт із заготовкою здійснюється при переміщенні плунжера по похилій поверхні клину. Самогальмуюча пара «плунжер-клин» забезпечує збереження нерухомості опори в заданому положенні.

Регульована опора (рис. 4.39) дозволяє збільшити жорсткість установки за рахунок створення контакту при обертанні завзятого гвинта та його переміщення до поверхні заготовки. Після досягнення заданого положення гвинт стопориться гайкою.

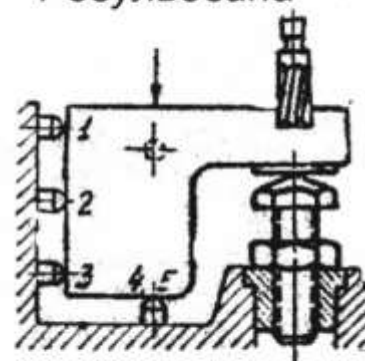
Регулювання положення роликів у токарному лонеті дозволяє забезпечити контакт із циліндричною поверхнею заготовки у близької до зони різання площині. У цьому випадку збільшується радіальна жорсткість обробки.

Самовстановлююча опора забезпечує жорсткість при заданому положенні заготовки за рахунок запобігання переміщенню хвостовика в горизонтальній та вертикальній площині.

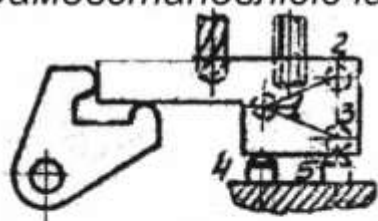
Що підводиться



Регульована



Самовстановлююча



Токарний люнет

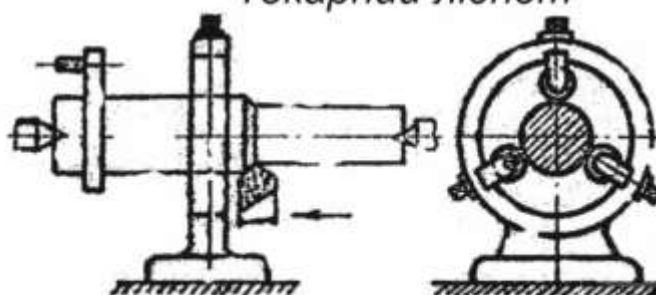


Рис. 4.39. Додаткові опори.

Запитання для самоконтролю:

1. *Що таке база?*
2. *Яке призначення опорних точок?*
3. *Що таке схема базування?*
4. *Які завдання розв'язуються при встановленні заготовки в пристрої?*
5. *Як класифікуються бази за призначенням?*
6. *Що таке конструкторська, технологічна та вимірвальна бази?*
7. *Які основні засади базування?*
8. *Як класифікуються бази по ступеням свободи, що позбавляються?*
9. *Як класифікуються бази по характеру прояви?*
10. *Як здійснюється базування призматичних заготовок?*
11. *Як виконується базування на довгих циліндричних поверхнях?*
12. *Як виконується базування на коротких циліндричних поверхнях?*
13. *Які особливості базування за довгими кінчними поверхнями?*
14. *Як базується заготовка з використанням центрових отворів?*
15. *Як виконується базування за площиною та двома отворами?*
16. *Що таке повне та неповне базування?*
17. *Які вимоги висуваються до настановних елементів пристроїв?*
18. *Коли призначаються додаткові опори?*

5. Технологічність виробів машинобудування

Технологічність конструкції виробу (ТКВ) - сукупність властивостей виробу, що визначають пристосованість його конструкції до досягнення оптимальних витрат ресурсів під час виробництва та експлуатації для заданих показників якості, обсягу випуску та умов виконання робіт.

Забезпечення технологічності конструкції виробу - функція підготовки виробництва, що передбачає взаємопов'язане рішення конструкторських та технологічних завдань, спрямованих на підвищення продуктивності праці, досягнення оптимальних трудових та матеріальних витрат та скорочення часу на виробництво, у тому числі монтаж поза підприємством-виробником, технічне обслуговування та ремонт виробу .

Основне завдання відпрацювання конструкції на технологічність полягає у підвищенні продуктивності праці при оптимальному зниженні витрат праці, засобів, матеріалів та часу на проектування, підготовку виробництва, виготовлення, технічне обслуговування та ремонт, забезпечення інших заданих показників якості виробу у прийнятих умовах його виробництва та експлуатації.

Забезпечення технологічності конструкції є однією з основних функцій Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ).

5.1. Основні поняття технологічності виробу.

Технологічність конструкції включає наступні основні поняття:

виробнича технологічність - властивість конструкції, що дозволяє виготовити та зібрати виріб в умовах даного виробництва з мінімальними витратами праці при забезпеченні заданої якості.

ремонтна технологічність - властивість конструкції, що дозволяє ремонтувати виріб в умовах даного виробництва з мінімальними витратами праці.

експлуатаційна технологічність – властивість конструкції, що забезпечує можливе більш тривале збереження заданих експлуатаційних якостей виробу.

Загальні вимоги забезпечення технологічності конструкції виробу включають:

- відпрацювання конструкції виробів на технологічність на всіх стадіях розробки виробу, при технологічній підготовці виробництва та, в обґрунтованих випадках, при виготовленні виробу;

- удосконалення умов виконання робіт під час виробництва, експлуатації та ремонту виробів та фіксація прийнятих рішень у технологічній документації;

- кількісну оцінку технологічності конструкції виробів;

- технологічний контроль конструкторської документації;

- підготовку та внесення змін до конструкторської документації за результатами технологічного контролю, що забезпечують досягнення базових значень показників технологічності.

При проведенні відпрацювання конструкції виробу на технологічність слід враховувати:

- вид виробу, ступінь його новизни та складності, умови виготовлення, технічного обслуговування та ремонту, а також монтажу поза підприємством-виробником;

- перспективність виробу, обсяг його випуску;

- передовий досвід підприємства-виробника та інших підприємств з аналогічним виробництвом, нові високопродуктивні методи та процеси виготовлення;

- оптимальні умови конкретного виробництва при раціональному використанні наявних засобів технологічного оснащення та виробничих площ та планомірному впровадженні нових передових технологічних методів та засобів виробництва;

- зв'язок досягнутих показників технологічності з іншими показниками якості виробу.

Обробка конструкції виробу на технологічність має забезпечувати вирішення наступних основних завдань:

- зниження трудомісткості та собівартості виготовлення виробу та його монтажі поза підприємством-виробником;

- зниження трудомісткості, вартості та тривалості технічного обслуговування та ремонту виробу;

- зниження найважливіших складових загальної матеріаломісткості виробу, якими є витрати металу та паливно-енергетичних ресурсів при виготовленні, технічне обслуговування та ремонт.

Комплекс робіт зі зниження трудомісткості, вартості та тривалості технічного обслуговування та ремонту виробу у загальному випадку включає:

- використання конструктивних рішень, що дозволяють знизити витрати на проведення підготовки до використання за призначенням, технічного контролю, технічного діагностування та транспортування виробу;

- використання конструктивних рішень, що дозволяють знизити витрати на забезпечення: доступу до складових частин; заміни складових частин виробу такими ж частинами за збереження встановленої якості виробу в цілому; установки та знімання складових частин виробу; відновлення геометричних характеристик та якості поверхні деталі;

- підвищення вимог щодо уніфікації та стандартизації складових частин виробу;

- обмеження кількості змінних складових частин виробу, номенклатури матеріалів, інструменту, допоміжного обладнання та пристроїв;

- використання конструктивних рішень, що полегшують та спрощують умови технічного обслуговування та ремонту для обмеження вимог до кваліфікації персоналу, що здійснює технічне обслуговування та ремонт.

Комплекс робіт зі зниження матеріаломісткості виробу включає:

- застосування раціональних сортamentів та марок матеріалів, раціональних способів отримання заготовок, методів та режимів зміцнення деталей;

- розробку та застосування прогресивних конструктивних рішень, що дозволяють підвищити ресурс виробу та використовувати маловідходні та безвідходні технологічні процеси;

- розробку раціонального компонування виробу, що забезпечує скорочення витрати матеріалу при монтажі поза підприємством-виробником;
- впровадження науково обґрунтованих запасів міцності металоконструкцій, типових методів розрахунків та випробувань виробу.

Розрізняють якісну та кількісну оцінку технологічності.

Аналіз технологічності проводиться, як правило, у два етапи: якісний аналіз та кількісний аналіз.

5.2. Якісний аналіз технологічності.

Принципи якісної оцінки технологічності конструкції деталей, одержуваних обробкою різанням, включають:

- 1) оцінку стандартизації та уніфікації конструктивних елементів деталі;
- 2) можливість застосування стандартних чи уніфікованих заготовок;
- 3) оцінку геометричних форм поверхонь деталі з точки зору їх простоти і можливості застосування для обробки на високопродуктивному обладнанні та застосуванням стандартного інструменту;
- 4) оцінку проставлення розмірів відповідно до розмірних зв'язків між конструкторськими і технологічними базами та можливістю їх поєднання;
- 5) оцінку можливості безпосереднього виміру заданих на кресленні розмірів;
- 6) оцінку конструктивної та економічної обґрунтованості вимог до точності та шорсткості поверхонь деталі;
- 7) оцінку оброблюваності матеріалу деталі;
- 8) оцінку відповідності механічних властивостей матеріалу, жорсткості деталі, її форми та розмірів вимогам технології виготовлення;
- 9) виявлення можливих базових поверхонь, оцінку їх точності та шорсткості;
- 10) оцінку можливості застосування типових технологічних процесів;
- 11) виявлення необхідності додаткових технологічних операцій, що викликаються специфічними вимогами до деталі (наприклад, балансування).

Для різних груп деталей є певні набори правил технологічності. Однак, для всіх класів деталей визнаються нетехнологічними такі елементи:

- глибокі отвори;
- отвори, розташовані під кутом до осі, площини, входу/виходу інструменту тощо;
- глухі отвори з різьбленням.

Деталі **типу валів** визнаються технологічними, якщо вони відповідають таким вимогам:

- можливість максимального наближення форми та розмірів заготовки до розмірів та форми деталі;
- можливість вести обробку прохідними різцями;
- зменшення діаметрів поверхонь від середини до торців валу або від одного торця до іншого;
- можливість заміни закритих пазів для встановлення шпонок відкритими;
- жорсткість валу забезпечує досягнення необхідної точності під час обробки.

Для **корпусних деталей** визначають:

- чи дозволяє конструкція обробку площин на прохід і що заважає такому виду обробки;
- чи можна обробляти отвори одночасно на багатошпindelних верстатах з урахуванням відстаней між осями цих отворів;
- чи дозволяє форма отворів розточувати їх на прохід з однієї або двох сторін;
- чи є вільний доступ інструменту до оброблюваних поверхонь;
- чи потрібна підрізка торців ступіць із внутрішніх сторін вилівки і чи можна її усунути;
- чи є глухі отвори і чи можна замінити їх наскрізними;
- чи є площини, що обробляються, які розташовані під тупими і гострими кутами, і чи можна замінити їх площинами, розташованими паралельно або перпендикулярно одна до одної;


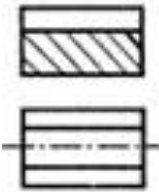
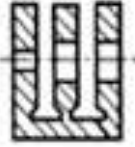
- чи є отвори, розташовані не під прямим кутом до площини входу та виходу інструменту, і чи можлива зміна цих елементів;
- чи достатня жорсткість деталі, чи не обмежить вона режими різання;
- чи є в конструкції деталі достатні за розмірами та відстанню базові поверхні, якщо ні, то яким чином слід вибрати допоміжні бази;
- чи немає у конструкції внутрішньої різьби великого діаметра і чи можливо замінити її іншими конструктивними елементами;
- наскільки простий спосіб отримання заготовки (вилівки), чи правильно вибрані елементи конструкції, що зумовлюють одержання заготовки.

Зубчасті колеса визнаються технологічними, якщо вони мають:

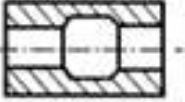

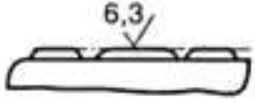
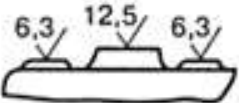
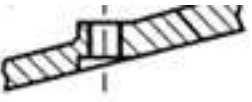

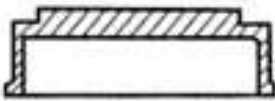
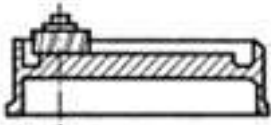
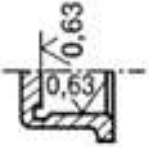

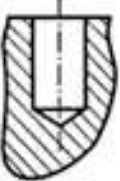

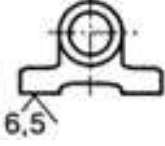

- центральний отвір простої форми;
- просту конфігурацію зовнішнього контуру (найбільш технологічними є зубчасті колеса простої форми без виступаючих ступіць) ;
- ступиці з одного боку, що дозволяє обробляти на зубофрезерних верстатах по дві деталі;
- симетрично розташовану перемичку між вінцем та ступіцею, що зменшує викривлення деталі при термообробці;
- можливість штампування фігурної перемички між вінцем та ступіцею; достатню відстань між вінцями для обробки на зубофрезерних верстатах (для двовінцевих зубчастих коліс);
- відкриті з одного або двох боків пази.

У таблиці 5.1 подано пояснення про технологічність деяких з розглянутих варіантів конфігурації поверхонь.

Таблиця 5.1 - Технологічні та нетехнологічні варіанти конфігурації поверхонь.

№	Технологічно	Не технологічно	Чому не технологічно
1			Обробка неможлива одним інструментом без переустановлення. При обробці на верстатах з ЧПУ одним інструментом використовують різні коди керуючої програми для кожної ділянки.
2			Обробка неможлива одним інструментом, або необхідна корегування програми для верстата с ЧПУ.
3			Необхідно використовувати кілька різнотипних інструментів (свердло та зенкери) для отримання співвісних поверхонь. У технологічному варіанті конічні поверхні можуть розглядатися як слід інструменту.
4			Закритий прямокутний в осьовому перерізі паз складно отримати будь-яким інструментом.
5			Косий торець можна отримати лише фрезеруванням з використанням поворотної головки або спеціального пристрою. Точіння торця можливе тільки з використанням спеціального пристрою
6			Отримання сфери без технологічної проточки утруднено під час обробки на універсальному устаткуванні з поперечною подачею фасонного різця.
7			Отримання напівзакритих пазів з різних боків потребує переорієнтації деталі. Обробка повинна виконуватися кінцевою фрезою, проте дисковий «на прохід» набагато ефективніший.
8			Отримання бічних отворів з діаметрами більше, ніж центральне, вимагає переорієнтації деталі для обробки з двох сторін.

Продовження таблиці 5.1

9			<p>Отримання бічних отворів з діаметрами більше, ніж центральне, вимагає переорієнтації деталі для обробки з двох сторін, тоді як отримання широкої канавки можливе при обробці з одного боку за рахунок циклограми руху інструменту.</p>
10			<p>Обробка різновисотних бонок з різною шорсткістю поверхонь вимагає виконання обробки за кілька технологічних переходів/операцій з переналаштуванням обладнання.</p>
11			<p>При вході/виході свердла під кутом до нормалі поверхні може відбуватися його вигин та поломка, зміщення висі отвору, що ускладнює подальше складання та якість складального з'єднання.</p>
12			<p>Закрита площина при фрезеруванні вимагає використовувати кілька робочих ходів (маятникова або кругова траєкторія інструменту), оскільки немає можливості використовувати інструмент, який перекриває всю площину.</p>
13			<p>Операція шліфування периферією кола без проточки, що забезпечує вихід інструменту, призводить до частіших правки і, можливо, до утворення припалів при торканні колом торцевої поверхні.</p>
14			<p>Необхідно використовувати кілька різнотипних інструментів (свердло та торцевий зенкер) для отримання поверхні. У технологічному варіанті кінцева поверхня розглядається як слід інструменту (свердла).</p>
15			<p>Обробка опорної площини великої ширини може призвести до неточності подальшого монтажу (опуклість площини), а також додаткових витрат на обробку через більшу площу поверхні.</p>

5.3 Кількісний аналіз технологічності виробу.

Кількісно технологічність конструкції оцінюється за комплексним показником, що визначається як сукупність значень приватних показників технологічності з урахуванням коефіцієнтів їхньої вагомості, тобто:

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i}, \quad (5.1)$$

де K_T – комплексний показник технологічності;

K_i – частковий показник технологічності;

φ_i – коефіцієнт вагомості часткового показника;

n – кількість часткових показників технологічності.

Цей посібник засновано на методиках визначення технологічності деталей у різних галузях машинобудівної промисловості та у приладобудуванні, засобів автоматизації та систем управління. Визначення приватних показників технологічності деталей проводиться на основі аналізу конструкції деталей по елементах з урахуванням прийнятого способу їх виготовлення та виду матеріалу.

Номенклатура приватних показників технологічності та відповідні вагові коефіцієнти для деталей, одержуваних методами різання, наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Нормативні значення коефіцієнтів технологічності.

	Найменування приватного показника технологічності	Позначення	Вагові коефіцієнти
1.	Показник оброблюваності матеріалу	<i>Ком</i>	<i>0.8</i>
2.	Показник складності конструкції деталі	<i>Ксл</i>	<i>0.7</i>
3.	Коефіцієнт точності та шорсткості поверхонь деталі	<i>Кпов</i>	<i>0.6</i>
4.	Показник уніфікації конструктивних елементів	<i>Куе</i>	<i>0.7</i>
5.	Показник використання матеріалу	<i>Квм</i>	<i>1.0</i>

Комплексний показник технологічності K має бути більшим або дорівнювати так званому нормативному показнику технологічності $[K]$ (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Нормативні значення комплексного показника технологічності $[K]$.

Тіла обертання		Інші деталі	
Прецизійні	Не прецизійні	Прецизійні	Не прецизійні
0,70	0,75	0,60	0,65

Практичне застосування розрахункових коефіцієнтів технологічності можливе за двома основними напрямками.

1. Під час розробки нового виробу коефіцієнти K_t основних деталей повинні перевищувати так звані базові значення, що задаються в керівних вказівках щодо конструювання та формуються за результатами розрахунків коефіцієнтів технологічності деталей-аналогів, характерних для технологічного оснащення даного підприємства у конкретній галузі промисловості.

2. При внесенні змін до конструкції деталі, що знаходиться у виробництві, розрахунковий коефіцієнт технологічності K_t для деталі зміненої конструкції повинен перевищувати нормативні значення, аналогічні зазначеним у *табл.5.3*.

5.3.1. Коефіцієнт оброблюваності матеріалу.

Прийнято вважати, що матеріал має гарну оброблюваність, якщо при різанні цього матеріалу знос інструменту, сили різання і шорсткість обробленої поверхні малі.

Кількісна оцінка оброблюваності утруднена внаслідок неоднозначності поняття.

Існує понятійний апарат, пов'язаний зі стандартною стійкістю інструменту, що дорівнює, наприклад, 60 хвилин. Відповідна швидкість різання позначається V_{60} .

Найбільш широко поширена шкала, заснована на прийнятті як еталон матеріалу сталі 45, для якої введемо позначення $V_{60_{эм}}$. Тоді оброблюваність будь-якого матеріалу може бути чисельно виражена через так званий коефіцієнт відносної оброблюваності K_V :

$$K_V = \frac{V_{60}}{V_{60_{эм}}} \quad (5.2)$$

Оброблюваність основних груп сталей можна визначити за графіками, наведеними на рисунку 5.2, а також з таблиці 5.4.

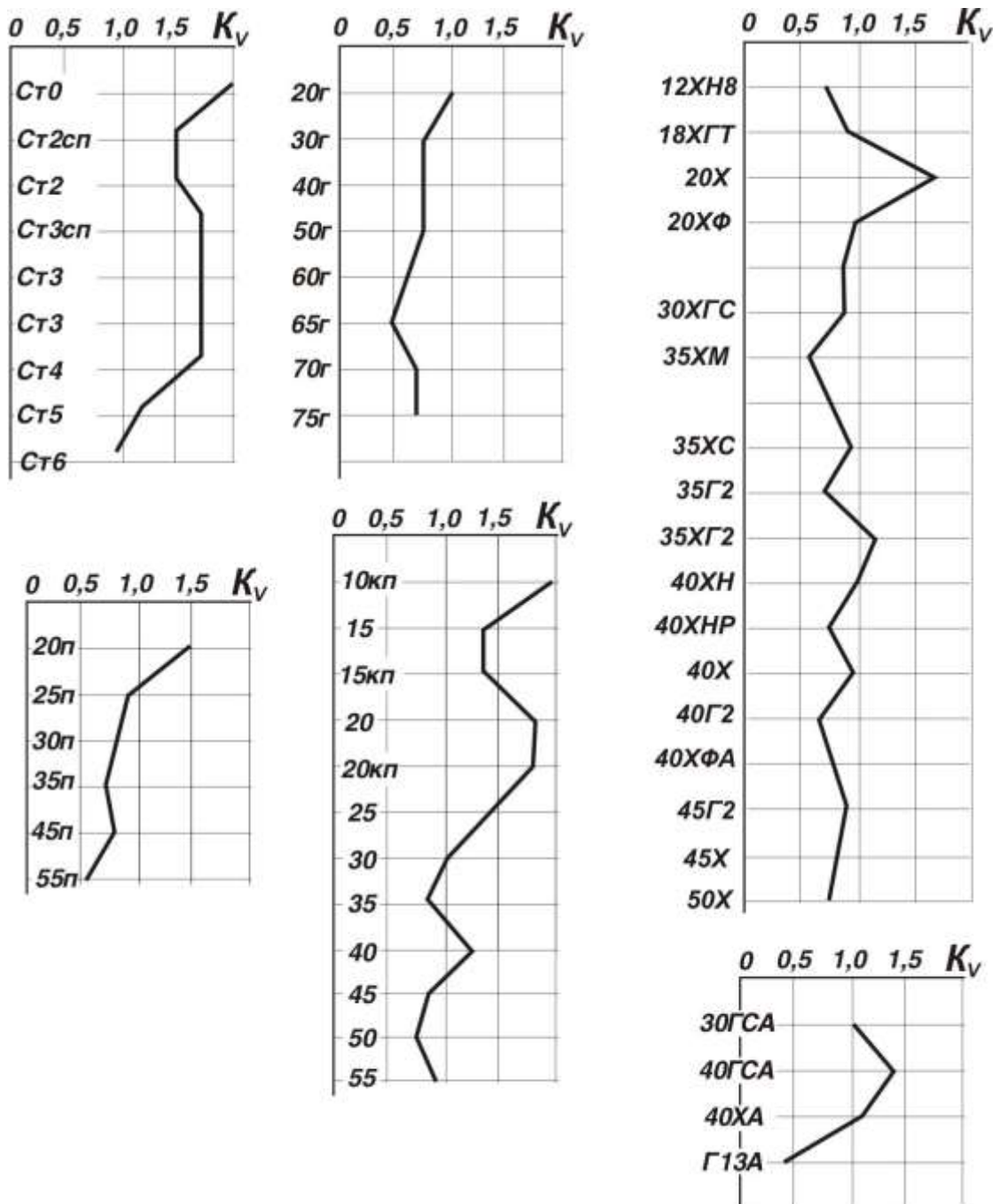


Рис. 5.2 Значення коефіцієнтів відносної оброблюваності для сталей різних марок.

Таблиця 5.4 - Класифікація важко оброблюваних сталей і сплавів з оброблюваності різанням.

Марки сталей та сплавів	Термічна обробка	Швидкість різання [м/хв] при обробці інструментом:		Коефіцієнт K_V
		із твердого сплаву	зі швидкорізальної сталі	
1	2	3	4	5
Теплостійкі хромисті, хромонікелеві та хромомолібденові сталі перлітного, мартенсито-перлітного та мартенситного класів.				
34ХН3М 34ХНМ3Ф	Відпал	250 – 300	50 - 70	1
20Х3МВФ	Загартування та відпустка	120 – 150	20 - 30	0.5
15ХМ5 15Х6СЮ	Відпал	200 – 250	45 - 60	0.9
Корозійно-стійкі хромисті та складнолеговані сталі феритного, мартенсито-феритного та мартенситного класів.				
12Х13	Загартування та відпустка	180 – 220	35 - 40	0.7
25Х13Н2	Відпал	200 – 250	45 - 60	0.9
11Х11Н2ВМФ 1Х12Н2ВМФ	Загартування та відпустка	170 – 200	30 - 40	0.65
20Х13 30Х13	Загартування та відпустка	80 - 100	15 - 20	0.3
40Х13	Відпал	120 – 150	25 - 30	0.5
09Х16Н46	Загартування та відпустка	130 – 160	28 - 38	0.55
МХ17Н2 20Х17Н2	Загартування та відпустка	120 – 150	25 - 35	0.5
95Х18	Загартування та відпустка		—	0.12
Корозійностійкі, кислотостійкі, жаростійкі хромонікелеві сталі аустенітно-феритного та мартенситного класів.				
12Х18Н10Т 10Х23Н18 20Х23Н18 12Х21Н5Т 09Х15Н9Ю	Аустенізація	120 – 150 140 – 180 110 – 130	25 - 35 30 - 40 20 - 30	0.5 0.6 0.45
07Х16Н6	Нормалізація та відпустка	120 – 150	25 - 35	0.5
Жароміцні, жаростійкі, кислотостійкі хромонікелеві, хромонікелемарганцеві складнолеговані сталі аустенітного та аустенітно-феритного класів.				
10Х11Н23Т3МР	Аустенізація та старіння	50 - 60	122 - 20	0.23
45Х14Н14В2М	Аустенізація та старіння	100 – 120	20 - 28	0.40
08Х15Н24В4ТР	Старіння			0.30

Продовження таблиці 5.4.

5. Жароміцні деформовані сплави на залізонікелевій та нікелевій основах.				
1	2	3	4	5
30НХТЮ ХН38ВТ ХН38ТЮР	Аустенізація та старіння	40 - 50	8 - 12	0.16
ХН35ВТЮ	Аустенізація	22 - 28	8 - 12	0.12
ХН56МТЮ	Аустенізація	20 - 25	6 - 10	0.1
ХН70ВМТЮ	Аустенізація та старіння	20-25	6 - 10	0.1
ХН62МКВЮ ХН60МТВЮ ХН82ТЮМВ	Аустенізація та старіння	18 - 20	5 - 10	0.08
6. Окаліностійкі та жароміцні ливарні сплави на нікелевій та хромовій основах				
ВЖ36-12 АНВ-300 ЖС6-К	Аустенізація та старіння	18 - 20	_____	0.05
ЖС3-ДК				
ХН67ВМТЮЛ				
ВХ4-Л	Відпал	20 - 25	6 - 10	0.1
7. Сплави на титановій основі				
ВТ1	Відпал	100 – 150	30 - 40	0.50
ВТ3		50 - 70	18 - 25	0.28
ВТ4, ВТ5		70 - 100	25 - 35	0.40
ВТ6		60 - 80	20 - 30	0.32
ВТ14, ВТ22 ВТ15		50 - 75	20 - 28	0.30
8. Високоміцні сталі				
А. Леговані сталі				
28Х3СНВЧ 30Х2ГСН2ВМ	Загартування та відпустка	40 - 65	5 - 10	0.22
33Х3СНМВФА 38Х3СНМВФА	Загартування та відпустка	40 - 50	4 - 5	0.18
42Ч2ГСНМ	Загартування	28 - 38	2 - 3	0.14
38Н5МСФА		25 - 35	1 - 2	0.13
43Х3СНМВФА		10 - 30	-----	0.12

Коефіцієнт оброблюваності матеріалу **Ком** визначається за діаграмою, наведеною на рис.5.3, де по осі абсцис відкладений коефіцієнт **Кv**. Для зручності користування діаграмою на осі абсцис наведені значення коефіцієнтів для найбільш характерних, широко поширених при виготовленні деталей машинобудування і приладобудування матеріалів.

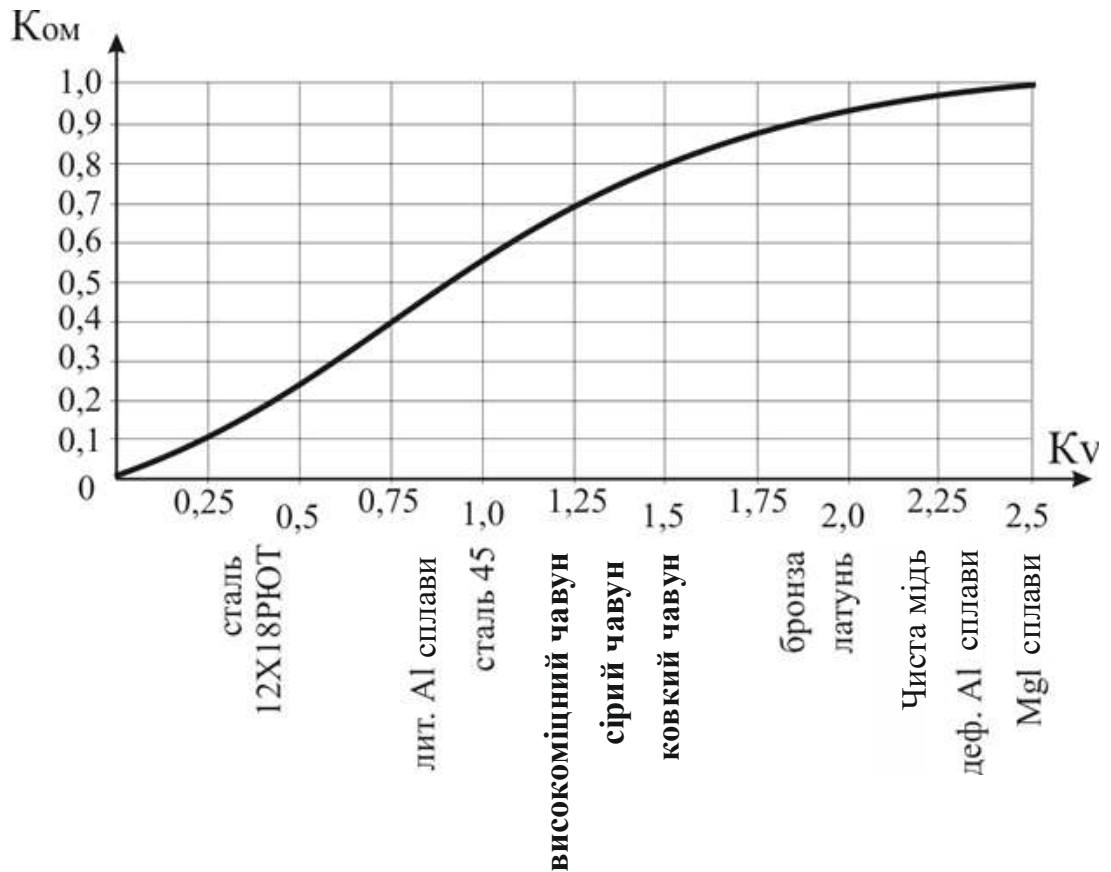


Рис.5.3. Залежність показника оброблюваності матеріалу K_{om} від коефіцієнта відносної оброблюваності K_v

5.3.2. Коефіцієнт складності конструкції деталі.

Збільшення собівартості, одержуваної методами обробки різанням деталі внаслідок подовження технологічного процесу її виготовлення, враховується показником складності конструкції деталі, визначеним у вигляді:

$$K_{сл} = 0.25 (K_k + K_p + K_v + K_c) \quad (5.3)$$

де: K_k, K_p, K_v, K_c - коефіцієнти, що визначаються, як:

$$K_i = 1 - A_i \quad (5.4)$$

причому A_i - поправки, чисельні значення яких наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 - Фактори, що визначають складність конструкції деталі.

Позначення коефіцієнтів	Чинники, що впливають на величини коефіцієнтів	Діапазони факторів	Величина ви- правлення A_i
K_k	Кількість поверхонь деталі, що обробляються різанням	≤ 20 > 20	0 0,2
K_p	Кількість підвищених вимог щодо точності форми та взаємного розташування поверхонь	0 ≤ 2 > 2	0 0,2 0,4
K_v	Кількість видів механічної обробки	≤ 2 > 2	0 0,1

Складається таблиця, що містить такі графи: номер поверхні, характерний розмір, точність, шорсткість, види механічної обробки при отриманні даної деталі, наявність і кількість вимог, що складно виконуються за точністю форми і взаємного розташування для даної поверхні. І примітка, в якій вказується, чи є дана поверхня уніфікованою чи ні.

Коефіцієнт **K_k** (коефіцієнт кількості поверхонь) залежить від кількості поверхонь на **вихідній** заготовці, з яких видаляється стружка при виготовленні деталі. Комбіновані поверхні, що утворюються за один робочий хід одним інструментом, або які можна розглядати як слід інструменту, можуть бути враховані в якості однієї поверхні .

Коефіцієнт **K_p** (коефіцієнт розташування поверхонь) враховує загальну кількість заданих на кресленні деталі вихідних даних щодо забезпечення необхідних точності форми та взаємного розташування поверхонь (відхилень від паралельності, відхилень від перпендикулярності, відхилень від площинності, тощо) в межах 0,05 мм.

Коефіцієнт **K_v** (коефіцієнт видів обробки) враховує кількість різних видів обробки різанням (технологічних операцій), що застосовуються при виготовленні деталі таких, наприклад, як: точіння, свердління, шліфування, стругання, фрезерування, тощо.

Коефіцієнт Kc враховує відповідність розміру, точності і шорсткості поверхонь деталей, що обробляються за 10-м квалітетом і точніше, деяким оптимальним величинам, під якими маються на увазі рекомендовані як економічно і конструктивно обґрунтованих.

Величина A , що входить у вираз (5.4), для цього коефіцієнта визначається за формулою:

$$A = 0.1 \sum_{j=1}^N m_j \quad (5.5)$$

де: N - загальна кількість поверхонь деталі, оброблюваних різанням не грубіше 10-го квалітету

m_j - кількість зон, на яке параметр Ra для j -ої поверхні відстоює оптимального поєднання на діаграмі, яку показано у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Оптимальні співвідношення параметрів поверхні.

IT	Поля допусків		Параметри шорсткості Ra для поверхонь із номінальними розмірами, мм.							
	Вал	Отв ip	До 18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	
6	h6	H6	$Ra=0,8$ мкм	$Ra = 1,6$ мкм						
7		H7 Js7 K7 N7 P7		Зона 5	Зона 4					
	f7 h7				$Ra = 3,2$ мкм					
8	e8 h8	F8 H8		Зона 3						
9	d9 h9	E9 H9								
10	d10 h10	H10	$Ra = 6,3$ мкм Зона 2					$Ra = 12,5$ мкм Зона 1		

Положення реальної поверхні в *табл.5.6.* визначається її розмірами та квалітетом. Величини m_j лежать у межах від 0 до 4. Якщо при розрахунку за формулою (5.6) виявляється, що $A > 1$, то у вираз (5.5) підставляється $A = 1$.

Якщо у деталі немає поверхонь, оброблюваних по 10-му кваліфікації і точніше, то приймаємо $K_c = 1$.

5.3.3. Коефіцієнт точності та шорсткості поверхонь деталі.

Таблиця 5.7 - Чисельні значення коефіцієнта точності та шорсткості поверхонь деталі.

№ зони в таб. 4	Шорсткість поверхні R_a , мкм.								
	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05
1	1,0	0,95	0,9	0,85	0,80	0,75	0,7	0,65	0,6
2	X	0,9	0,85	0,80	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55
3	X	X	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	X	X	X	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45
5	X	X	X	X	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4

Користування даними, наведеними в *табл.5.6* полягає в наступному:

1. Кожну з поверхонь, що піддаються обробці різанням не грубіше 10-го квалітету, перевіряють на відповідність *табл.5.6*. При цьому параметри поверхонь повинні виявлятися у виділеному сірому осередку.

2. Якщо параметри поверхонь потрапляють у зону, зі знаком "X", то таке поєднання параметрів помилкове. Відповідне зменшення технологічності враховується коефіцієнтом K_c .

3. Якщо параметри поверхні K_c потрапляють в одну з виділених клітин, то така поверхня має бути врахована як нестандартний (неуніфікований) елемент на відповідній стадії розрахунку (див. п.4).

4. Якщо отримане значення $K_{пов} < 0,5$, то розглянута деталь вважається прецизійною (див. *табл. 5.3*).

Як значення $K_{пов}$ приймається найменше з всіх отриманих поверхонь.

5.3.4. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів.

Показник уніфікації конструктивних елементів визначається за формулою:

$$K_{ye} = \frac{N_{ye}}{N_e} - 0,1 n \quad (5.6)$$

де: N_e - загальна кількість конструктивних елементів деталі, шт.;

N_{ye} – кількість уніфікованих конструктивних елементів деталі, шт.;

n – кількість нетехнологічних елементів деталі, шт.;

Для розрахунку цього показника необхідно конструкцію деталі подати у вигляді сукупності елементарних конструктивних елементів (площина, циліндр, отвір, тощо).

Комбіновані конструктивні елементи, які можуть бути сформовані одним різальним інструментом за один робочий хід, можуть бути прийняті за один елемент.

До уніфікованих елементів відносяться такі елементи, які виготовляються стандартним різальним інструментом та не вимагають застосування спеціального оснащення (оправок, планшайб, кондукторів та ін.). При такому кваліфікуванні поверхонь має бути обраний інструмент та технологічне оснащення, що застосовуються у передбачуваному технологічному процесі виготовлення деталі.

Розміри інструменту визначаються стандартами на конкретні види інструменту та розмірними рядами нормальних чисел, що регламентують розміри всіх видів інструментів (табл. 5.8).

Таблиця 5.8.- Деякі стандартні величини.

Ряди нормальних чисел	
Основний ряд:	1.0, 1.6, 2.5, 4.0, 6.3, 10.0, 16.0, 25.0, 40.0, 63.0, 100, 160, 250, 400, 630.
Додатковий ряд:	1.25, 2.00, 3.15, 5.00, 8.00, 12.5, 20.0, 31.5, 50.0, 80.0, 125, 200, 315, 500, 800
Стандартний ряд розмірів свердл. СТ СЕР 235 (1-1935)	
0.25, 0.28, 0.30, 0.38, 0.40, 0.42, 0.45, 0.48, 0.50, 0.52, 0.55, 0.58, 0.60, 0.62, 0.65, 0.68, 0.70, 0.72, 0.75, 0.78, 0.80, 0.85, 0.88, 0.90, 0.92, 0.98, 1.00	
далі з кроком	0.05 до 3.00 (1.05, 1.10, 1.15 тощо)
далі з кроком	0.10 до 14.00 (3.1, 3.2, 3.3 тощо)
далі з кроком	0.25 до 32.00 (14.25, 14.50, 14.75 тощо)
далі з кроком	0.50 до 51.00 (32.50, 33.00, 33.50 тощо)
далі з кроком	1.00 до 80.00 (52.00, 53.00, 54.00 тощо)
Стандартний ряд розмірів зовнішніх діаметрів фрез	
Основний ряд:	- до 3.0, 6.0, 12.0, 32.0
Додатковий ряд:	- до 2.2, 3.5, 5.5, 7.0, 11.0, 22.0, 36.0

На наступному етапі із загальної кількості конструктивних елементів повинні бути виділені нетехнологічні елементи, тобто такі елементи, виготовлення яких із загальних міркувань викликає додаткові технологічні проблеми. Нетехнологічні елементи можуть бути уніфікованими та неуніфікованими.

5.3.5. Коефіцієнт використання матеріалу.

Технолог вибирає той сортамент заготовки (див. табл.5.9), який максимально наближений до розміру деталі, що охоплює (товщина плоско-паралельної деталі або найбільший діаметр деталі у вигляді тіла обертання). Розміри заготовки повинні бути більшими за розміри деталі з урахуванням максимального припуску на обробку.

Якщо в якості заготовок при обробці різанням застосовують виливки, штамповані заготовки, заготовки, одержувані методом порошкової металургії, тощо, показник використання матеріалу підвищується.

Якщо розміри поверхонь малі, то габарити заготовки збільшують для закріплення заготовки в затискному пристосуванні, якщо при обраному технологічному процесі цю частину заготовки не можна обробити.

Показник використання матеріалу визначається співвідношенням:

$$K_{вм} = \frac{V_{\partial}}{V_{з}} \quad (5.7)$$

де: $V_{з}$ та V_{∂} - обсяг заготовки та обробленої деталі (без покриттів), що розраховуються за формулами стереометрії.

Для визначення обсягу заготовки з прокату використовується ряд стандартних розмірів прутків і смуг, для литих і штампованих заготовок комбінацією простих геометричних фігур згідно креслення заготовки.

Таблиця 5.9 - Рекомендовані розміри заготовок

Діаметри прутків, мм.
5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 11.0, 12.0, 13.0, 14.0, 15.0, 16.0, 17.0, 18.0, 19.0, 20.0, 21.0, 22.0, 24.0, 25.0, 27.0, 28.0, 30.0, 35.0, 36.0, 38.0, 40.0, 42.0, 44.0, 45.0, 48.0, 50.0, 52.0, 53.0, 54.0, 55.0, 56.0, 58.0, 60.0, 62.0, 63.0, 65.0, 68.0, 70.0, 72.0, 75.0, 78.0, 80.0, 82.0, 85.0, 90.0, 95.0, 100.0, 105.0, 110.0, 115.0, 120.0, 125.0, 130.0, 135.0 від 160 до 200 через 10 мм. от 210 до 250 через 10 мм.
Товщини листів та смуг, мм.:
4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0, 13.0, 14.0, 15.0, 16.0, 17.0, 18.0, 19.0, 20.0, 21.0, 22.0, 25.0, 28.0, 32.0, 36.0, 40.0, 45.0, 50.0, 56.0, 60.0

Приклад аналізу технологічності деталі наведено в Додатку 1.

Запитання для самоконтролю:

- 1. У чому поняття технологічності? Які існують види оцінки технологічності?*
- 2. Як проводиться якісна оцінка технологічності деталі взагалі?*
- 3. Як проводиться якісна оцінка технологічності валів?*
- 4. Як проводиться якісна оцінка технологічності зубчастих коліс?*
- 5. Що включає показник кількісної оцінки технологічності деталі?*
- 6. Що має на увазі технологічність оброблюваності матеріалу?*
- 7. Що має на увазі технологічність за складністю конструкції оброблюваної деталі?*
- 8. Що має на увазі технологічність деталі за показниками точності та шорсткості?*
- 9. Що має на увазі технологічність деталі щодо уніфікації конструктивних елементів деталі?*
- 10. Що має на увазі технологічність деталі з використання матеріалу?*
- 11. Від чого залежить нормативний показник технологічності?*

6. Точність у машинобудуванні та методи її досягнення

Будь-які поверхні деталей машин, отримані в результаті формоутворення різними методами, завжди відрізняються формою, розмірами, станом поверхневого шару від теоретичного геометричного профілю поверхні. Тому при виготовленні машин дуже важливо встановити наскільки великою є ця відмінність, наскільки точно реальний профіль відповідає теоретичному.

Точністю виробу в машинобудуванні називають ступінь відповідності заздалегідь встановленим зразкам. Під точністю деталі розуміється ступінь відповідності реальної деталі, отриманої механічною обробкою заготовки, стосовно деталі, заданої кресленням і технічними умовами виготовлення, тобто відповідність форми, розмірів, взаємного розташування оброблених поверхонь, шорсткості поверхні обробленої деталі вимогам креслення. Точність виготовлення виробу значною мірою визначає його надійність. Наприклад, зубчасті колеса, виготовлені з невисокою точністю, не можуть працювати при високих швидкостях обертання, оскільки в цьому випадку у зубчастій передачі виникають додаткові ударні навантаження, що викликають великий шум і катастрофічний знос зубів кола.

Особливе значення має точність при автоматизації виробництва. В умовах автоматизації технологічне обладнання не може працювати з високою продуктивністю, якщо не забезпечується стабільна, заздалегідь встановлена точність матеріалів, заготовок, технологічного обладнання та технологічного оснащення (присосувачів та інструментів).

Отже, **точність є поняття комплексне**, що включає всебічну оцінку відповідності реальної деталі по відношенню до заданої кресленням.

Точність - поняття складне і включає три її різновиди: **конструкторську, технологічну та експлуатаційну**.

Конструкторську точність розглядають у період проектних робіт та визначають похибки, закладені у робочому принципі виробу, з урахуванням

впливу на функціонування та вартість виробів. Основний принцип - конструкція не повинна мати похибки. Похибки можуть бути зменшені шляхом покращення даного принципу роботи або усунені вибором іншого принципу з допустимою похибкою. На підвищення точності у проектній розробці впливають шляхом підвищення спеціальних знань, вивчення літератури, консультацій з експертом та доцільною колективною роботою, особистою критичною оцінкою.

Технологічну точність розглядають у процесі виробництва. Застосовують три види впливу на технологічну точність: усунення, компенсацію і розрахунок.

Найдієвішими заходами впливу на технологічну точність є заходи, які зводяться до усунення причин утворення похибок. Це супроводжується великими витратами на виробництві.

Засобами компенсації впливу на точність є такі вимоги підвищення точності, як введення конструкції з найкоротшим розмірним ланцюгом, введення компенсаторів при складанні машини.

Підвищення точності заготовок знижує трудомісткість обробки, зменшення припуску на механічну обробку, призводить до економії металу.

Експлуатаційна точність більшості виробів машинобудування та приладобудування є найважливішою характеристикою їхньої якості. Одним із проявів недостатньої точності є виникнення вібрації, що порушує нормальну роботу машин та призводить до їх руйнування.

Вимоги до точності машин зростають. Підвищення точності виготовлення деталей та збирання вузлів призводить до збільшення довговічності та надійності експлуатації машин, її ергономічності.

6.1. Параметри точності деталі.

Досягнення абсолютної відповідності реальних параметрів деталі кресленню практично неможливе, тому що на всіх етапах технологічного процесу виготовлення виробів неминучі ті чи інші відхилення від ідеальних умов здійснення технологічного процесу. Ці відхилення викликають появу похибок розмірів деталей, спотворень форми поверхонь деталей, похибок взаємного розташування поверхонь деталей і самих деталей у зібраному виробі, відхилення параметрів якості поверхонь деталей і їх з'єднань від заданих параметрів.

Точність деталі, фактично отримана в результаті обробки, залежить від багатьох технологічних та організаційних факторів та визначається:

- відхиленнями від геометричної форми деталі чи її окремих елементів;
- відхилення дійсних розмірів деталі від номінальних;
- відхиленнями поверхонь та осей деталі від точного взаємного розташування (відхиленнями від паралельності, перпендикулярності, концентричності та ін.) ;
- сумарними відхиленнями допусків геометричної форми та взаємного розташування (радіальне та торцеве биття, форми заздалегідь заданого профілю, тощо) ;
- точністю забезпечення заданої шорсткості поверхонь деталі.

Основними факторами, які впливають на точність розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь при обробці різанням є:

- 1) жорсткість системи ВПЗІ;
- 2) нерівномірність припуску на обробку;
- 3) нерівномірність механічних властивостей оброблюваного матеріалу в різних ділянках заготовки;
- 4) наявність зазорів у ланках технологічної системи, нерівноваженості обертових частин, дефектів приводів, тощо;
- 5) властивості оброблюваного матеріалу (твердість, пластичність, мікроструктура, хімічний склад та ін.);

б) умови обробки (засіб закріплення заготовки, вид та засіб подачі ЗТОС).

На шорсткість поверхні при обробці різанням переважно впливають:

1) копіювання форми та розмірів ріжучої кромки інструменту у матеріалі заготовки;

2) захоплення та відрив шарів матеріалу, що знаходяться під ріжучою кромкою, при обробці сталевих заготовок, заготовок з м'яких сплавів кольорових металів (що утворюють зливну стружку);

3) тендітне виламування частинок матеріалу при обробці чавуну та твердих кольорових сплавів (що утворюють кускову стружку);

4) утворення наросту на ріжучій кромці інструменту;

5) тертя задньої поверхні ріжучого інструменту об оброблювану поверхню.

На рисунку 6.1. представлені варіанти показників різних допустимих відхилень поверхонь деталі на кресленні після механічної обробки.

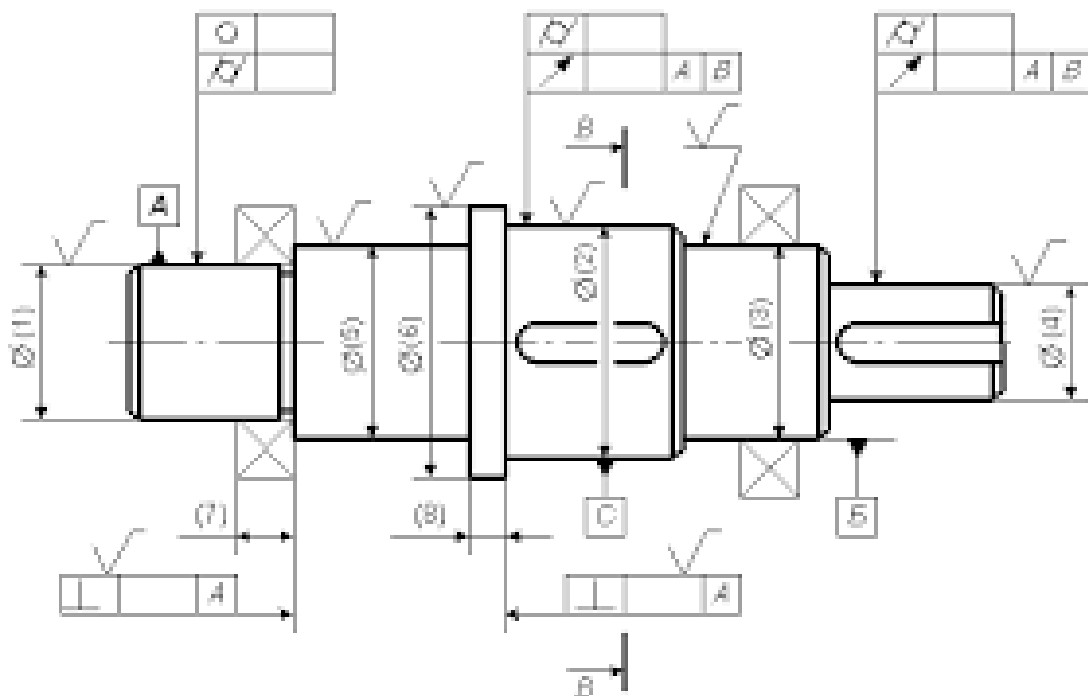


Рис. 6.1. Відображення параметрів точності деталі (допустимих відхилень) на кресленні.

Розглянуті вище відхилення для необроблюваних поверхонь залежать від способу та технологічних умов отримання заготовок. Наприклад, поверхні виливків до певної міри копіюють поверхні ливарних форм, поверхні штампованих заготовок копіюють поверхні порожнин штампів, а також наявність і величина мікронерівностей виливків багато в чому визначаються умовами остигання, тощо.

Таким чином, при вирішенні проблеми точності технолог повинен забезпечити: необхідну конструктором точність виготовлення деталей та збирання машини при одночасному досягненні високої продуктивності та економічності виготовлення. Точність, яку необхідно забезпечити в процесі обробки або складання, визначається на кресленні деталі або на складальному кресленні.

6.1.1. Точність геометричних властивостей.

Відхилення геометричних параметрів (лінійний розмір, кут, діаметральний розмір) для окремих поверхонь задаються у вигляді квалітету ($\phi 40H7$, $\phi 20k6$, 30JS8) або у вигляді величини одного або двох граничних відхилень від номінального розміру, який зазначено для даної поверхні на кресленні деталі ($\phi 30_{-0,11}^{+0,31}$, $50^{+0,2}$, $60^\circ \pm 3'$).

Для допусків форми та розташування використовуються спеціальні умовні позначення, деякі з найчастіше застосовуваних наведені в таблиці 6.1.

Для того щоб ті допуски, які вказуються на кресленнях для розташування поверхонь і відхилення форми не змішувалися з іншими видами допусків, використовується наступний спосіб: при нанесенні на креслення вони поміщаються в прямокутні рамки, які з'єднуються з осями симетрії, або з розмірними лініями елементів, або з контурною лінією поверхні виносною лінією зі стрілкою. Ці рамки поділяються на дві чи три частини. У першу з них вносять символ відхилення, тоді як у другу – його величину. Третя частина використовується для того, щоб, при необхідності, вносити в неї позначення поверхні, до якої відноситься зображене відхилення.

Таблиця 6.1. - Позначення видів допусків форми та розташування поверхонь

Група допуску	Вид допуску	Знак
Допуск форми	Допуск прямолінійності	—
	Допуск площинності	□
	Допуск круглості	○
	Допуск циліндричності	∅
	Допуск профілю поздовжнього перерізу	=
Допуск розташування	Допуск паралельності	//
	Допуск перпендикулярності	⊥
	Допуск нахилу	∠
	Допуск співвісності	◎
	Допуск симетричності	≡
	Позиційний допуск	⊕
	Допуск перетину осей	×
Сумарний допуск форми та розташування	Допуск радіального биття, торцевого биття, биття у заданому напрямку	↑
	Допуск повного радіального биття, повного торцевого биття.	↗
	Допуск форми заданого профілю	⤿
	Допуск форми заданої поверхні	Ⓓ

Приклади позначення допусків форми та розташування поверхонь наведено на рисунках 6.2-6.7

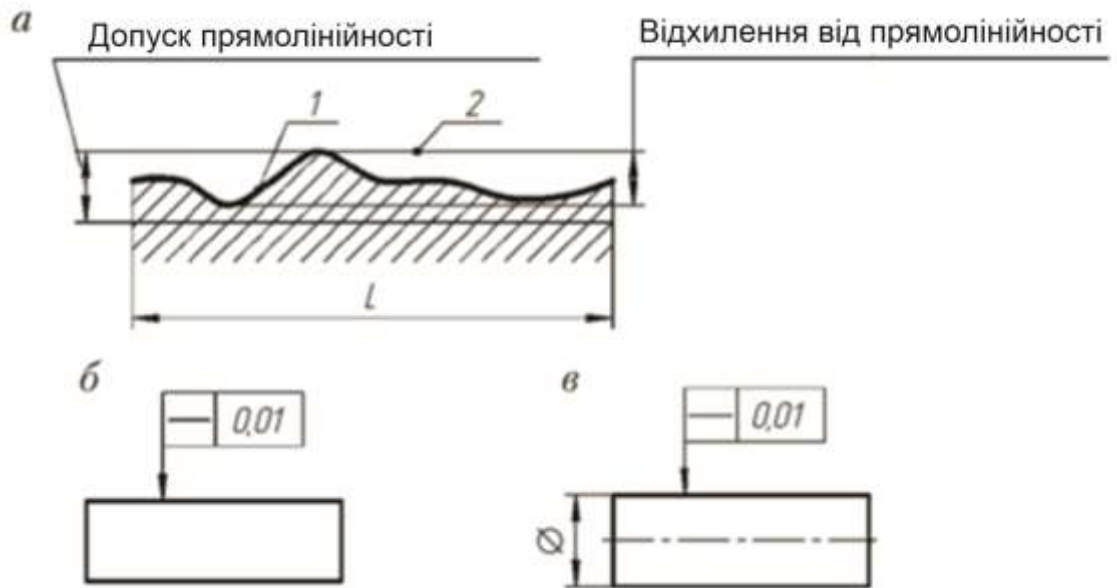


Рис. 6.2 Відхилення від прямолінійності профілю: а – схема визначення; б - плоскої поверхні; в - циліндричної поверхні; 1 – реальний профіль; 2 – прилеглий профіль.

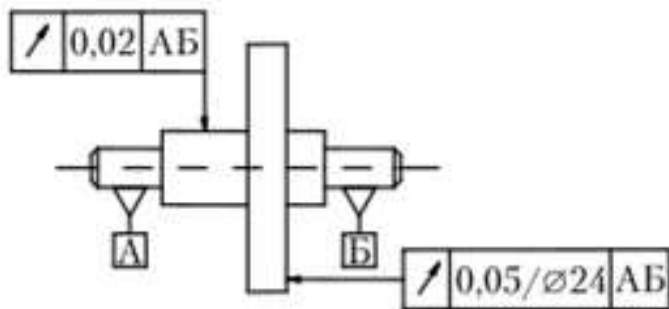


Рис.6.3. Схема позначення на кресленні радіального і торцевого (на конкретному діаметрі 24мм) биття відносно поверхонь А і Б.

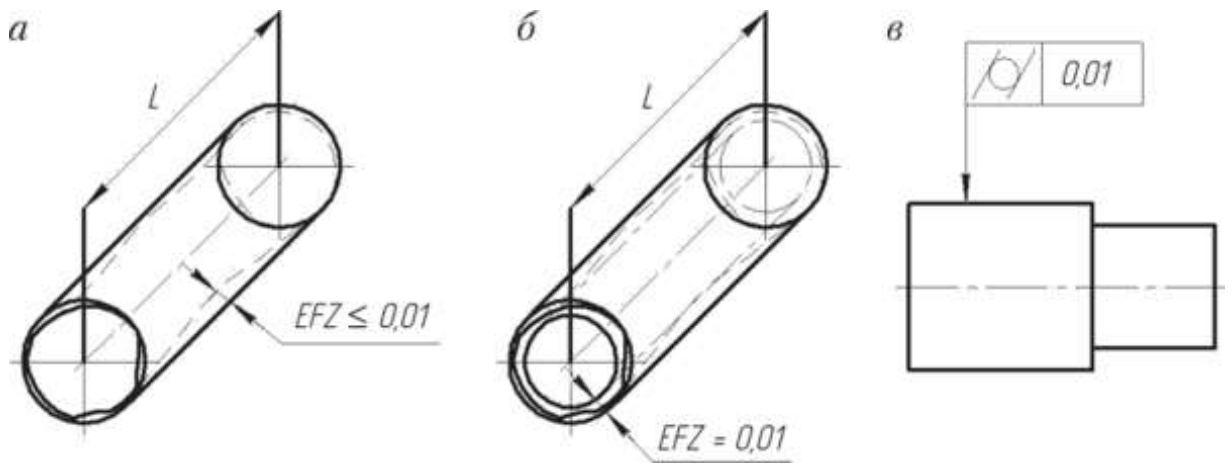


Рис.6.4. Схема визначення відхилення від циліндричності: а – відхилення від циліндричності; б – поля допуску; в – приклад позначення на кресленні.

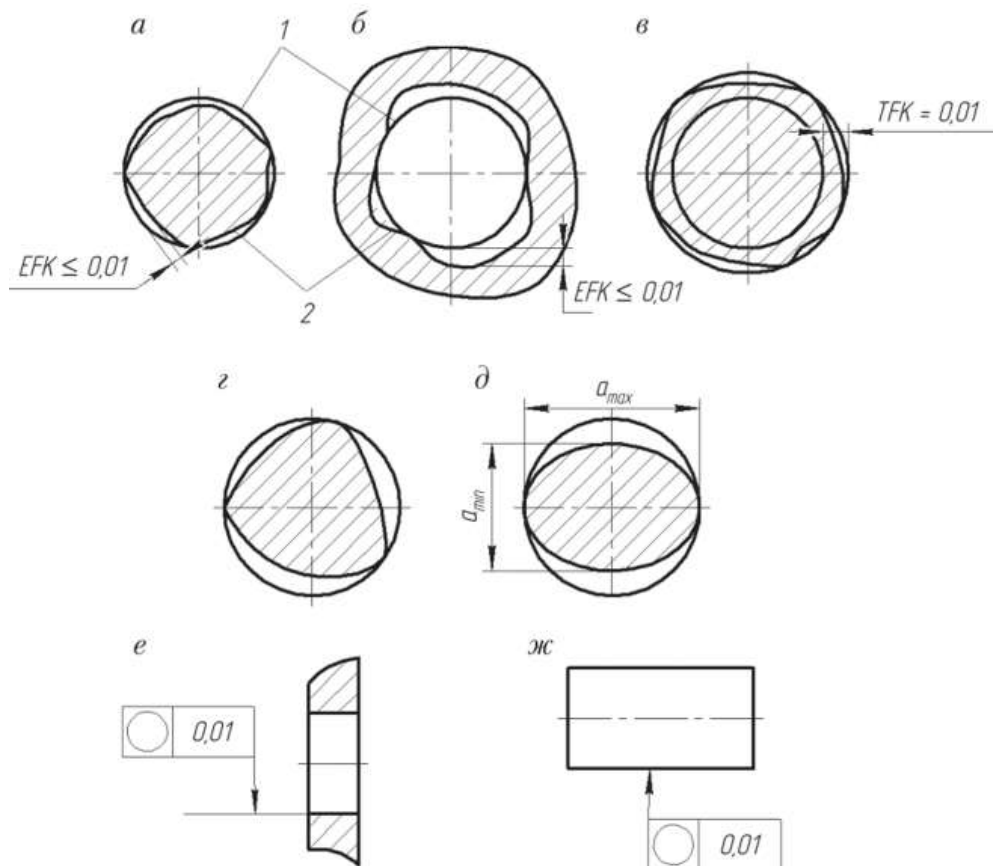


Рис. 6.5. Схема визначення відхилення від круглості циліндричної поверхні: а – зовнішньої; б – внутрішньої; в – поля допуску; е, ж - приклади позначення на кресленнях; 1- прилегле коло; 2 – реальний профіль.

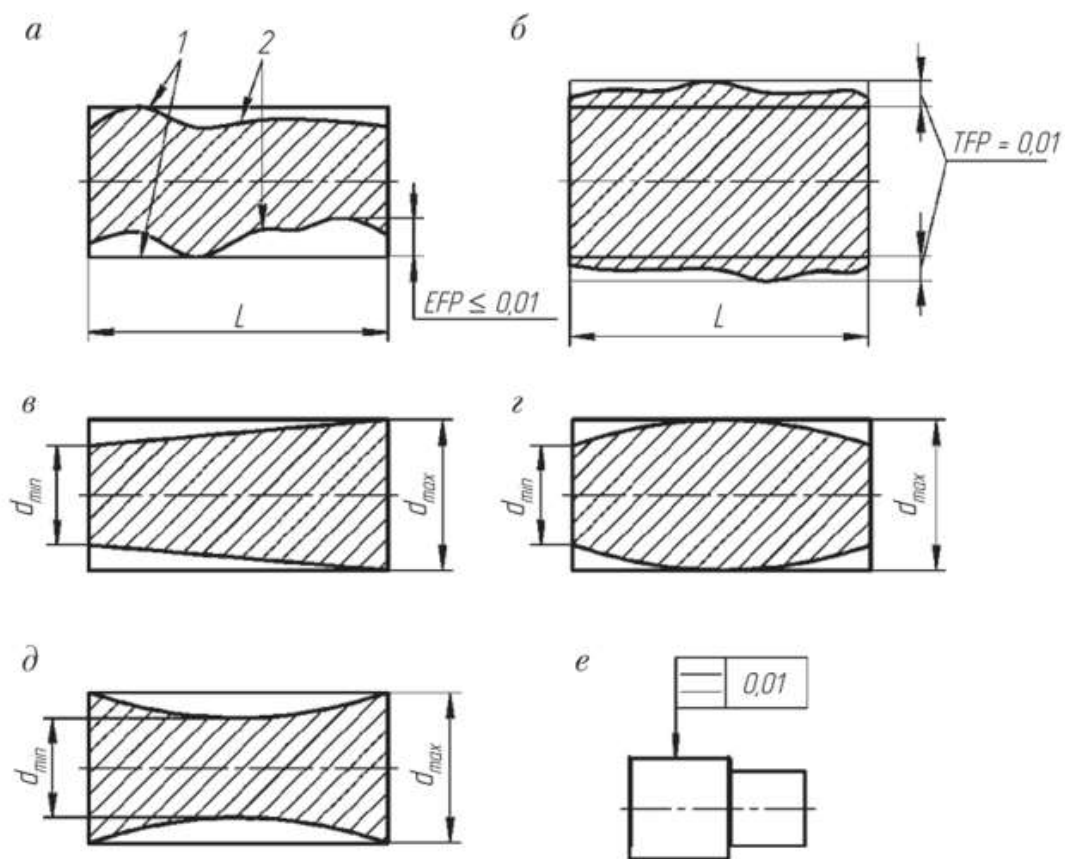


Рис. 6.6. Схема визначення: а – відхилень профілю поздовжнього перерізу; б – поля допуску; в,г,д - окремих випадків; е – приклад позначення на кресленнях; 1- прилеглий циліндр; 2 – реальний циліндр.

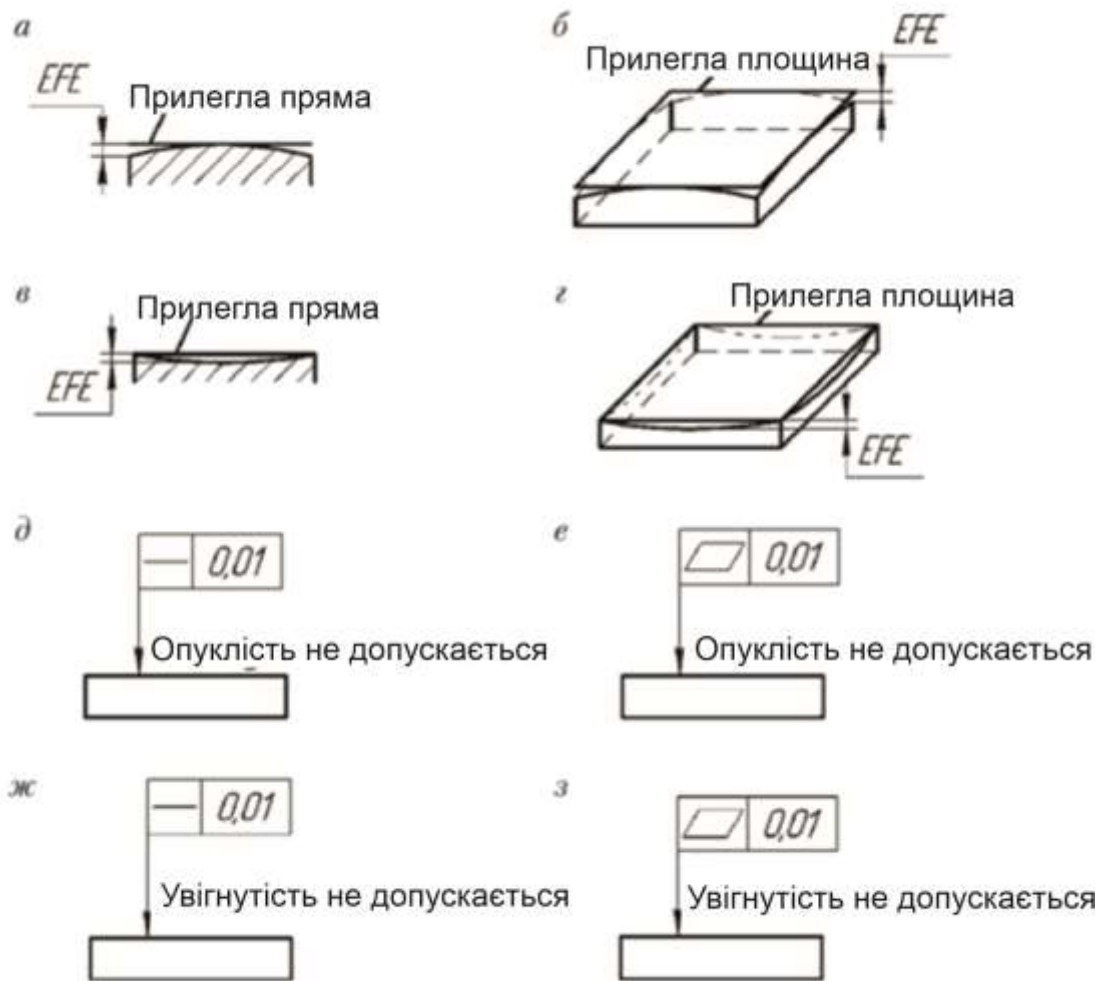


Рис. 6.7. Схема визначення: опуклості профілю лінії (а) та поверхні (б);
 увігнутості профілю лінії (в) та поверхні (г);
 д,е,ж,з - приклади позначення на кресленнях.

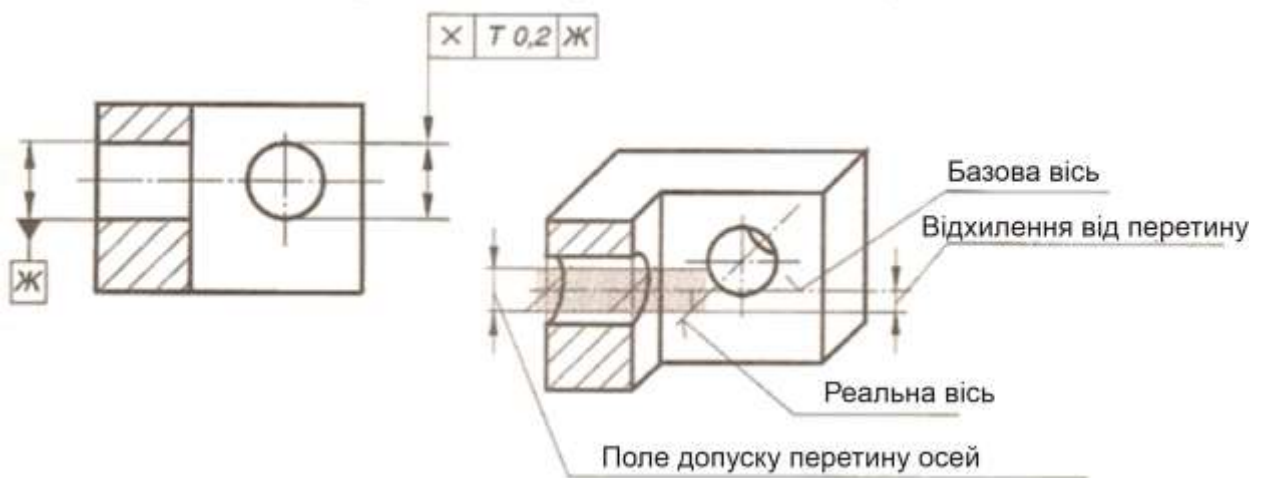


Рис. 6.8. Схема визначення допуску взаємного розташування при поєднанні
 поверхонь циліндр-циліндр і позначення допуску на кресленні.

6.1.2. Точність забезпечення заданої шорсткості поверхні.

Шорсткість поверхні являє собою сукупність нерівностей з відносно малими кроками, що утворюють рельєф поверхні і в межах заданої базової довжини. Для кількісної оцінки шорсткості поверхні застосовуються 6 критеріїв: середнє арифметичне відхилення профілю Ra (найбільш поширене); висота нерівностей профілю по 10 точках Rz ; найбільша висота нерівностей профілю R_{max} ; середній крок нерівностей Sm ; середній крок нерівностей по вершинах S ; відносна опорна довжина профілю t_p .

У конструкторській документації в основному визначається допустиме середнє арифметичне відхилення профілю Ra .

Існує певна відповідність між вимогами точності розмірів та вимогами шорсткості поверхонь деталей залежно від квалітету допуску розміру (JT) та рівня відносної геометричної точності, які наведені в таблиці 6.2. Рівні геометричної точності відповідають етапам обробки поверхні (які будуть розглянуті нижче): чорновому, чистовому, обробному. Надалі дотримання розглянутої вище відповідності використовується під час аналізу технологічності деталі та виробу загалом.

Таблиця 6.2. – Рекомендовані параметри шорсткості поверхні.

Рівень геометричної точності	Шорсткість Ra , мкм
Нормальний (A)	$Ra \leq 0,5 JT$
Підвищений (B)	$Ra \leq 0,25 JT$
Високий (C)	$Ra \leq 0,12 JT$

6.2. Методи досягнення точності.

Необхідна точність деталі або виробу визначається конструктором і про- ставляється на кресленнях у вигляді розглянутих вище значень розмірів, фо- рми і взаємного розташування поверхонь деталі або складальних одиниць. Зайва точність підвищує технологічну собівартість виробу з допомогою зни- ження продуктивності та збільшення відсотка браку. Недостатня точність збі- льшує трудомісткість процесу складання за рахунок припасування, веде до по- гіршення технічних характеристик та до зниження експлуатаційних властиво- стей виробу. Тому основне завдання технолога забезпечити задану точність із мінімальними витратами.

Задану точність можна досягти одним із 2-х принципово відмінних мето- дів, які застосовуються для різних типів виробництва та мають свої переваги та недоліки:

- метод пробних проходів та промірів;
- метод автоматичного одержання розмірів на налаштованих верстатах.

6.2.1. Метод пробних проходів та промірів.

Сутність методу полягає в тому, що до поверхні заготовки, що обробля- ється, з короткої ділянки заготовки знімають пробну стружку. Після цього ве- рстат зупиняють, виміром визначають величину його відхилення від крес- лення і вносять по лімбу поправку положення інструменту. Потім знову ви- робляють пробний прохід ділянки заготовки, новий вимір і за необхідності вно- сять нову поправку. Таким чином, досягають остаточної необхідної точності розміру. Після цього обробляють заготовку по всій довжині. Під час обробки наступної заготовки всю процедуру повторюють.

При методі пробних проходів і промірів часто застосовують розмітку, коли спеціальним інструментом (кern, штангенрейсмус) наносять тонкі лінії, що показують контур деталі і вже по цім лініям виконують налаштування об- ладнання (в основному універсального, без ЧПУ).

Переваги методу пробних проходів та промірів:

- при неточному обладнанні одержують високу точність обробки, а також можуть бути усунені похибки заготовки, що виникають під час її обробки на неточному верстаті;

- при неточній заготовці можна правильно розподілити припуск та попередити брак;

- звільняє робітника від необхідності виготовлення точних та дорогих пристроїв (типу кондукторів).

Недоліки методу пробних проходів та промірів:

- залежність точності, що досягається, від мінімальної товщини стружки, що знімається (при токарній обробці доведеними різцями $t \geq 0,005$ мм, при точінні заточеними різцями $t \geq 0,02$ мм). У цьому випадку, не можна ввести поправку менше товщини стружки, що знімається,

- поява браку з вини робітника, від уваги якого залежить точність обробки, що досягається;

- низька продуктивність обробки через великі витрати часу на пробні проходи, проміри та розмітку;

- висока собівартість обробки деталі (внаслідок низької продуктивності та високої кваліфікації робітника, що потребує підвищеної оплати праці).

Метод пробних проходів та промірів використовується, як правило, при одиничному та дрібносерійному виробництві виробів, у дослідному виробництві, ремонтних та інструментальних цехах. Особливо часто він застосовується у важкому машинобудуванні.

У серійному виробництві цей метод застосовується для отримання придатних деталей з неповноцінних вихідних заготовок (порятунок браку з лиття та штампування), а у багатосерійному виробництві переважно при шліфуванні відповідальних деталей.

6.2.2. Метод автоматичного отримання розмірів на налаштованих верстатах.

При обробці заготовок методом автоматичного отримання розмірів верстат попередньо налаштовують так, щоб необхідна точність на заданий розмір досягалася автоматично і незалежно від кваліфікації та уваги робітника, тобто робочим механізмам верстата, пристосування та інструменту надається таке взаємне положення, що забезпечує автоматичне отримання необхідного розміру оброблюваної деталі.

Розмір $a = c - b$, (рис. 6.9) де c – відстань від торця затискного пристосування до упору; b – відстань від поверхні упору до вершини леза різця k та b – розміри $k = \text{const}$, $b = \text{const}$.

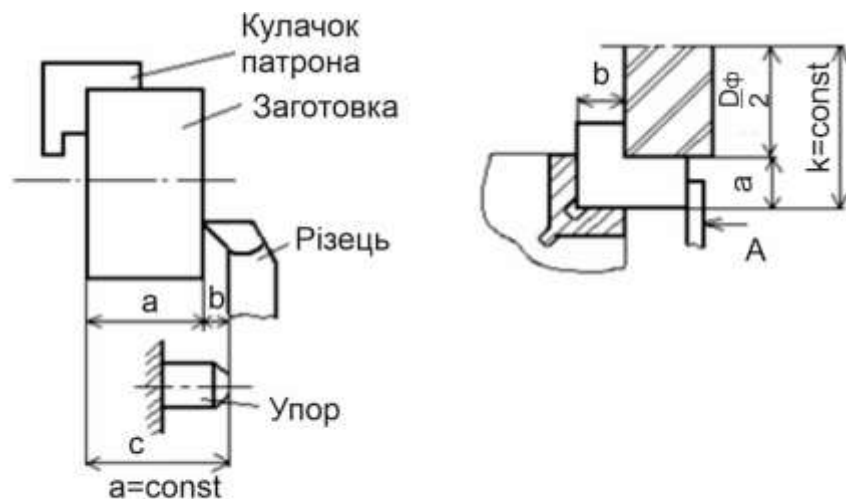


Рис. 6.9. Схема налаштування верстата на обробку методом автоматичного отримання розмірів.

При використанні методу отримання розмірів на налаштованих верстатах завдання забезпечення необхідної точності обробки переноситься з робочого оператора на налаштувача – робітника більш високої кваліфікації, який виконує попереднє налаштування верстата, на інструментальника, що виготовляє спеціальні пристрої, та на технолога, що призначає технологічні бази та розміри, а також конструкцію пристосування.

До переваг методу автоматичного отримання розмірів належать:

- підвищення точності обробки та зниження браку, тому що, точність не залежить від мінімально можливої товщини стружки, що знімається (тому що припуск на обробку встановлюється свідомо більше цієї величини), і від кваліфікації та уважності робітника;

- зростання продуктивності обробки за рахунок усунення втрат часу на попередню розмітку та здійснення пробних проходів та промірів;

- раціональне використання робітників високої кваліфікації, роботу на налаштованих верстатах можуть робити учні та малокваліфіковані робітники – оператори верстатів;

- підвищення економічності виробництва з допомогою вище перелічених переваг.

Даний метод застосовується у серійних та масових виробництвах.

Кожен із перерахованих методів досягнення заданої точності неминуче супроводжується похибками обробки, які викликаються різними причинами систематичного або випадкового характеру.

6.3. Забезпечення точності механічної обробки.

Завдання управління точністю обробки та зниження її похибок вирішується за кількома напрямками:

- розрахунки точності та здійснення початкового налаштування верстатів, що забезпечують мінімальні систематичні похибки, пов'язані з налаштуванням, а також забезпечення найбільшого періоду роботи верстатів без налаштування;

- розрахунки режимів різання з урахуванням фактичної жорсткості технологічної системи, за яких забезпечується необхідне уточнення заготовок у процесі їх обробки;

- точне управління (ручне та автоматичне) процесом обробки та своєчасне необхідне підналаштування верстатів.

6.3.1. Методи налаштування верстатів та розрахунки розмірів для налаштування.

Для здійснення технологічної операції необхідно провести попереднє налагодження (налаштування) верстата. Налагодженням (налаштуванням) називається процес підготовки технологічного обладнання та технологічного оснащення до виконання певної технологічної операції.

В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва, коли необхідна точність виробу досягається методом пробних ходів та промірів, завданнями налаштування є:

1) встановлення пристосування та різальних інструментів у положення, що забезпечують найвигідніші умови різання (необхідно забезпечити теоретично правильні статичні та динамічні кути різання), хороші умови стружкоутворення, високу продуктивність обробки, стійкість різального інструменту та необхідну якість оброблюваної поверхні;

2) встановлення режимів роботи верстата.

При багатосерійному та масовому типах виробництва, коли необхідна точність досягається методом автоматичного отримання розмірів на налаштованих верстатах, до зазначених двох завдань налаштування додається третє - забезпечення точності взаємного розташування різальних інструментів, пристосувань, кулачків, упорів, копирів та інших пристроїв, що визначають величину та траєкторію переміщення інструментів щодо виробу, що обробляється.

Третє завдання, вирішення якого також значною мірою визначає точність обробки, є найбільш складним і відповідальним, що вимагає проведення спеціальних розрахунків.

В даний час застосовуються такі методи налаштування верстатів, як статична настройка; налаштування пробних заготовок за допомогою робочого калібру та налаштування за допомогою пробних заготовок і універсального вимірювального інструменту.

6.3.2. Статичне налаштування.

Метод статичного налаштування полягає в установці різальних інструментів за різними калібрами та еталонами на нерухомому верстаті.

Для скорочення часу налаштування установка інструменту проводиться по деталі-еталону або спеціальному калібру, які розташовуються на верстаті на місці заготовки, що обробляється. Інструмент підводиться до зіткнення з поверхнею калібру та закріплюється. Одночасно встановлюються відповідні упори. При налаштуванні верстата для обробки площинних заготовок з точними розмірами в якості настановного калібру часто використовується набір мірних плиток. У ряді випадків для встановлення інструментів застосовуються спеціальні настановні пристрої з індикаторними пристроями.

При статичному налаштуванні верстата у зв'язку з деформаціями в пружній технологічній системі, що залежать від дії сил різання, температурного режиму системи та інших факторів, розмір обробленого виробу виявляється більше (для поверхонь, що охоплюються) або менше (для поверхонь, що охоплюють) необхідного.

Для компенсації зміни фактичних розмірів заготовок, що обробляються, установчі калібри або еталонні деталі при статичному налаштуванні виготовляються з відступом від креслення заготовки на величину деякої поправки $\Delta_{\text{попр}}$. У цьому випадку розрахунковий настроювальний розмір $L_{\text{розрах}}$ настановного калібру визначається за формулою:

$$L_{\text{розрах}} = L_{\text{заг}} \pm \Delta_{\text{попр}}, \quad (6.1)$$

де, $L_{\text{заг}}$ - розмір заготовки, який повинен бути фактично отриманий після обробки, коли налаштування верстата ведеться посередині поля допуску заготовки, $L_{\text{заг}} = (L_{\text{max}} + L_{\text{min}})/2$, L_{max} та L_{min} - відповідно найменший і найбільший

граничні розміри заготовок за кресленням); Δ_{nonp} - поправка, що враховує деформацію в пружній технологічній системі і шорсткість поверхні еталонної деталі, за якою проводиться налаштування,

$$\Delta_{nonp} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3, \quad (6.2)$$

де $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ - складові поправки, що враховують відповідно дії сил різання, шорсткості оброблюваних заготовок та величини зазору в підшипниках шпинделя.

Величина виправлення майже завжди позитивна, за винятком тих рідкісних випадків, коли при додатковому навантаженні лезо інструменту не віджимається, а врізається в метал. У формулі (6.1) знак мінус приймається для обробки валу, а знак плюс - для обробки отвору.

При статичному налаштуванні токарних верстатів нормальної точності для обробки заготовок з шорсткістю $Rz = 10,0\text{мкм}$ поправка Δ_{nonp} в середньому становить 0,106 мм, а при налаштуванні верстатів підвищеної точності та обробці заготовок з $Rz = 6,3\text{мкм}$ і $\Delta_{nonp} = 0,042\text{мм}$. Як показав досвід, похибка визначення самої поправки сягає 50% її значення. Внаслідок цього, а також у зв'язку з додатковими похибками статичного налаштування (похибка установки деталі-еталона похибка установки різця по еталону та ін.) вона зазвичай не створює умов для отримання точності заготовок вище 8-9-го квалітетів. Це призводить до необхідності доповнювати статичне налаштування динамічним налаштуванням, проводячи додаткове регулювання положення інструментів та упорів при обробці перших заготовок партії.

Разом з тим значне скорочення тривалості налаштування верстатів при встановленні інструментів за зразками, особливо при багаторізцевій обробці, зумовлює широке поширення цього методу при багатосерійному та масовому типах виробництва. До великих переваг цього методу слід віднести також можливість налаштування інструментальних блоків по еталонах поза верстатом на спеціальних оптичних пристроях, що істотно підвищує точність налашту-

вання та скорочує простої верстатів при налаштуванні. Цей спосіб налаштування часто застосовується при багатоінструментній обробці і є основним методом налаштування центрів обробки та інших верстатів з ЧПУ.

6.3.3. Налаштування пробних заготовок за допомогою робочого калібру.

В даний час на більшості машинобудівних підприємств набув поширення метод налаштування того ж робочого калібру, яким користується надалі робітник при обробці виробу. Після налаштування робітник повинен виготовити одну або (рідше) кілька заготовок. Якщо розміри перебувають у межах допусків, передбачених робочим калібром, то налаштування вважається правильним і дозволяється обробка всієї партії заготовок.

Такий метод налаштування не можна вважати задовільним, оскільки навіть у найбільш сприятливому випадку, коли допуск на обробку значно перевищує поле розсіювання, немає гарантії того, що значна частина заготовок партії не виявиться поза встановленим допуском, тобто не буде браком. Крива розсіювання, до якої належить розмір пробної заготовки, може займати всередині поля допуску різні положення, і при виготовленні однієї пробної заготовки не можна визначити, якої ділянки поля розсіювання вона відповідає. Так, наприклад, точки А і В (рис. 6.10) можуть належати кривим 1 і 2, розташування яких виключає небезпеку браку, але можуть також ставитися і до кривих 1а та 2а, які значною мірою виходять за межі допуску і пов'язані з появою великої кількості браку (заштриховані ділянки). У разі збільшення числа пробних заготовок ймовірність появи значного браку знижується, проте небезпека появи браку не усувається.

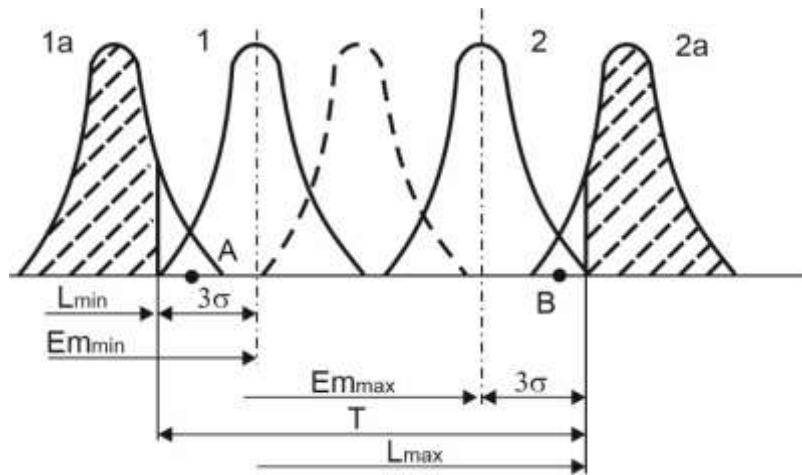


Рис. 6.10. Можливі положення кривих розподілу розмірів щодо поля допуску при $6\delta \leq T$.

Для унеможливлення небезпеки появи браку у разі, коли поле допуску перевищує поле розсіювання, тобто $\omega < T$, необхідно за допомогою налаштування забезпечити розташування кривої фактичного розподілу розмірів усередині поля допуску з таким розрахунком, щоб її центр групування (математичне очікування E_m) відстояв від граничних розмірів не менше ніж на 3δ (рис. 6.10). Методом налаштування верстатів за робочими калібрами при невеликій кількості пробних заготовок це завдання вирішити не можна. Більш раціональним є метод налаштування верстатів за допомогою універсальних вимірювальних інструментів за звуженими допусками.

6.3.4. Налаштування пробних заготовок за допомогою вимірювального інструменту.

Сутність цього методу налаштування верстатів полягає в тому, що установка різальних інструментів і упорів верстата проводиться на певний робочий розмір L_n , а правильність налаштування встановлюється обробкою деякої кількості пробних заготовок. Налаштування визнається правильним, якщо середнє арифметичне розмірів пробних заготовок знаходиться в межах деякого допуску T_n на налаштування. Завданням розрахунку налаштування у цьому разі є визначення поля допуску настройки T_n . Теоретичними передумовами цього налаштування є такі положення теорії ймовірностей.

Якщо є деяка сукупність (партія) заготовок, розподіл розмірів яких підпорядковується закону нормального розподілу Гауса із середнім квадратичним δ , і якщо цю сукупність заготовок розбити на групи по m штук і визначити середнє арифметичне значення розмірів усередині кожної з цих груп, то розподіл розмірів групових середніх $L_{гр}$ теж підпорядкуватиметься закону Гауса із середнім квадратичним:

$$\delta_1 = \frac{\delta}{\sqrt{m}} \quad (6.3)$$

При цьому центр групування групових середніх збігається із центром групування розмірів усієї партії заготовок (рис. 6.11).

Нехтуючи зносом інструменту, можна вважати, що середнє арифметичне розмірів m пробних заготовок може відрізнятись від середнього арифметичного всієї сукупності (партії) заготовок не більше ніж на $\frac{3\delta}{\sqrt{m}}$.

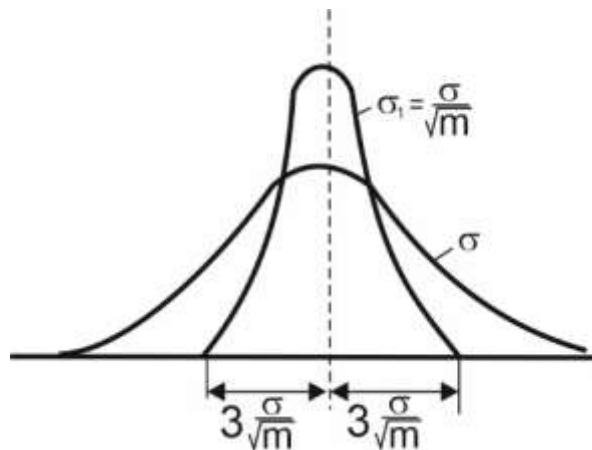


Рис. 6.11. Розподіл розмірів партії заготовок із середнім квадратичним σ та розподіл групових середніх із середнім квадратичним $\delta_1 = \frac{\delta}{\sqrt{m}}$.

6.3.5. Розрахунки режимів різання, що забезпечують досягнення необхідної точності та високої продуктивності обробки.

Важливим елементом налаштування металорізальних верстатів є встановлення раціональних режимів різання. У звичайних умовах обробки режими різання призначають з завдання досягнення високої продуктивності при малих витратах на ріжучий інструмент, тобто за збереження його високої стійкості.

У випадках точної обробки заготовок, крім вимог високої продуктивності та економічності обробки, висувається завдання забезпечення необхідної точності.

Раніше було показано, що фактична точність розмірів та геометричної форми оброблених заготовок залежить від відтискань в пружній технологічній системі ВПЗІ, що викликаються коливаннями нормальної складової *сили* різання. При цьому на абсолютну величину похибки обробки, обумовлену коливаннями сумарних відтискань *y* технологічної системи, значною мірою впливає абсолютна величина збільшення складової сили *P_y* різання, що визначається в свою чергу рівнем застосовуваних режимів різання. Наприклад, при обробці сталі твердістю 170НВ і за однакового ступеня затуплення різця внаслідок зносу абсолютна величина збільшення нормальної складової сили ΔP_y різання при $t=0,2$ мм і $S=0,06$ мм/об майже в 30 разів менше, ніж при $t=2,0$ мм та $S=0,3$ мм/об. При чистовому режимі відповідно менше і похибка обробки, що викликається затупленням ріжучого інструменту. Аналогічно цьому при підвищенні твердості заготовки на 30НВ та точінні з подачею $S=0,06$ мм/об збільшення нормальної складової сили різання ΔP_y в 4,5 рази менше, ніж при точінні з подачею $S=0,2$ мм/об.

Таким чином, з точки зору досягнення найвищої та стабільної точності виготовлення деталей, чистову обробку потрібно вести при мінімальних режимах різання.

Однак, з другого боку, для забезпечення зростання продуктивності обробки та зниження її собівартості потрібне всемірне підвищення режимів різання.

В даний час існують різноманітні номограми та розрахункові формули, що дозволяють визначити режим різання, що забезпечує досягнення необхідної точності обробки та шорсткості оброблюваної поверхні при найвищій продуктивності та економічності обробки.

6.3.6. Управління точністю процесу обробки за вихідними даними (підналаштування верстатів).

Для забезпечення необхідної точності обробки партії заготовок недостатньо правильно розрахувати та здійснити налаштування верстата. Під впливом змінних систематичних похибок, пов'язаних із зносом і затупленням ріжучого інструменту та нагріванням елементів системи, в процесі обробки відбувається зміщення поля розсіювання розмірів заготовок усередині поля допуску з положення **а** в положення **б** (рис. 6.12) і через деякий проміжок часу t_1 обробки виникає небезпека виходу частини заготовок за межі поля допуску. Для запобігання появі браку через певний проміжок часу t_1 необхідно провести підналаштування (підналагодження) верстата.

Підналаштуванням (підналагодженням) верстата називається процес відновлення початкової точності взаємного розташування інструменту та оброблюваної заготовки, порушеного в процесі обробки партії заготовок.

При обробці валів для компенсації впливу зносу різця (внаслідок його затуплення та збільшення пружних відтискань у технологічній системі) роблять переміщення різця на величину, що дорівнює половині зміщення вершини кривої розсіювання ($A/2$), викликаного впливом змінних систематичних похибок.

В результаті такого підналаштування поле розсіювання розмірів заготовок повертається із положення **б** у положення **а** та небезпека появи браку усувається (рис. 6.12).

Для запобігання появі браку важливо своєчасно встановити момент необхідного підналаштування та тривалість обробки заготовок між підналаштуваннями. У разі багатосерійного виробництва цей момент виявляється у вигляді систематичних вимірів оброблених заготовок. Особливо успішно момент підналаштування визначається під час використання статистичного контролю точності обробки.

При здійсненні підналаштування верстата через проміжок часу t_2 сумарне розсіювання розмірів партії заготовок $\omega = 6\delta + A$, де 6δ - поле розсіювання розмірів заготовок під впливом випадкових похибок; $A = \Delta \text{nc} = t_2 / \text{tga}$ - зсув вершини кривої за час t_2 під впливом змінних систематичних похибок.

При скороченні t_2 до t_1 зміщення A вершини кривої розсіювання зменшується до A_1 , а сумарне розсіювання розмірів партії заготовок, оброблених між підналаштуваннями, знижується до $\omega = 6\delta + A_1$. При підвищенні частоти налаштувань сумарне розсіювання розмірів партії оброблених заготовок зменшується, прагнучі величини 6δ .

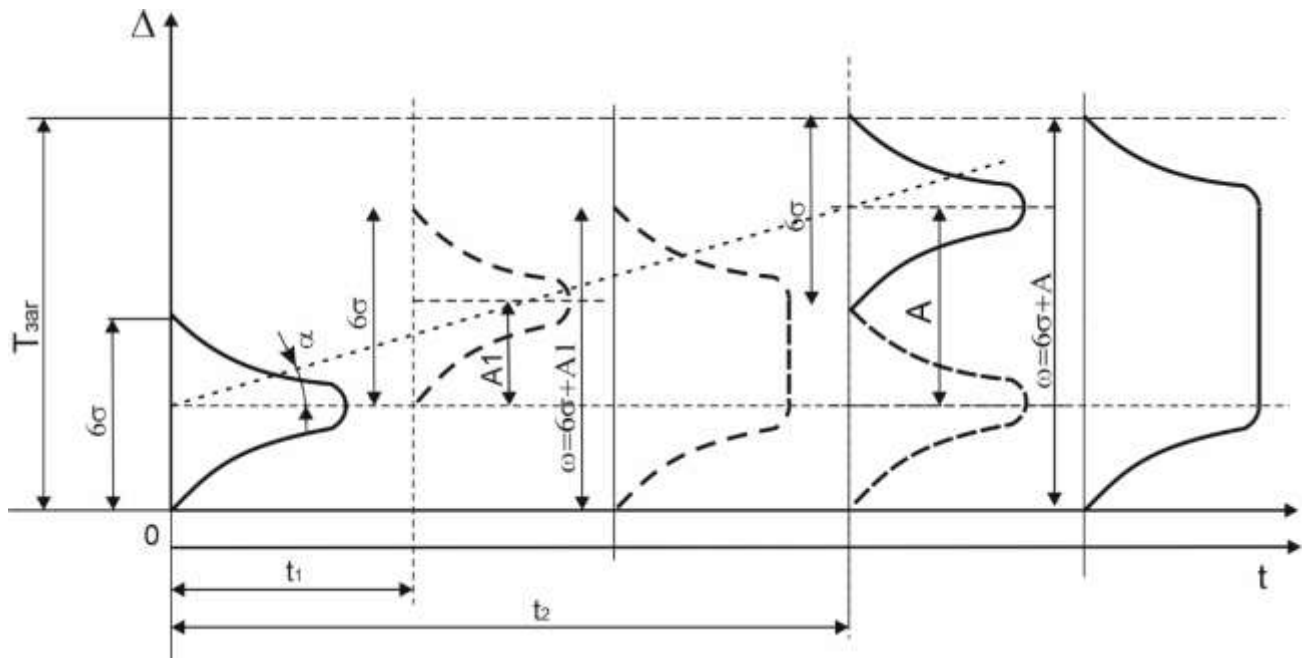


Рис. 6.12. Вплив змінних систематичних похибок на форму та положення кривої розсіювання.

Отже, шляхом скорочення періодів роботи верстата між підналаштуваннями можна зменшити коливання розмірів заготовок цієї партії, тобто у певних межах підвищити точність їхньої обробки.

Однак підналаштування верстата, що здійснюється у звичайних умовах серійного виробництва робітником-настроювачем вручну, вимагає зупинки верстата та припинення обробки заготовок на весь період підналаштування,

тривалість якого може бути досить значною. Очевидно, що при скороченні періодів роботи верстата між підналаштуваннями збільшуються простої верстатів та знижується загальний випуск продукції.

З точки зору підвищення продуктивності обладнання слід прагнути до зменшення простоїв при налаштуванні та підналаштуванні, а отже, до збільшення тривалості роботи верстата між підналаштуваннями. При заданій точності обробки заготовок цього можна досягти за рахунок підвищення розмірної стійкості ріжучого інструменту, що призведе до зменшення кута α , який характеризує швидкість зносу та затуплення ріжучого інструменту, і пов'язаної з нею швидкістю зсуву кривої розсіювання щодо поля допуску. Однак розмірна стійкість різального інструменту лімітується властивостями інструментальних матеріалів і від налаштування верстата практично не залежить.

Усунення суперечності між вимогами підвищення точності (скорочення тривалості роботи верстата між підналаштуваннями) і продуктивності (зменшення простоїв верстатів та збільшення тривалості їх роботи між підналаштуваннями) досягається шляхом автоматизації контрольних вимірювань оброблюваних заготовок і самого процесу підналаштування. Для виконання цих цілей застосовуються різні пристрої так званого активного контролю, що отримали назву автопідналагоджувачів.

При застосуванні автопідналагоджувачів момент необхідного підналаштування в більшості випадків визначається в період роботи верстата без його зупинки шляхом відліку машинного часу або фактичного шляху різання, або встановлюється за допомогою регулярних вимірювань дійсних розмірів заготовок, що обробляються контактними або безконтактними вимірювальними пристроями. У першому випадку через певні, заздалегідь встановлені проміжки часу, автоналагоджувач дає виконавчим органам верстата сигнал для переміщення інструменту на певну величину, що компенсує вплив змінних систематичних похибок. Ця величина залежить від середньої інтенсивності зношування та затуплення інструменту.

Конструкція автопідналагоджувачів цього типу досить проста і надійна, проте їх можна використовувати лише за умови високого ступеня однорідності розмірів, властивостей матеріалів вихідних заготовок та якості ріжучого інструменту (стійкості). В іншому випадку точність обробки заготовок виходить низькою.

Великий ефект дає зазначений метод при налагодженні шліфувальних верстатів, коли коливання інтенсивності зношування та затуплення інструменту, які пов'язані з мінливістю твердості заготовок і нестабільністю стійкості інструментів, можуть бути компенсовані за рахунок відповідної розмірної правки абразивного кола. У цьому випадку при кожному підналаштуванні після переміщення абразивного кола на заготовку проводиться його правка алмазним олівцем, жорстко встановленим на точній відстані від осі обертання оброблюваного виробу, відповідному радіусу обробки. За цим принципом будуються, зокрема, автоналагодження верстатів для внутрішнього шліфування кілець кулькових підшипників.

У другому випадку, коли момент підналаштування визначається на основі вимірювань дійсних розмірів заготовок, що обробляються, точність обробки підвищується і метод автопідналагодження стає більш універсальним. Однак конструкція автопідналагоджувачів, забезпечених додатковим пристроєм для точних вимірювань поверхонь, що обробляються у процесі роботи верстата, значно ускладнюється.

Забезпечення автопідналагоджувачів дуже точним і надійним пристроєм для своєчасної подачі сигналу і здійснення малого переміщення інструменту для налаштування верстата значно підвищує їх вартість. Внаслідок цього застосування автопідналагоджувачів зазначеного типу рентабельне лише в умовах багатосерійного та масового типів виробництва.

Загальною складністю створення пристроїв автоматичного контролю є необхідність здійснення малих переміщень інструменту під час налаштування. Для забезпечення стабільної точності розмірів заготовок у межах сотих часток

міліметра при автопідналагодженні доводиться переміщати інструмент на величину, що вимірюється тисячними частинами міліметра. Інерційність мас відповідних вузлів верстатів, значні сили тертя в їх рухомих сполученнях і недостатня точність існуючих передач дуже ускладнюють завдання створення точних і надійних систем автоматичного регулювання розмірів, що обробляються за вихідними даними (тобто за даними вимірів оброблених заготовок). Це одна з серйозних причин, що обмежують застосування цих систем за умов звичайного серійного виробництва.

6.3.7. Управління точністю процесу обробки за вхідними даними.

Найбільший вплив на поле розсіювання розмірів заготовок надає зміна таких вхідних даних, як розміри припуску і твердість матеріалу заготовки, що зумовлюють відповідне зростання діапазону зміни зусиль різання і пружних відтискань, що викликаються ними, отже, і поля розсіювання розмірів оброблених заготовок.

Найпростіше зменшити поле розсіювання шляхом безпосереднього вимірювання розмірів та твердості заготовок з подальшим сортуванням їх на групи (селективний відбір) та внесенням необхідних поправок у розмір статичного налаштування верстата, що враховують відмінність пружних відтискань технологічної системи при обробці заготовок різних груп.

Великими недоліками цього методу, що обмежують його застосування, є його трудомісткість та організаційна складність.

Значні зручності мають адаптивні методи керування точністю обробки. Методи адаптивного управління точністю обробки засновані на принципі компенсації пружних відтискань у технологічній системі, викликаних коливаннями припуску та твердості заготовки, пружними переміщеннями елементів системи у протилежному напрямку.

Відомо, що відтискання в пружній технологічній системі визначаються ставленням нормальної складової сили різання до жорсткості системи:

$$y = \frac{P_y}{j},$$

Похибка обробки залежить від коливання відтискання внаслідок зміни сили різання чи жорсткості системи. Для досягнення високої точності обробки необхідно забезпечити сталість величини y , що можливо при сталості сили P_y або відношення $\frac{P_y}{j}$.

При обробці сталі та чавуну

$$P = \sqrt{(C_z t^{0.9} S^{0.75} HB^{0.6})^2 + (C_y t^{0.9} S^{0.75} HB^2)^2 + (C_x t^{1.2} S^{0.6} HB^{1.5})^2}, \quad (6.4)$$

Тобто, сила P різання залежить від твердості заготовки та коливань припуску на обробку (глибини різання t). При незмінних умовах різання (геометрія ріжучого інструменту, швидкість різання, мастильно-охолоджувальна рідина) значення коефіцієнтів Z_z , Z_y , Z_x зберігаються постійними, тому єдиним способом компенсації зусилля різання є зміна подачі згідно з формулою (6.4).

Важливою перевагою використання подачі як параметру управління силою різання є можливість створення дуже тонкого і чутливого механізму управління пружними переміщеннями технологічної системи, що не має стрибків. Дійсно, оскільки виправлення вноситься за рахунок самих пружних переміщень технологічної системи, ніяких відносних переміщень вузлів верстата не потрібно. При цьому розмір статичного налаштування зберігається незмінним протягом всього часу обробки заготовок між двома підналаштуваннями, необхідними для компенсації розмірного зносу ріжучого інструменту.

Управління подачею може здійснюватися робітником вручну або за допомогою системи автоматичного регулювання. Подача може змінюватись дискретно або безперервно та автоматично. При ручній зміні подачі робочий спостерігає за відхиленнями стрілки приладу та вносить необхідні зміни у величину подачі до тих пір, доки стрілка приладу не повернеться у вихідне положення. У разі автоматичного регулювання подачі ці функції виконує САР (система автоматичного регулювання). У цих випадках при обробці заготовки з

надмірно великою величиною припуску та твердістю робітник або САР відповідно зменшують величину подачі, а при обробці наступної заготовки з меншою величиною припуску на обробку - збільшують її.

Метод скорочення поля розсіювання розмірів шляхом регулювання подачі при обробці заготовок на токарних, шліфувальних, фрезерних верстатах, автоматах та напівавтоматах дозволяє зменшити значення $\omega_{\text{заг}}$ у 3-9 разів. Наприклад, у процесі обробки на вертикально-фрезерному верстаті 6П10 чавунних заготовок з твердістю 131-177НВ при коливанні припуску на обробку від 2 до 5 мм, швидкості різання 75 м/хв та подачі 250 мм/хв регулювання подачі за допомогою САР призвело до скорочення поля розсіювання з 58мкм (під час роботи з постійною подачею) до 16мкм.

При обробці валиків діаметром $D=38\div 45$ мм і довжиною 300мм із сталі 45 на токарному верстаті 1К62 з припуском на діаметр $8\div 10$ мм розсіювання розмірів заготовок при звичайній обробці склало 52мкм, а при використанні САР - 6мкм, тобто зменшилося майже у 9 разів.

Регулювання подачі у процесі обробки заготовок дозволяє як зменшити поле розсіювання розмірів оброблених заготовок, так й підвищити точність їх геометричної форми.

Разом про те слід зазначити, що, попри великі переваги систем адаптивного управління, є низка чинників, які обмежують їх використання. До них відносяться:

- зростання вартості верстатів, які оснащені цими системами;
- ускладнення та подорожчання їх налагодження, обслуговування та ремонту.

У випадках багатоінструментальної обробки системи адаптивного керування значною мірою втрачають свої переваги. Найбільш перспективне застосування подібних систем у верстатах з ЧПУ, керованих мікропроцесорами та міні-ЕОМ.

Запитання для самоконтролю:

1. *Які види точності розглядаються у машинобудуванні?*
2. *Що розуміється під точністю у машинобудуванні?*
3. *Які методи досягнення точності існують у машинобудуванні?*
4. *У чому полягає суть методу пробних проходів? Достоїнства і недоліки.*
5. *У чому полягає суть методу автоматичного отримання розмірів?*
6. *Як здійснюється статична настройка верстата?*
7. *Як здійснюється налаштування верстата за пробними заготовками?*
8. *Що таке підналаштування верстатів?*
9. *Які існують методи керування точністю у процесі обробки?*
10. *Які існують методи та етапи налаштування верстата?*

7. Похибки обробки

7.1. Систематичні похибки обробки.

Систематична похибка – така похибка, яка для всіх заготовок оброблюваної партії залишається постійної чи закономірно змінюється під час переходу від кожної оброблюваної заготовки до наступної.

У першому випадку похибка – **постійна систематична**, тоді як у другому випадку – **змінна систематична** (функціональна похибка).

Причинами виникнення систематичних похибок обробки заготовок є неточність налаштування, зношування та деформація верстатів, пристроїв та інструментів, деформація оброблюваних заготовок; теплові явища, що відбуваються в технологічній системі та ЗОТС, а також похибки відносно теоретичної схеми базування при обробці заготовки.

7.1.1. Похибки, що виникають внаслідок неточності, зносу та деформації верстатів.

Похибки виготовлення та збирання верстатів обмежується нормами стандартів, що визначають допуски та методи перевірки геометричної точності верстатів, тобто точності у ненавантаженому стані.

Кожен металорізальний верстат складається з ряду конструктивних вузлів, які є окремими ланками технологічної системи. Похибки взаємного розташування нерухомо закріплених або рухливих вузлів верстата, які викликані неточністю його складання, є причиною похибок, що виникають при обробці на ньому. Геометричні похибки верстата впливають на форму і розташування оброблюваних поверхонь заготовки, але безпосередньо не впливають на їх розміри.

Таким чином, похибки геометричної точності верстатів повністю або частково переносяться на заготовки, що обробляються, у вигляді систематичних

похибок. Величина цих похибок піддається попередньому аналізу та розрахунку.

Наприклад, неперпендикулярність вісі шпинделя вертикально-фрезерного верстата щодо площини його столу в поперечному напрямку викликає непаралельність оброблюваної площини щодо настановної (чисельне дорівнює лінійному відхиленню від перпендикулярності на ширині заготовки).

У поздовжньому напрямку виникає увігнутість оброблювальної поверхні.

При обробці в центрах їх неправильне положення може викликати похибки форми і взаємного розташування шийок, що обточуються.

Трапляються такі випадки:

Передній центр розташований зі зміщенням на величину a щодо осі обертання шпинделя, вісь заднього центру збігається з віссю обертання, вісь обточеної поверхні не збігається з лінією центрів заготовки (рис.7.2,а). Якщо заготовку обточують із двох сторін (за два установа), то деталь виходить двовісна (рис.7.2,б) з кутом β .

$$\sin \beta = \frac{a}{L}$$

де, a - зміщення центру передньої бабки;

L – відстань між центрами;

Можливе також зміщення на величину a , але при паралельному розташуванні шийок заготовки, що обточуються (рис.7.2,в).

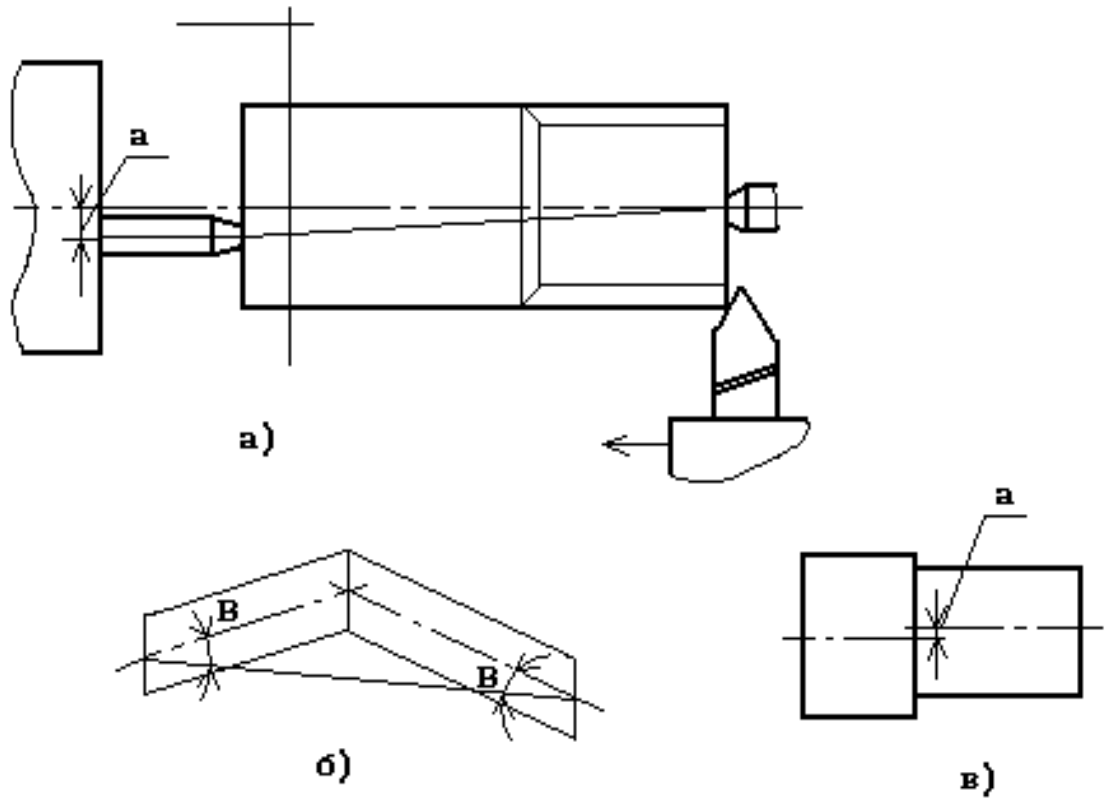


Рис. 7.2. Деякі причини, що призводять до систематичних похибок при обробці на токарних верстатах.

Знос верстатів обумовлює збільшення систематичних похибок обробки заготовок (тому що знос робочих поверхонь відбувається безперервно, це призводить до зміни взаємного розташування окремих вузлів верстата, викликає появу додаткових похибок обробки).

Деформація верстатів при їх неправильному монтажі, а також під дією маси при осіданні фундаментів (викривлення станин та столів, вигнутість напрямних) викликає додаткові систематичні похибки.

7.1.2 Похибки, пов'язані з неточністю та зносом ріжучого інструменту.

Неточність різального інструменту (особливо мірного типу: зенкерів, протяжок, кінцевих фрез, розгорток та фасонного інструменту) у багатьох випадках безпосередньо переноситься на оброблювані заготовки, обумовлюючи систематичні похибки форми та розмірів оброблюваних поверхонь. Ріжучий

інструмент виготовляється на спеціальних інструментальних заводах або інструментальних цехах досить точно, тому мало відбивається на точності виготовлення деталей. Значно більший вплив на точність обробки деталі надають похибки різального інструменту, які пов'язані з його зносом.

Зношування різального інструменту при роботі на налаштованих верстаках призводить до виникнення змінної систематичної похибки обробки. При чистовій обробці заготовок зношування різців відбувається по їх задній поверхні, що викликає видалення вершини різця від центру обертання заготовки на величину радіального зносу та відповідне збільшення радіуса обточування (або зменшення його при розточуванні). Величину розмірного зносу інструменту визначають за нормами до поверхні, що обробляється або (що менш точно) множенням ширини фаски h на тангенс заднього кута α .

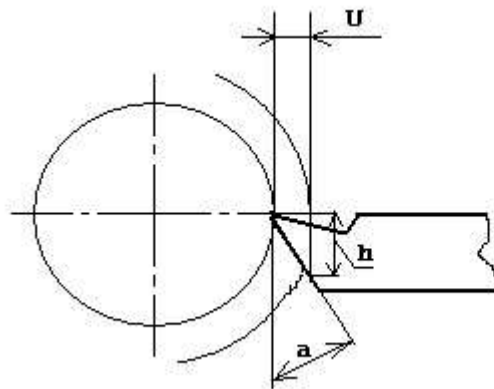


Рис. 7.3. Похибка, яка спричинена зносом.

Відповідно до загальних закономірностей зносу при терті ковзання в початковий період роботи інструменту, званий періодом початкового зносу (ділянка 1 на рисунку 7.4), знос найбільш інтенсивний. У період початкового зносу відбувається приробіток різального леза інструменту, що супроводжується крихкістю окремих нерівностей і загладжування штрихів-слідів заточування ріжучих граней. У цей період шорсткість обробленої поверхні зазвичай поступово зменшується. Початковий знос U_n та його тривалість L_n (тобто тривалість приробітку інструменту) залежать від матеріалів ріжучого інструменту

та виробу, якості заточування, а також від режимів різання та доведення інструменту. Зазвичай тривалість початкового зношування, виражена довжиною L_n шляху різання, знаходиться в межах 500÷2000 м (перша цифра відповідає добре доведеним інструментам, друга - тільки заточеним інструментам без доведення).

Другий період зносу (ділянка 2) характеризується нормальним зносом інструменту, прямо пропорційним шляху різання. Інтенсивність цього періоду зносу прийнято оцінювати відносним (питомим) зносом U_0 (мкм/км), що визначається формулою $U_0 = U/L$, де U - розмірний знос, мкм; L - довжина шляху різання у зоні нормального зносу, км.

Довжина L шляху різання в період нормального зношування при обробці сталі різцями Т15К6 може досягати до 50 км.

Третій період зносу (ділянка 3) відповідає найбільш інтенсивному, катастрофічному зносу, що супроводжується значною крихкістю та поломками інструменту, неприпустимими при його нормальній експлуатації.

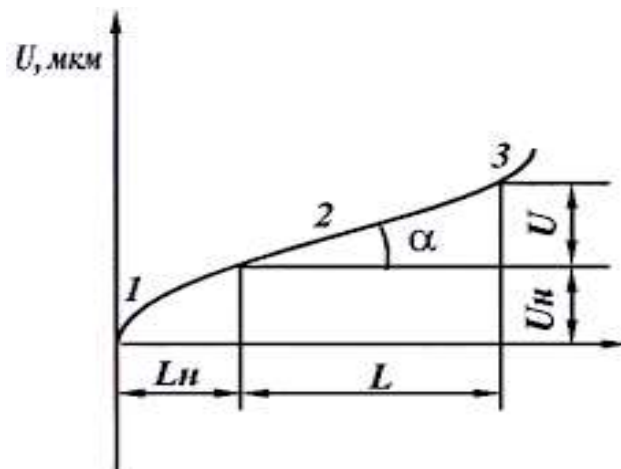


Рис.7.4. Залежність зношування інструменту від довжини шляху різання.

Встановлено, що при фрезеруванні знос різального інструменту відбувається інтенсивніше, ніж при рівномірному точінні, у зв'язку з несприятливими умовами роботи інструменту, що багаторазово періодично врізається в заготовку, що обробляється.

При підвищенні жорсткості технологічної системи, що сприяє зменшенню вібрацій, зношування різального інструменту помітно знижується.

Відносне зношування різців при розточуванні жароміцних матеріалів в 1,5÷6 разів більше відносного зносу різців при зовнішньому обточуванні тих же матеріалів, що пояснюється менш сприятливими умовами різання при обробці отворів.

У разі збільшення подачі відносний знос дещо зростає. Так, у процесі точення термообробленої сталі 35ХМ різцями Т15К6 при збільшенні подачі від 0,1 до 0,28 мм/об і при швидкості різання 4,0 м/с (240 м/хв), відносне зношування підвищилося з 15 до 18 мкм/км, тобто на 20%. У зв'язку з тим, що загальний розмірний знос інструменту обернено пропорційний подачі, у ряді випадків збільшення подачі підвищує загальну розмірну стійкість інструменту і при достатній жорсткості технологічної системи підвищує точність обробки. Застосування широких різців та інших інструментів з фасками, які вигладжують, також дозволяє підвищити подачу, що сприяє зростанню точності обробки при одночасному підвищенні її продуктивності.

Зміна глибини різання незначно впливає на відносне зношування інструменту.

Помітний вплив на відносне зношування надає задній кут різця. Наприклад, зі збільшенням заднього кута з 8° до 15° відносне зношування різців Т15К6 при точінні термообробленої сталі 35ХМ зі швидкістю 2,3 м/с (140 м/хв) зросло з 13 до 17 мкм/км, тобто на 30%. Це пояснюється ослабленням ріжучої кромки та погіршенням умов відведення теплоти.

7.1.3 Вплив затискного зусилля заготовки на похибку обробки.

При закріпленні заготовок у пристосуваннях або безпосередньо на верстаті за допомогою універсальних пристроїв часто виникають загальні або місцеві деформації. Ці деформації зазвичай спричиняють похибки форми обробленої поверхні. Так, при закріпленні тонкостінного кільця в трикулачковому патроні заготовка деформується, приймаючи форму, показану на рисунку 7.5,б. Після розточування отвору оброблена поверхня зберігає правильну фо-

рму до відкріплення заготовок (рис. 7.5,в). Але після зняття заготовки з патрона кільце пружно відновлює свою деформовану затискними силами форму, а оброблена поверхня спотворюється (рис. 7.5,г).

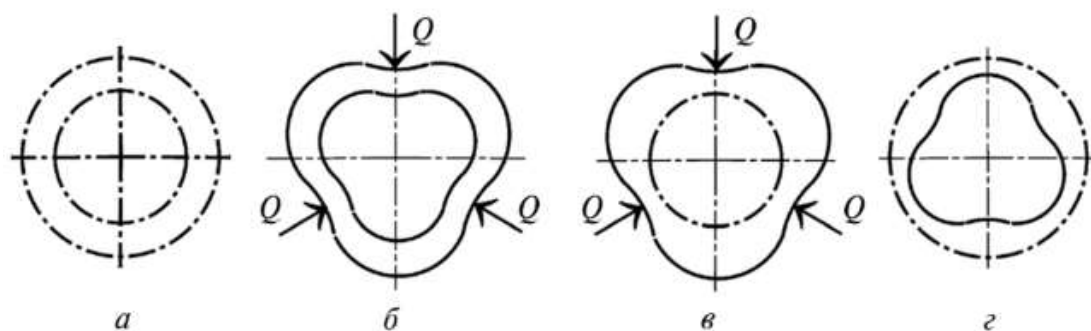


Рис. 7.5. Схема виникнення похибки форми отвору тонкостінної втулки: *a* – вихідна форма заготовки; *б* - пружна деформація втулки при закріпленні у трикулачковому патроні; *в* - форма отвору після розточування; *г* – форма отвору після відкріплення втулки.

Похибка форми заготовки, що обробляється, пов'язана з її пружною деформацією при закріпленні в кулачкових патронах та залежить від числа кулачків. Наприклад, якщо похибка геометричної форми тонкостінної втулки після обробки із затиском у двох кулачках прийняти за 100 %, то при затиску у трьох кулачках вона становитиме 21 %, у чотирьох кулачках – 8 %, у шести кулачках – 2 %. При формі кулачків, які відповідають формі заготовок, та найбільш повному приляганні затискних поверхонь до поверхні заготовки (цангові патрони) похибка геометричної форми втулки також знижується. Це пов'язано з розподілом зусилля затиску між кулачками, та значно меншою деформацією заготовки.

Розглянуті деформації знижують працездатність деталей у машинах. Так, некруглість кільця може зменшити довговічність підшипників кочення в кілька разів. Для їх зменшення (що дуже важливо при виконанні остаточних операцій обробки) слід правильно вибирати схему встановлення та закріплення заготовки. Для зменшення прогину стін корпусних деталей, важелів та інших деталей потрібно прагнути до того, щоб затискні сили були прикладені проти настановних елементів пристосування.

7.1.4. Похибки, зумовлені пружними деформаціями технологічної системи під впливом нагріву.

При безперервній роботі верстата відбувається постійне нагрівання всіх елементів технологічної системи, що викликає виникнення змінної систематичної похибки обробки заготовок.

Теплові деформації верстату.

Основна причина нагрівання окремих частин верстатів – втрати на тертя в рухомих механізмах (підшипники, зубчасті передачі), гідроприводах, електропристроях, а також теплопередача від охолоджуючих рідин, що відводять теплоту з зони різання та нагрівання від зовнішніх джерел (сонячних променів, батареї, тощо) .

Важливий вплив на точність обробки виявляє нагрів шпиндельних бабок. При роботі верстата відбувається постійний розігрів шпиндельних бабок та їх зміщення у вертикальному та горизонтальному напрямках. При цьому температура у різних точках корпусу бабки змінюється від 10 до 50°C.

Деформація верстатів за її нагріванні під час роботи відбуваються внаслідок великих мас усіх частин верстатів.

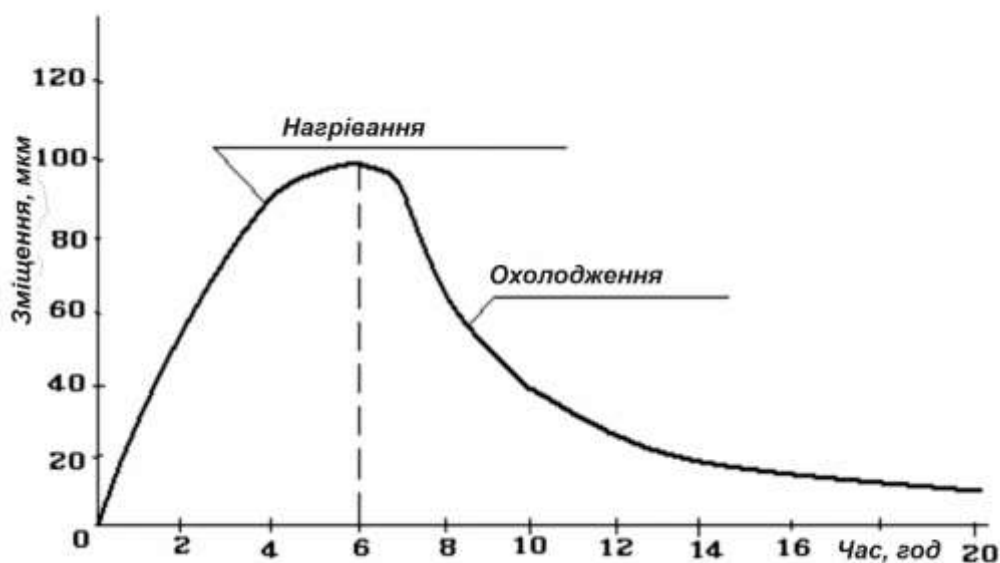


Рис. 7.6. Усунення шпинделя токарного верстата внаслідок температурних деформацій передньої бабки.

Для усунення похибки обробки, яке пов'язане з тепловими деформаціями верстата, роблять попередній прогрів верстата його обкаткою в холосту протягом 2÷3 годин.

Теплові деформації інструменту.

Деяка частина теплоти, що виділяється в зоні різання, переходить у ріжучий інструмент, викликаючи його нагрівання та зміну розмірів. При токарній обробці найбільша частина похибок, пов'язаних із тепловими деформаціями технологічної системи, обумовлена подовженням різців при нагріванні.

У разі підвищення V , S та t нагрівання інтенсифікується завдяки виділенню більшої енергії у процесі різання, отже, збільшується і подовження різця. Однак при зменшенні вільоту різця подовження скорочується.

Ще одним способом зменшення подовження різців є інтенсифікація процесу охолодження за рахунок застосування ЗОТС.

При ритмічній роботі теплові деформації інструменту постійні.

Теплові деформації заготовки.

Деяка частина теплоти, що виділяється при різанні, переходить у заготовку. При рівномірному нагріванні заготовки виникає похибка розмірів, а при місцевих нагріваннях окремих ділянок заготовки - короблення. Нагрівання оброблюваних заготовок має значний вплив при виготовленні тонкостінних деталей. При обробці масивних заготовок цей вплив невеликий. У процесі обробки спостерігається три періоди поширення тепла та розвитку теплових деформацій заготовки.

Перший період – характеризується невеликим нагріванням заготовки, тому що цей шар металу розташовано перед холодним різцем.

Другий період - (встановлений) характерний тим, що теплові деформації виростають до певного рівня і залишаються постійними на більшій частині довжини заготовки. Позаду, на деякій відстані від різця, встановлюється постійне теплове поле.

Третій період – (завершальний) характерний підвищенням температури ділянки заготовки, що залишається, через відображення теплової хвилі від її лівого торця. Теплові деформації на цій ділянці зростають.

Зменшення теплових деформацій оброблюваних заготовок може бути досягнуто:

- рясним підведенням ЗОТС в зону різання, в результаті чого більша частина тепла відводиться в стружку;
- чергуванням операцій з більшим та меншим нагріванням заготовки;
- усуненням накопиченого раніше в заготовках тепла достатньою за часом витримкою на пристрої, що транспортує, або в тарі;
- шліфування деталей колами великих діаметрів з невеликим припуском при абразивній обробці.

7.1.5. Жорсткість технологічної системи.

Жорсткістю технологічної системи називається її здатність чинити опір дії деформуючих її сил. Кількісною характеристикою жорсткості є відношення значення сили, що деформує, до переміщення, яке викликано дією цієї сили:

$$j = \frac{P}{y}, \quad (7.1)$$

Величина зворотна жорсткості називається податливістю:

$$W = \frac{y}{P} = \frac{1}{j} \quad (7.2)$$

де, j – жорсткість системи, Н/мм

P – зусилля деформування, Н;

y – деформація, що виникає від дії прикладеного зусилля, мм.

W – податливість системи мм/Н.

Металорізальні верстати є складними системами, тому в залежності від напрямку зміни величини сил різання та положення вузлів у них можуть працювати різні поверхні стиків, відповідно будуть різні значення жорсткості.

Тому при випробуваннях необхідно максимально наблизитися до найбільш реальних випадків обробки. Напрямок навантажувальної сили вибирається на основі аналізу кутів:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{P_y}{P_z}\right), \quad \beta = \arctg\left(\frac{P_x}{P_z}\right), \quad (7.3)$$

де, P_x, P_y, P_z – складові зусилля різання, Н.

Розглянемо вплив жорсткості системи ВПЗІ на величину деформації елементів системи на прикладі токарної обробки.

Для спрощення випробувань можна прийняти $\beta=0$, оскільки жорсткість валу в поздовжньому напрямку досить висока, а складова P_x мало впливає на точність обробки.

Вплив складових зусиль різання P_z та P_y на точність обробки можна заздалегідь оцінити розрахунковим методом завдяки математичної моделі визначення жорсткості технологічної системи при токарній обробці. Оскільки напрямки сил P_z та P_y перпендикулярні один одному, то вони по-різному впливатимуть на деформацію елементів верстата та деталь. Вважається, що сила P_y , яка на порядок менша від складового зусилля різання P_z , тобто приблизно дорівнює $P_y = (0,12 \div 0,18) P_z$, та домінуюче впливає на віджимання заготовки, так як вона розташована перпендикулярно заготовці в горизонтальній площині. Однак необхідно враховувати вплив обох сил.

Для початку, припустимо, що під впливом складової сили різання P_z заготовка змістилася у вертикальній площині за рахунок податливості з положення 1 в положення 2 на величину y_z (рис. 7.7). Це викличе збільшення діаметру деталі на значення $\Delta D = D_o - D_n$, де D_n - діаметр на який спочатку налаштований різець, мм; D_o - діаметр заготовки, збільшений за рахунок відтискування під дією зусилля P_z , мм.

З аналізу схеми представленої на рисунку 7.7 знаходимо зміну діаметра заготовки при її деформації у вертикальному напрямку під впливом зусилля P_z .

$$\Delta D_z = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_n}{2}\right)^2 + y_{36z}^2} - D_n = (D_o - D_n), \quad (7.4)$$

Деформації заготовки $y_{збз}$ та $y_{збу}$ під впливом складових зусиль P_z та P_y спрямовані один до одного взаємно перпендикулярно, проте, розраховуються за однаковими формулами з урахуванням всіх складових деформацій елементів технологічної системи.

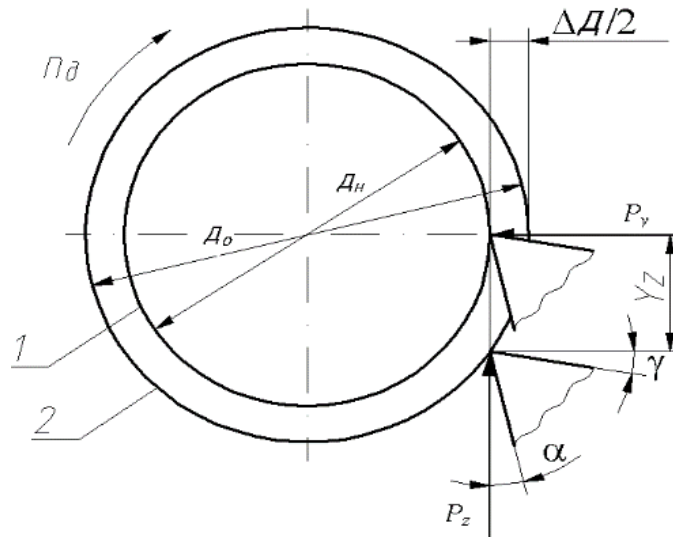


Рис. 7.7. Схема, що пояснює виникнення похибок за рахунок віджимання заготовки у вертикальній площині під дією сили P_z .

Встановимо математичну залежність визначення сумарного відтискання заготовки під впливом сил різання, як функції від переміщення різця по довжині z оброблюваної деталі. Початок координат ZY сумісний з лівим торцем оброблюваної деталі. Спочатку обробки валу при переміщенні різця в напрямку від задньої бабки до передньої бабці, сила різання, що виникає, P_y або P_z , викликає пружне відтискання пінолі задньої бабки на величину $y_{збу}$ або $y_{збз}$ (рис. 7.8).

Одночасно відбувається пружне відтискання супорта у бік осі y разом із різцем на величину y_p . Відтискання супорта у напрямку осі z передбачається нескінченно більшим. Величина відтискання супорта буде майже постійною на всьому протязі обробки, так як глибина різання, що змінюється у зв'язку з відтисканням деталі, є незначною в порівнянні з призначеною глибиною різання, тому істотно не змінюватиметься і зусилля P_y (P_z).

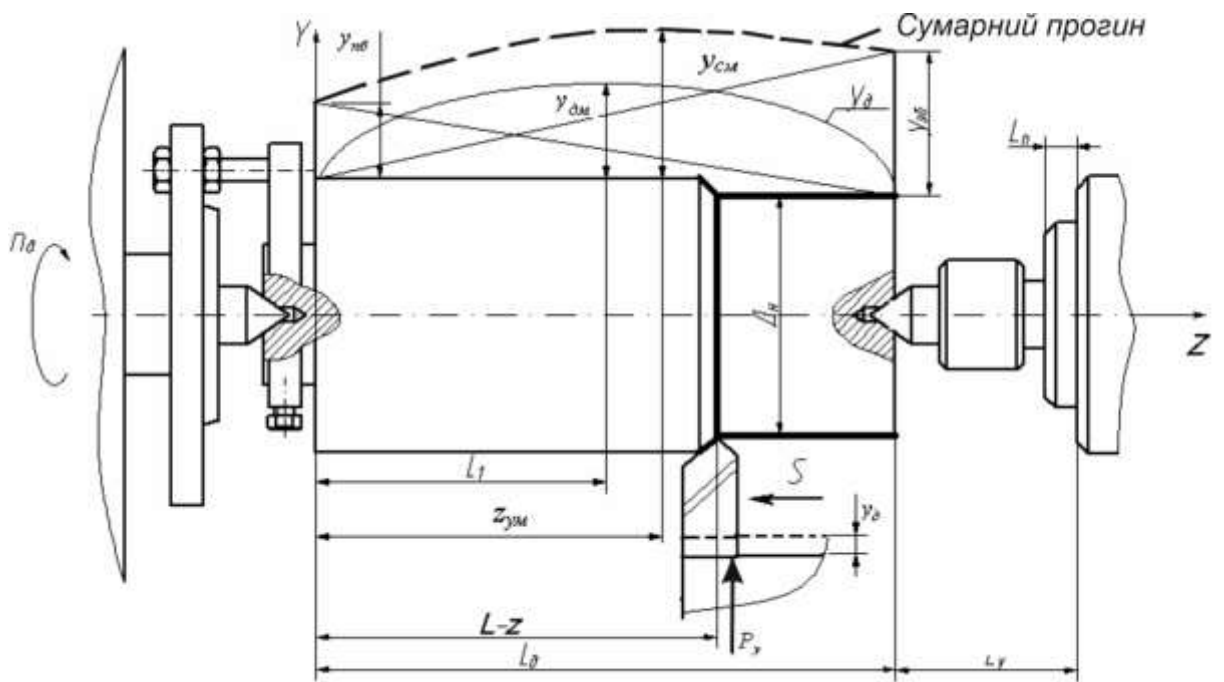


Рис. 7.8. Схема утворення похибок, що викликаються пружними відтисканнями під дією зусилля P_y .

Жорсткість задньої бабки і супорта мають різні чисельні значення, тобто $y_{зб} \neq y_p$ де, $y_{зб}$ - деформація пінолі задньої бабки; y_p - деформація супорта. За рахунок цих відтискань під впливом складової зусилля різання P_y відбувається збільшення діаметра обробки в порівнянні з настроювальним розміром на величину

$$\Delta D_y = 2 \cdot (y_{збу} + y_p), \quad (7.5)$$

Значення величин $y_{збу}$ та y_p розрахувати аналітично неможливо у зв'язку з великою кількістю факторів, що впливають на процес відтискання. До них відносяться стан поверхонь дотичних деталей, що становлять технологічну систему, значень зазорів між дотичними деталями, що мають випадковий характер, тощо. Тому зазначені величини можуть бути визначені тільки експериментально для кожного конкретного верстата.

При подальшій обробці, у зв'язку з переміщенням різця вздовж заготовки, а, отже, переміщення сили різання в напрямку від правого торця валу до патрона, її вплив на величину деформації задньої бабки зменшуватиметься за лі-

нійною залежністю. Позначивши систему координат $Z Y$, як зображено на рисунку 7.8 матимемо наступний вираз для деформації задньої бабки від переміщення зусилля різання по координаті z :

$$y_{збу} = \frac{P_y \cdot z}{j_{зб} \cdot L}, \quad (7.6)$$

де L - довжина оброблюваного валу, мм;

z – поточна координата положення вершини різця, відраховуючи від лівого торця заготовки, мм.

Аналогічно обчислюється деформація $y_{збz}$ у вертикальній площині, спричинена силою P_z , що входить у формулу (7.4).

$$y_{збz} = \frac{2P_z \cdot z}{j_{зб} \cdot L}, \quad (7.7)$$

Все сказане має місце і для деформації передньої бабки. Тому залежність деформації передньої бабки від зусилля різання P_y та P_z , що переміщається у напрямку осі z має вигляд аналогічній залежності (7.6), а саме:

$$y_{пбу} = \frac{P_y \cdot (L-z)}{j_{пб} \cdot L} \quad (7.8)$$

$$y_{пбz} = \frac{P_z \cdot (L-z)}{j_{пб} \cdot L} \quad (7.9)$$

На величину сумарного відтискання передньої та задньої бабки накладається деформація заготовки залежно від положення перерізу, до якого прикладена сила різання, що дорівнює:

$$y_{зу} = \frac{P_y}{3 \cdot E \cdot J_B} \cdot \frac{z^2(L-z)^2}{L} \quad (7.10)$$

$$y_{zz} = \frac{P_z}{3 \cdot E \cdot J_B} \cdot \frac{z^2(L-z)^2}{L} \quad (7.11)$$

де $J_B \approx 0.05 \cdot D_e^4$ - момент інерції перерізу суцільного валу (для кільцевого перерізу), мм⁴;

$J_{до} \approx 0.05 \cdot D^4 (1 - \alpha^4)$, де $\alpha = d / D_e$; d – внутрішній діаметр кільцевого перерізу валу, мм;

E – модуль пружності оброблюваного матеріалу $E=2.1 \cdot 10^5$, МПа.

В результаті сумарна зміна діаметра деталі в перерізі дії навантаження, що відповідає координаті z , буде дорівнювати:

$$\Delta D_c = 2 \cdot (y_{z_{6y}}(z) + y_{п6y}(z) + y_{zy}(z) + y_p) + \Delta D_z, \quad (7.12)$$

Підставивши в цю формулу отримані раніше залежності, матимемо:

$$\Delta D = 2P_y \left(\frac{z}{L \cdot j_{36}} + \frac{L-z}{L \cdot j_{п6}} + \frac{z^2(L-z)^2}{3LEJ_B} + \frac{I}{j_c} \right) + \sqrt{\left(\frac{D_H}{2} \right)^2 + y_{36z}^2} - D_H, \quad (7.13)$$

де, деформація y_{36z} заготовки у напрямку докладання сили різання P_z дорівнює

$$y_{36z} = 2P_z \left(\frac{z}{L \cdot j_{36}} + \frac{L-z}{L \cdot j_{п6}} + \frac{z^2(L-z)^2}{3LEJ_B} \right), \quad (7.14)$$

Максимальний прогин деталі не буде перебувати посередині прольоту валу, оскільки сумарна крива прогинів валу не є симетричною через те, що жорсткість задньої бабки менша ніж жорсткість передньої бабки.

У наведених формулах значення жорсткості задньої бабки j_{36} передньої бабки $j_{п6}$ супорта j_c визначаються експериментально, а зусилля P_y та P_z обчислюється за класичними формулами з довідкової літератури:

$$P_y = 10 \cdot C_{py} \cdot S^{Y_{py}} \cdot t^{X_{py}} \cdot HB^n \cdot K, \quad (7.15)$$

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot S^{Y_{pz}} \cdot t^{X_{pz}} \cdot HB^n \cdot K, \quad (7.16)$$

Коефіцієнти, що входять до цієї формули, вибираються з довідника [20].

У літературних джерелах стверджується, що крива, яка описується рівнянням, може бути опуклою або увігнутою. Якщо жорсткість елементів верстата досить велика, а жорсткість заготовки мала (обробка довгого та тонкого валу), то віджимання $y_{п6}$ та y_{36} малі, а y_{zy} – значно. В результаті цього заготовка стане бочкоподібною (опуклою), і, навпаки, при досить жорсткій заготовці з малою величиною прогину форма заготовки вийде «корсетоподібною», з найменшим значенням діаметра в середній частині заготовки.

Різниця між максимальним діаметром обробки і настроювальним діаметром валу визначає точність одержуваного розміру. Визначити координату z_{cm} , що відповідає максимальному прогину валу, можна двома способами: графічним, за допомогою побудови кривої за формулою (7.13) або аналітично. Для визначення координати z_{cm} , що відповідає максимальному прогину валу аналітичним методом, знайдемо похідну від виразу по z , нехтуючи впливом на величину прогину валу у вертикальній площині:

$$\frac{d\Delta D}{dz} = 2 \cdot P_y \left(\left(\frac{1}{L \cdot j_{зб}} - \frac{1}{L \cdot j_{пб}} \right) + \frac{2 \cdot z \cdot L}{3 \cdot E \cdot J_B} + \frac{2 \cdot z^2}{E \cdot J_B} + \frac{4 \cdot z^3}{3 \cdot E \cdot J_B \cdot L} \right), \quad (7.17)$$

Написане рівняння за умови $\frac{d\Delta D}{dz} = 0$ є кубічним, що має вигляд:

$$a \cdot z^3 + b \cdot z^2 + c \cdot z + d = 0,$$

де:

$$a = \frac{8 \cdot P_y}{3 \cdot E \cdot J_B \cdot L}; \quad b = \frac{4 \cdot P_y}{E \cdot J_B}; \quad c = \frac{4 \cdot P_y}{3 \cdot E \cdot J_B}; \quad d = \frac{2 \cdot P_y}{L} \left(\frac{1}{j_{зб}} - \frac{1}{j_{пб}} \right). \quad (7.18)$$

Підставивши знайдене значення прогину валу у формулу визначення сумарного відтискання валу, отримаємо максимальне відхилення допуску цієї операції без урахування інших чинників, які впливають на точність обробки (розмірний знос, температурні деформації, неоднорідність матеріалу заготовки, похибка базування, похибка установки, тощо).

Отримана математична модель дозволяє вирішити питання щодо раціонального управління процесом обробки валів на верстатах з ЧПУ за критерієм забезпечення заданої точності.

Очевидно, що керуючим параметром, який мінімізує віджаття валу, є подача, оскільки глибина і швидкість різання є постійними величинами і вибираються до початку обробки, виходячи з максимальної продуктивності та величини заданого припуску. Так як при переміщенні різця від торця заготовки до її середини прогин валу збільшується, то, щоб залишитися в заданих межах допуску, необхідно пропорційно зменшувати подачу, що рівносильно зменшенню сили, яка діє на вал.

Тому, задавшись гранично допустимим відтисканням деталі $[\Delta D_{пр}]$, незалежно від положення різця по довжині валу, та перетворивши формулу щодо розрахунку подачі, отримаємо функціональні залежності для їх визначення:

$$S = \left[\frac{[\Delta D_{пр}]}{20C_p t^x H V^n K \cdot \left(\frac{z}{L \cdot j_{зб}} + \frac{L-z}{L \cdot j_{пб}} + \frac{z^2(l-z)^2}{3 \cdot E \cdot L \cdot j_B} + \frac{1}{j_c} \right)} \right]^{\frac{1}{Y_{py}}}, \quad (7.19)$$

7.2. Випадкові похибки обробки.

Випадкові похибки – це похибки, які для різних заготовок аналізованої партії мають різні значення, причому їх поява не підпорядковується ніякої видимої закономірності.

Внаслідок виникнення випадкових похибок відбувається розсіяння розмірів заготовок, оброблених за тих самих умов. Розсіяння розмірів викликано сукупністю багатьох випадкових причин:

- коливання твердості оброблюваного матеріалу;
- коливання величини припуску, що знімається;
- неоднорідність матеріалу заготовки;
- зміни положення заготовки у пристосуваннях, пов'язане з похибкою її базування та закріплення;
- зміни положення заготовки, зумовлені неточністю пристосування;
- неточність встановлення положення супортів за упорами та лімбами.

Для виявлення та аналізу закономірностей розподілу розмірів деталей за їх розсіюванням застосовуються методи математичної статистики.

Математична статистика була точною науковою базою, де почали проводити перші дослідження точності технологічних процесів. Першим кроком у цьому напрямі було вивчення та аналіз кривих розподілу. Побудова кривих розподілу виконується наступним чином. Всю сукупність вимірів (точність

виміру має бути не нижче 0,1 допуску (розкиду значень досліджуваної величини), що цікавить нас (наприклад, будь-якого розміру в партії заготовок, оброблених за певних умов), розбивають на ряд груп. У кожену групу входять величини, результати вимірювання яких перебувають у межах встановленого інтервалу. Інтервали, кількість яких зазвичай беруть у межах 7-11, відкладають по осі абсцис, а кількість розмірів, що приєднуються на кожен інтервал, по осі ординат.

Після з'єднання нанесених на графік точок одержують ламану лінію, яка називається *полігоном розподілу*.

У місце абсолютної кількості m деталей у кожному інтервалі по осі ординат відкладають відношення цієї кількості до загальної кількості n деталей у партії, це відношення називається *відносною частотою або частістю*.

На рисунку 7.9, як приклад, показано полігон розподілу діаметральних розмірів кілець, які були попередньо обточуванні. З нього видно, що на середину інтервалу розмірів припадає більша кількість кілець. При збільшенні кількості деталей у партії, звуження інтервалів та збільшення їхньої кількості ламана лінія наближається до плавної кривої.

Як найбільш наближеною мірою точності досліджуваного процесу обробки може бути *поле розсіювання розмірів*. Величину поля розсіювання можна брати по полігону розподілу або таблиці вимірювання досліджуваних значень. Чим вуже поле розсіювання, тим точніше досліджуваний технологічний метод.

Численні дослідження показали, що в технології машинобудування розподіл розмірів найчастіше відбувається за нормальним законом розподілу або законом Гауса (рис. 7.10).

Цей закон є результатом дії великої кількості різних факторів з однаковою інтенсивністю свого впливу, цьому закону підпорядковуються багато безперервних випадкових величин: розміри деталей, оброблених на налаштованих верстатах; вага заготовок та деталей машин; твердість та інші характеристики

механічних властивостей матеріалу; висота мікронерівностей на оброблених поверхнях; похибки вимірів та інші величини.

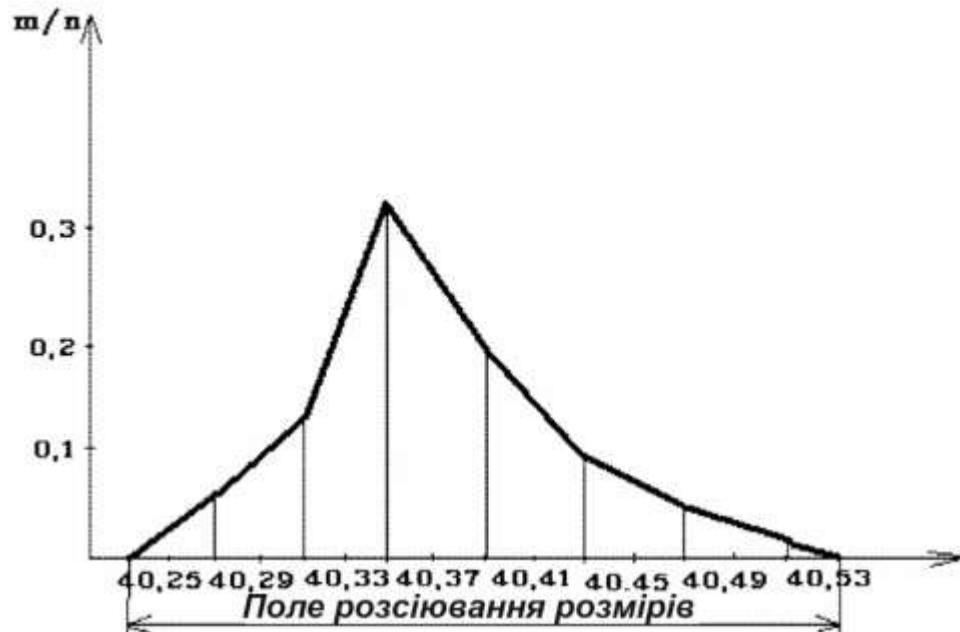


Рис. 7.9. Побудова поля розсіювання випадкових величин.

Численні дослідження показали, що в технології машинобудування розподіл розмірів найчастіше відбувається за нормальним законом розподілу або законом Гауса (рис. 7.10).

Цей закон є результатом дії великої кількості різних факторів з однаковою інтенсивністю свого впливу, цьому закону підпорядковуються багато безперервних випадкових величин: розміри деталей, оброблених на налаштованих верстатах; вага заготовок та деталей машин; твердість та інші характеристики механічних властивостей матеріалу; висота мікронерівностей на оброблених поверхнях; похибки вимірів та інші величини.

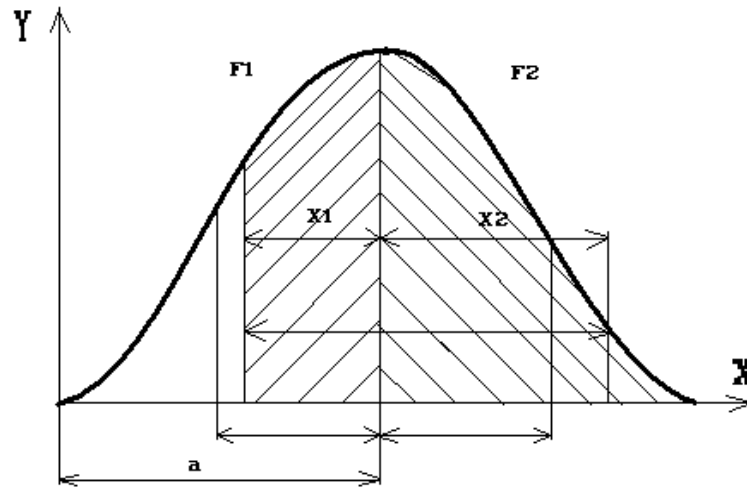


Рис. 7.10. Крива Гауса (закон нормального розподілу).

Крива Гауса виражається наступним рівнянням:

$$Y = \frac{1}{\delta \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\delta^2}} \quad (7.20)$$

де, δ – середнє квадратичне відхилення аргументу;

e – основа натуральних логарифмів;

a - значення абсциси, при якій ордината у кривою досягає max.

Величина, a є центром розподілу (групування) аргументу і водночас його середньої арифметичної.

Геометрично крива нормального розподілу простягається в обидві сторони вздовж осі абсцис безмежно, асимптотичне наближаючись до цієї осі, як видно з рисунку 7.10.

Для теоретичних розрахунків граничні відхилення (при використанні нормального закону розсіювання), що виражається в частках середньоквадратичного відхилення $\delta(x)$, зазвичай обмежують величинами $x = \pm 3\delta$.

За цих значень x - 99,73% відхилень випадкової величини потрапляють у область всередині встановлених меж, а 0,27% виходять із них.

Таким чином, обчисливши за даними спостережень значення δ можна охарактеризувати точність досліджуваного методу твором 6δ . І тут маємо

майже 100-відсоткову придатність оброблюваних деталей, тому що ймовірна кількість браку менше ніж 0,3%.

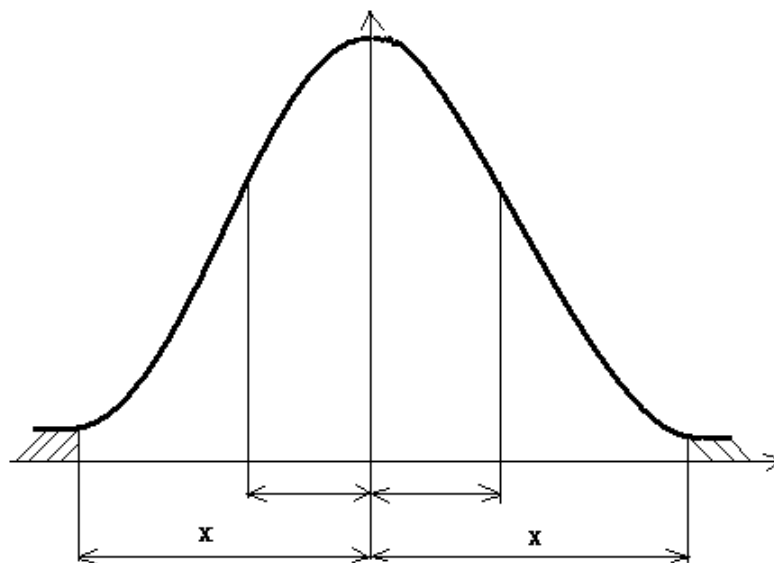


Рис. 7.11. Крива Гауса та зони браку.

Крім закону Гауса зустрічаються інші закони розподілу розмірів оброблюваних деталей партії.

Якщо на виконуваний розмір впливає систематична похибка, що рівномірно зростає (наприклад, похибка, що викликається розмірним зносом ріжучого інструменту) та протікає за законом прямою, то розподіл відбувається за **законом рівної ймовірності**.

Якщо на виконуваний розмір впливає похибка, що закономірно змінюється, зростає спочатку уповільнено, а потім прискорено, то розподіл розмірів проходить за **законом трикутника (Сімпсона)**. Цей розподіл може мати місце при спільній дії розмірного зносу різального інструменту з сильно вираженою фазою початкового зносу та збільшення сили різання в кінці стійкості інструменту в результаті прогресуючого його затуплення.

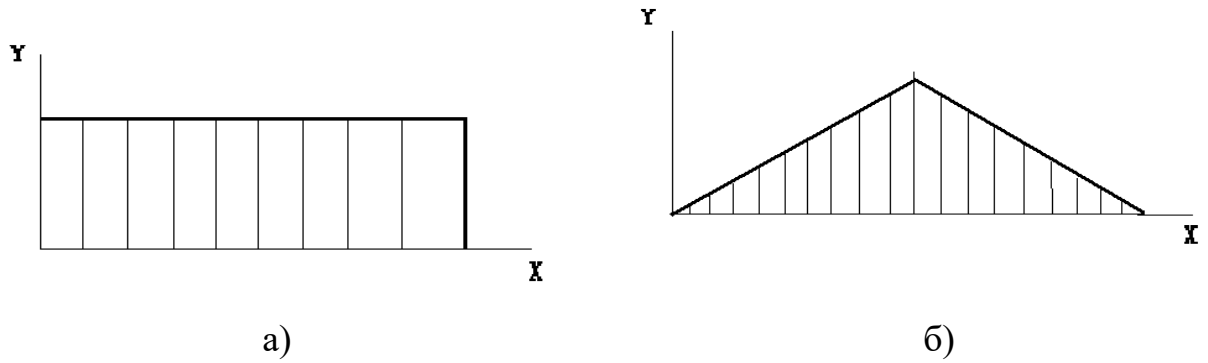


Рис. 7.12. Закони розподілу розмірів оброблюваних деталей у партії:
а – рівної ймовірності; б – закон Сімпсона.

Розглянемо криві розподілу похибок взаємного розташування та похибок форми поверхонь оброблених деталей. Ці похибки завжди є позитивними величинами, вони змінюються від нуля до певного значення. Наприклад, крива розподілу ексцентриситетів R ступінчастих циліндричних деталей має несиметричну форму (рис.7.13).

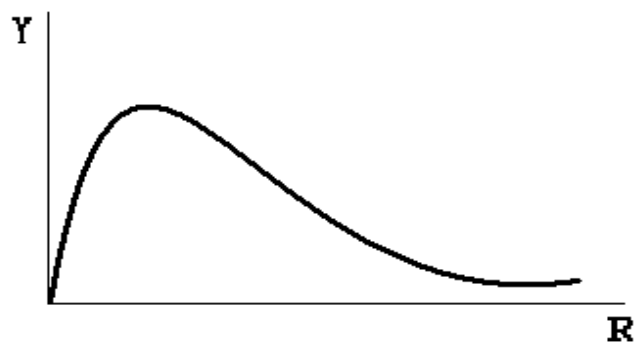


Рис. 7.13. Закон ексцентриситету (закон Релея).

Характер зміни кривої свідчить, що деталей з нульовим ексцентриситетом немає; більшість деталей має середній за величиною ексцентриситет; деталей із великим ексцентриситетом є дуже мало.

Закону ексцентриситету (закону Релея) також підрядковується розподіл значень непаралельності та неперпендикулярності двох плоских поверхонь; неперпендикулярність осі деталі до її торцевої поверхні; різностінність порожнистих деталей (при нефіксованій площині виміру) та інше.

Якщо поруч із випадковими є і систематичні похибки, що закономірно змінюються, то крива розподілу спотворюється. Так, як приклад, показана крива, що є композицією кривої Гауса і кривою рівномірної ймовірності. Ця крива може вийти в тому випадку, коли на точність обробки сильно впливає розмірний знос інструменту. Систематична постійна похибка не впливає на форму кривої розподілу. Вплив цієї похибки позначається лише тому, що крива розподілу зсувається вправо на величину цієї похибки (зсув кривої 1 на величину C до кривої 2).

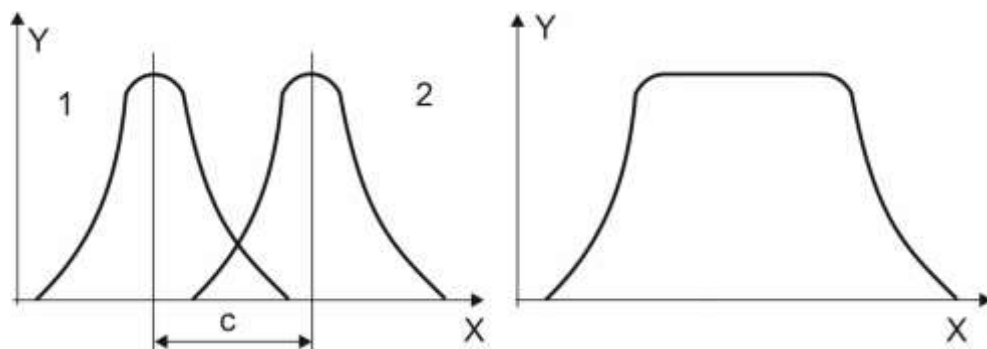


Рис. 7.14. Композиція закону Гауса та закону рівної ймовірності при сильному впливі похибки, що рівномірно змінюється в часі.

Крива розподілу для двох однакових партій деталей, обробка яких проводиться при двох різних налаштуваннях верстата, виходить двовершинною. Для кількох налаштувань може вийти багатoverшинна крива.

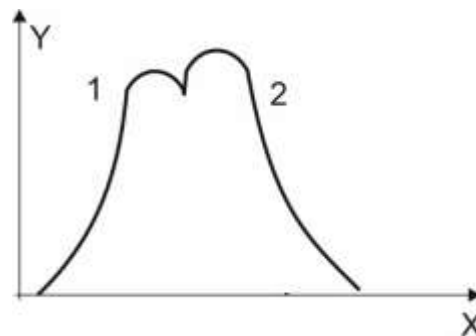


Рис. 7.15. Композиція закону Гауса при двох різних налаштуваннях верстата:

1 – перше налаштування; 2 – друге налаштування.

При великій кількості налаштувань багатoverшинність згладжується, і крива набуває форми кривої нормального розподілу, але з ширшою базою. Збільшення ширини бази відбувається на величину похибки налаштування Δ_n .

Статичний спосіб дослідження з урахуванням кривих розподілу дає можливість об'єктивно оцінити точність різних методів механічної обробки. Цей метод універсальний. Його можна застосувати для дослідження точності виконання заготовок, складальних операцій, операцій технічного контролю, а також для цілого ряду таких специфічних операцій, як балансування, холодне виправлення та інші. Він особливо зручний (а часто і незамінний) у тих випадках, коли механізм явища похибки не вивчений. Доцільно застосовувати його також для практичної перевірки результатів та висновків, отриманих на основі розрахунково-аналітичного методу.

До суттєвих недоліків цього методу відноситься, те, що він не розкриває сутність фізичних явищ і фактів, що впливають на точність обробки, а також те, що на його базі не виявляються конкретні можливості підвищення точності. Метод фіксує результати закінченого етапу, тобто, «навернений у минуле». Отримані значення δ не можуть бути використані, якщо в умовах виконання даної операції відбулися зміни (режим різання, спосіб установки заготовки, тощо). У цьому випадку необхідно виконати нові розрахунки та визначити нове значення.

Запитання для самоконтролю:

1. *Що включає систематична похибка обробки?*
2. *Чому виникають похибки неточності обладнання?*
3. *Чому виникають похибки неточності інструменту?*
4. *Поняття зносу інструмента. Які є фази зносу?*
5. *Як впливає зусилля затиску заготовки на її точність?*
6. *Які похибки обробки спричиняють температурні деформації?*
7. *Причини виникнення похибки жорсткості системи ВПЗІ?*
8. *Які види випадкових похибок обробки розглядаються у машинобудуванні?*
9. *Як проводиться оцінка точності обробки? Які закони розподілу застосовують і для яких випадків?*
10. *Коли використовується нормальний закон розподілу в оцінці точності обробки?*
11. *Коли використовується закон Релея в оцінці точності обробки?*

8. Припуски на механічну обробку

8.1. Загальне поняття припуску.

Припуском на обробку називається шар (товщина шару) матеріалу, що необхідно видалити з поверхні заготовки для усунення дефектів попередньої обробки. Загальним припуском на обробку називається шар матеріалу (товщина шару), що видаляється з поверхні вихідної заготовки в процесі виконання технологічного процесу з метою отримання готової деталі.

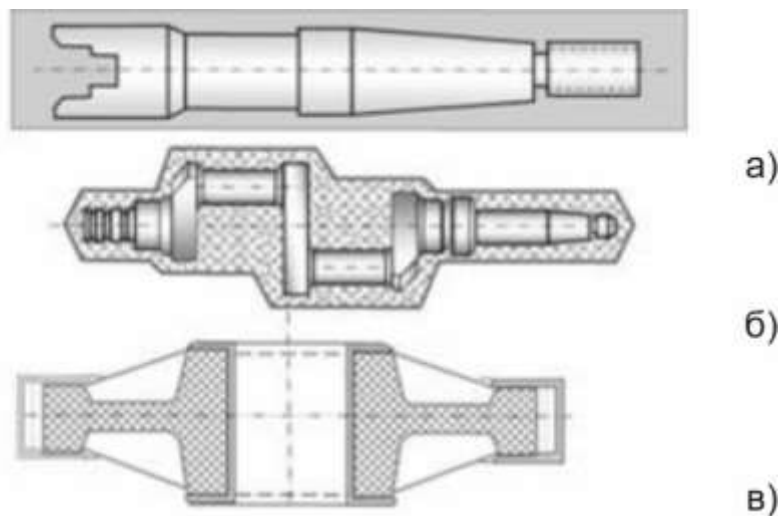


Рис. 8.1. Заготовки деталей: а-прокат, б-поковка, в – виливок.

Встановлення правильної товщини припусків на обробку є відповідальним техніко-економічним завданням. Призначення надмірно великих припусків призводить:

- до втрат матеріалу, що перетворюється на стружку;
- до збільшення пружної деформації технологічної системи ВПЗІ (верстат – пристосування – заготовка – інструмент) внаслідок збільшення сили різання, а отже, і до зменшення точності обробки;
- до збільшення трудомісткості механічної обробки (якщо припуск більший за максимально допустиму глибину різання та доводиться його видаляти за кілька проходів);
- до ускладнення застосування пристроїв внаслідок збільшення сили різання;

- до підвищення витрати ріжучого інструменту та електричної енергії;
- до збільшення потреби в обладнанні та робочій силі.

Призначення недостатньо великих припусків:

- не забезпечує видалення дефектних шарів матеріалу та досягнення необхідної точності та шорсткості оброблюваних поверхонь;
- викликає підвищення вимог до точності вихідних заготовок та призводить до їх подорожчання;
- ускладнює розмітку та вивірку положення заготовок на верстатах при обробці за методом пробних ходів;
- є небезпека появи браку.

Операційний припуск - це шар матеріалу, що видалається із заготовки при виконанні однієї технологічної операції. Операційний припуск дорівнює сумі проміжних припусків, тобто припусків на окремі переходи, що входять до цієї операції.

Припуск на перехід - це шар матеріалу (товщина шару), що видалається із заготовки під час виконання переходу, тобто при обробці аналізованої поверхні з певною точністю, постійним інструментом при постійних режимах обробки.

Напуск – це надлишок матеріалу на поверхні заготовки понад припуск, зумовлений технологічними вимогами спростити конфігурацію заготовки для полегшення умов її отримання. У більшості випадків він видалається подальшою механічною обробкою, рідше залишається в деталі, наприклад у вигляді штампувальних ухилів, збільшених радіусів закруглень та інше.

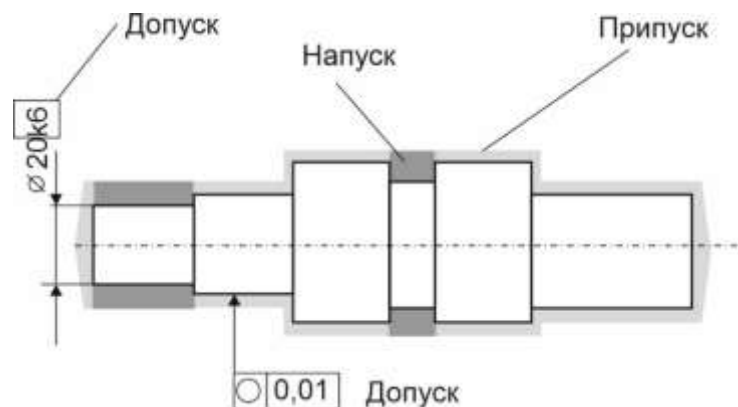


Рис. 8.2. Припуски, допуски та напуски заготовки.

Припуск позначається символом Z . Найменший припуск на перехід складається з окремих елементів, пов'язаних із різними похибками. Показники похибки, параметри шорсткості, дефекти, допуски тощо, одержувані на переході, позначаються з індексом i . Наприклад, символом Z_{min_i} позначається мінімальний припуск на одну сторону, що видаляється на аналізованому переході.

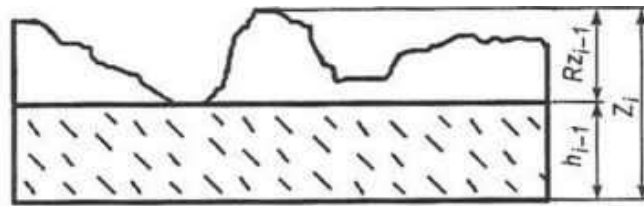
Похибки або показники шорсткості, дефекти, допуски тощо, отримані на попередній обробці цієї поверхні позначаються з індексом $i-1$. Наприклад, символом $Z_{min_{i-1}}$ позначається мінімальний (найменший допустимий) припуск на одну сторону (на сторону), що видаляється на попередній обробці цієї поверхні.

Розглянемо складові мінімального припуску на обробку плоскої поверхні (при односторонній обробці) та поверхні обертання (рис. 8.3).

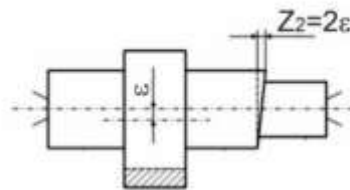
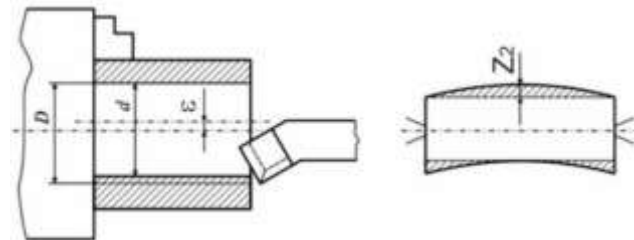
Rz_{i-1} – висота нерівностей профілю за десятьма точками, тобто шорсткість поверхні після попередньої обробки, мкм.; h_{i-1} – глибина (товщина) дефектного шару поверхні, яка отримана після попередньої обробки у зв'язку з обезуглерожуванням, корозією, наклепом, утворенням тріщин, тощо, мкм; Z_2 – товщина шару металу, що видаляється для усунення похибок форми та розташування оброблюваних поверхонь відносно базових поверхонь вихідної заготовки (відхилень від співвісності та паралельності оброблюваних поверхонь та ліній центрових отворів, відхилень від перпендикулярності торцевих поверхонь до лінії центрових отворів, тощо), мкм; Z_3 – товщина шару металу, що видаляється для усунення похибок установки заготовки на операції, мкм.

Похибка установки розглядається в даному розділі не з точки зору її впливу на формування сумарної похибки розмірів, що витримуються при обробці, а з позицій її впливу на зміщення та повороти поверхонь, що обробляються при встановленні та закріпленні заготовки. Усунення цих просторових зсувів і поворотів вимагає збільшення мінімального припуску на величину Z_3 . Складова Z_3 повинна враховуватися навіть при обробці заготовок методом пробних ходів у разі встановлення одиничних заготовок. Діапазон складових Rz_{i-1} та h_{i-1} для деяких видів обробки наведено у таблицях 8.1-8.3

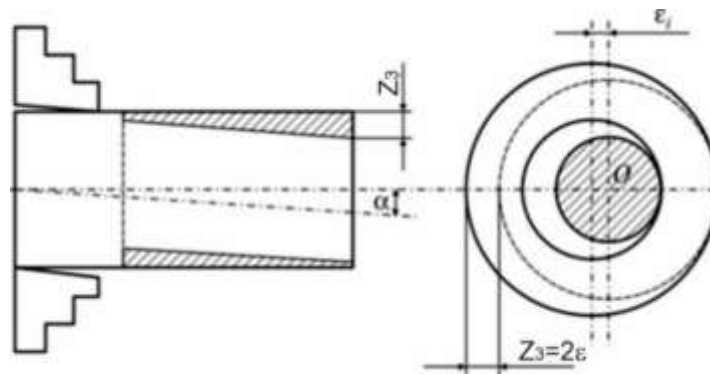
Величини складових Z_2 та Z_3 визначаються аналітично або експериментально стосовно конкретних умов установки оброблюваних заготовок і характеру похибок вихідних заготовок. Значення складових Rz_{i-1} , h_{i-1} , Z_2 та Z_3 наводяться в довідковій літературі. При цьому шар металу Z_2 , видалення якого необхідно для усунення похибки, пов'язаної з просторовими відхиленнями, часто позначається через ρ_{i-1} або $\Delta\Sigma_{i-1}$, шар металу Z_3 , компенсуючий похибки установки заготовки, позначається через ε_i , а товщина дефектного шару h_{i-1} .



а)



б)



в)

Рис. 8.3. Складові елементи припуску на перехід; а – поперечний переріз призматичної заготовки; б – схема визначення похибки форми валу за його закріпленні у центрах; в – схема визначення похибки установки в поздовжньому перерізі при закріпленні валу в токарному патроні.

Таблиця 8.1. - Діапазони складових Rz та h для деяких видів обробки.

Метод обробки	Шорсткість Rz , мкм	Дефектний шар h , мкм
Лиття в піщано-глинисту форму при ручному формуванні	100-500	200-600
Лиття в піщано-глинисту форму при машинному формуванні	80-300	150-400
Лиття в металеві форми	100-200	100-300
Відцентрове лиття	40-100	100-200
Лиття в оболонкові форми	20-80	150-250
Лиття по виплавлюваним моделям	10-40	80-150
Лиття під тиском	10-40	80-150
Кування	300-500	400-600
Штампування звичайною точністю	100-250	200-400
Штампування підвищеною точністю	80-200	150-300
Прокат гарячекатаний звичайною точністю	80-150	100-150
Прокат підвищеною точністю	50-100	80-150
Прокат холоднотягнутий калібрований	40-80	50-100
Рубка на пресах та ножицях	100-300	100-150
Розрізання пилами на верстатах	80-160	100-150
Точіння чорнове	80-150	50-100
Точіння напівчистове	30-50	40-60
Точіння чистове	15-25	20-30
Точіння тонке	5-10	10-20
Стругання попереднє	80-150	100-150
Стругання остаточне	15-25	20-30
Свердління	80-150	50-100
Свердління глибоке	15-30	25-50
Зенкерування чорнове	30-50	40-50
Зенкерування чистове	20-30	30-40
Розгортання попереднє	10-20	15-25
Розгортання чистове	6-10	5-10
Розточування алмазне	3,2-6,3	4-10
Фрезерування обдирне	80-150	80-100
Фрезерування чистове	20-50	40-60
Фрезерування тонке	3,2-6,3	10-30
Протягування чорнове	6-10	10-20
Протягування чистове	3,2-6,3	5-10
Розточування чорнове	40-80	50-100
Розточування чистове	10-20	15-30
Шліфування чорнове	20-40	30-50
Шліфування чистове	5-10	15-25
Шліфування тонке	1,5-3,5	5-10
Хонінгування	1-3	3-6
Суперфініш	0,2-0,8	3-5
Притирання попереднє	0,8-3,2	3-5
Притирання остаточне	0,05-0,4	3-5
Полірування	0,05-0,4	2-3

Таблиця 8.2. - Числові величини дефектів та похибок в залежності від виду та точності обробки.

№ п\п	Вид заготовки або обробки поверхні	Вид дефекту або похибки, мкм			Сума похибок попередньої обробки, мкм
		RZ_{i-1}	h_{i-1}	ρ_{i-1}	Δz_{i-1}
1	Лиття в піщано-глинисту форму при ручному формуванні	500	600	800	1900
2	Лиття в кокіль	100	150	200	350
3	Вільне гаряче кування	500	600	2000	3100
4	Штапування	100	300	400	800
5	Прокат гарячекатаний звичайної точності	100	150	250	500
6	Прокат холоднотягнутий калібрований	60	80	150	290
7	Чорнова обробка (по 14...11 квалітету) точінням чи фрезеруванням	40	60	90	190
8	Напівчистова обробка (по 9 квалітету) точінням або фрезеруванням	10	40	45	95
9	Чистова обробка (за 7 квалітетом) шліфуванням	5	20	30	55

Таблиця 8.3. - Числові величини похибки встановлення та закріплення ϵ_i залежно від пристосування та якості обробки базових поверхонь

№ п\п	Пристосування	Якість обробки базових поверхонь	Похибка встановлення та закріплення ϵ_i , мкм
1	Лещата машинні	необроблена поверхня після лиття або вільного кування	1200
2		необроблена поверхня після холодної прокатки	500
3		після чорнової обробки	200
4		після напівчистої обробки	50
5	Трикулачковий самоцентруючий патрон нормальної точності	необроблена поверхня після лиття або вільного кування	1000
6		необроблена поверхня після холодної прокатки	100
7		після чорнової обробки	100
8	Трикулачковий самоцентруючий патрон підвищеної точності	після чорнової обробки	60
9		після напівчистої обробки	30
10	Цанговий патрон або розтискна оправка	після напівчистої обробки	5÷10
11	Встановлення в центр	поверхня фаски після свердління центового отвору	0÷5

Примітка: при установці заготовок тіл обертання вказано похибку встановлення та закріплення в радіальному напрямку.

8.2. Методи розрахунку припусків.

Існують три основних методи визначення припусків: дослідно-статистичний, розрахунково-аналітичний та імовірнісне-статистичний.

8.2.1. Дослідно-статистичний.

При цьому методі загальні та проміжні припуски встановлюються технологом за таблицями, складеними на основі узагальнення та систематизації виробничих даних передових машинобудівних підприємств.

При застосуванні цього методу встановлюють загальний припуск, тобто припуск на всю сукупність технологічних переходів механічної та хіміко-термічної обробки поверхні. Рідше встановлюють проміжний припуск, тобто припуск на виконання одного технологічного переходу обробки. Зазвичай дані, що рекомендуються, відображають умови виготовлення, при яких припуск повинен бути найбільшим. Але часто буває незрозуміло, як проведено аналіз статистичних даних, яке значення припуску рекомендовано (найменше, найбільше чи середнє) та як у такому випадку визначалися розміри заготовок. Відсутність цих даних знижує практичну цінність рекомендацій щодо цього методу.

Ще один недолік цього методу - завищені припуски та відсутність урахування конкретних умов проектування технологічних процесів для конкретних типів виробництва.

Цю методику рекомендовано застосовувати при визначенні припусків в індивідуальному та малосерійному виробництві.

8.2.2. Розрахунково-аналітичний.

Прагнення знайти шляхи підвищення ефективності металообробки, економії матеріальних, трудових та енергетичних ресурсів внаслідок обґрунтованого зменшення припусків та конкретизації умов обробки призвели до створення розрахункових методик, що базуються на диференційованому аналізі та

обліку лише тих факторів, що діють у даних конкретних умовах виробництва. Цей метод більш прогресивний, бо дозволяє змоделювати умови, близькі до тих, що мають місце на реальному виробництві.

Цей метод передбачає, що з аналізу різних умов обробки встановлено основні чинники, які визначають проміжний припуск. Так, мінімальний припуск на діаметр циліндричної поверхні обчислюється за такою формулою:

$$2Z_{\min i} = 2[(Rz + h)_{i-1} + |\rho_{i-1} + \varepsilon_i|], \quad (8.1)$$

де Rz_{i-1} - висота нерівностей на попередній обробці, мкм.

При виконанні першої операції механічної обробки необхідно видалити нерівності, що є на поверхні виливки, поковки, штамповки або прокату. За виконання другої операції необхідно видалити нерівності, що виникають після першої операції, тощо. Величину Rz визначають за таблицями довідників.

h_{i-1} - глибина поверхневого дефектного шару на попередній обробці (рис. 8.3), мкм.

Цей шар за своїми фізико-механічними властивостями відрізняється від основного металу, тому він повинен частково або повністю видалятися на переході, що виконується. Розмір h визначається за таблицями довідників.

ρ_{i-1} - сумарне значення просторових відхилень, що залишилися від попередньої обробки (векторна величина для циліндричних поверхонь), мкм.

До таких відхилень можна віднести: відхилення від співвісності зовнішньої та внутрішньої поверхонь втулок; відхилення від співвісності окремих щаблів базовим шийкам ступінчастого валу; відхилення від перпендикулярності торцевої поверхні валика до його вісі; відхилення від прямолінійності вісі валика; відхилення від паралелей та інші похибки у розташуванні оброблюваних поверхонь щодо базових. Значення величини ρ_i для заготовок визначається за довідниками.

Після обробки величина просторового відхилення стає меншою. Для її розрахунку можна величину просторового відхилення перед обробкою помно-

жити на коефіцієнт уточнення K_y (коефіцієнт залишкового жолоблення або коефіцієнт спадкової похибки внаслідок обмеженої жорсткості технологічної системи ВПЗІ)

$$\rho_i = K_y \cdot \rho_{\text{заг}} , \quad (8.2)$$

Для недостатньо жорсткої системи ВПЗІ $K_y = 0,1$; для системи ВПЗІ середньої жорсткості $K_y = 0,06$. При шліфуванні, коли сили різання невеликі через малу глибину різання, та із застосуванням 2÷3 проходів, що виходжують (проходів без радіальної подачі) $K_y = 0,02$.

ε_i - похибка установки заготовки на переході (векторна величина для циліндричних поверхонь), мкм.

Виникає вона через мінливість положення поверхні, що обробляється, при обробці партії деталей. Щоб компенсувати її, необхідно зняти шар металу.

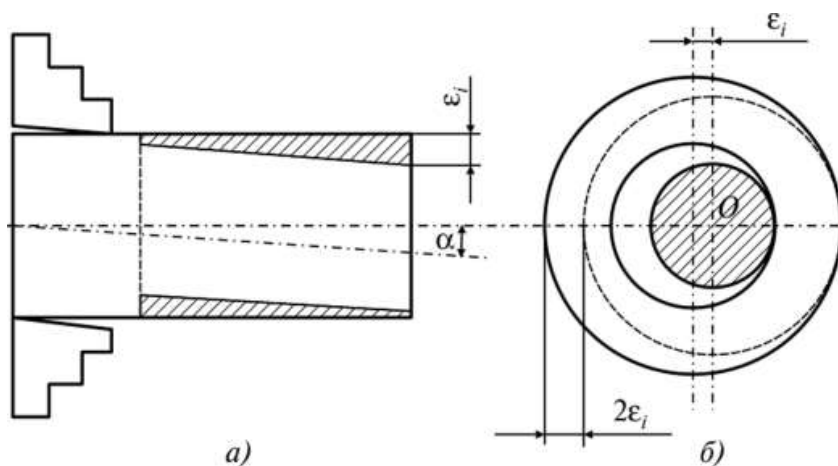


Рис. 8.4. Вплив похибки установки на величину припуску: *a* — обробка валика в патроні; *б* - обробка втулки по зовнішній поверхні з базуванням на оправці із зазором.

При обробці заготовок у пристрої похибка установки може бути викликана неточністю виготовлення опорних елементів пристрою або нерівномірною осадкою в місцях контакту цих елементів з опорною поверхнею деталі. Різна за величиною осадка також може бути викликана нерівномірністю затиських зусиль.

Похибка установки заготовки в пристосуваннях ε визначаємо з урахуванням похибок базування ε_6 , закріплення ε_3 , виготовлення та зносу опорних елементів пристосувань $\varepsilon_{пр}$. Оскільки зазначені похибки є випадковими величинами, то

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2}, \quad (8.5)$$

Похибка пристосування та зносу опорних елементів не пов'язана з процесом встановлення заготовок у пристосуваннях, тому її враховують при розгляді точності окремо. Тоді маємо:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \quad (8.6)$$

Також похибка закріплення як результат пружних відтискань елементів верстата та деформацій поверхневих шарів деталі приймається залежно від способу її встановлення (таблиця 8:1).

Таблиця 8.1. - Похибка закріплення заготовки від способу встановлення.

Спосіб встановлення	Радіальна похибка, мкм	Осьова похибка, мкм
На плаваючий передній центр	150	0
На задній центр, що обертається	80	200
На тверді центри	0	200
У трикулачковому патроні	200	80
У цанзі	90	80
На розтискній оправці	0	40
На гладкій оправці	0	10

Для інших способів напрямок похибки закріплення збігається з напрямком чинних сил та приймається:

для чорних поверхонь – 200мкм;

для попередньо оброблених - 100мкм;

для чисто оброблених - 40мкм;

для шліфованих базових поверхонь - 20мкм.

При обробці деталей з ковкого чавуну та недостатньо ретельній правці заготовок розрахункові припуски для першого технологічного переходу механічної обробки слід приймати з коефіцієнтом 1,3.

При розрахунку припуску під шліфування деталей безпосередньо після термообробки та правки приймають вигнутість $\rho_{i-1} = 80$ мкм на 1 мм довжини.

Нормативи дані стосовно різних верстатів мають значний розкид величини жорсткості: токарних 10000÷15000 Н/мм; круглошліфувальних 15000÷20000 Н/мм; горизонтально-фрезерних 10000÷15000 Н/мм; вертикально-фрезерних 20000÷30000 Н/мм; свердлильних 5000÷7000 Н/мм.

Похибка установки може бути відсутня ($\varepsilon = 0$) за таких умов обробки:

- безцентрове шліфування та обробка в центрах (радіального розміру поверхні);
- при базуванні на магнітній плиті та збігу настановної та вимірювальної баз;
- під час розрахунку припуску для односторонньої обробки;
- під час розгортання плаваючою розгорткою, протягування отворів, обкатування, суперфінішування та полірування.

При обробці зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання вектори ρ_{i-1} та ε_i можуть приймати будь-яке кутове положення, передбачати яке заздалегідь неможливо. Тому з метою отримання найбільш ймовірного сумарного значення додавання векторів слід проводити за правилом квадратного кореня:

$$[\|\rho_{i-1} + \varepsilon_i\|] = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (8.7)$$

Але при обробці плоских поверхонь приймають, що вектори спрямовані перпендикулярно площині, що обробляється, тому:

$$\mathbf{Z}_{imin} = [(\mathbf{Rz} + \mathbf{h})_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i], \quad (8.8)$$

У всіх випадках величина $(\rho_{i-1} + \varepsilon_i)$ визначає фактичне зміщення розташування поверхні заготовки в робочій зоні. При чому, враховуються як змі-

щення, яке отримано на попередньому переході виготовлення (на першому переході - це зміщення заготовки), так і зміщення ε_i при встановленні заготовки в робочій зоні. Очевидно, що таке ж зміщення отримують інші поверхні, в тому числі вимірювальна база. Тому ε_i враховують і в сумарній похибці розміру, що обробляється, і в припуску на обробку.

На підставі загальних формул можуть бути отримані окремі формули для конкретних випадків обробки. Наприклад, при обробці циліндричних деталей у центрах похибка установки приймається рівною нулю, і тоді:

$$2Z_{imin} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \rho_{i-1}], \quad (8.9)$$

При розрахунку мінімального припуску виключаються складові припуску, які не усуваються на переході, що виконується, наприклад, при протягуванні і розгортанні плаваючою розгорткою зсув і відведення осі отвору не усуваються, тому складова просторових відхилень виключається, тобто:

$$2Z_{imin} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \varepsilon_i], \quad (8.10)$$

При шліфуванні термічно обробленої поверхні необхідно зберегти поверхневий шар, у цьому випадку величина h_{i-1} виключається, тобто для плоскої поверхні:

$$Z_{imin} = [Rz_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i], \quad (8.11)$$

При суперфінішуванні або поліруванні, коли потрібно забезпечити лише шорсткість, величина мінімального припуску визначається:

$$2Z_{imin} = 2[Rz_{i-1} + 0,5T_i], \quad (8.12)$$

T_i – допуск на налаштування інструменту та його знос, мкм.

Оскільки прийнято, що спостерігається копіювання розмірів, маємо співвідношення:

$$D_{i-1min} - D_{imin} = 2Z_{imin} \quad (8.13)$$

де D - діаметр елементарної поверхні.

Після розрахунку $2Z_{imin}$ визначають

$$D_{i-1max} - D_{i-1min} = TD_{i-1} \quad (8.14)$$

де TD_{i-1} - допуск на розмір D .

Перевірку правильності обчислень проводять за формулою

$$D_{i-1max} - D_{imax} = D_{i-1min} - D_{imin} = TD_{i-1} - TD_i = 2Z_{imax} - 2Z_{imin} \quad (8.15)$$

причому:

$$2Z_{imax} = D_{i-1max} - D_{imax} \quad (8.16)$$

Відповідно до розрахунково-аналітичного методу розрахунковими є мінімальні (для зовнішніх поверхонь) та максимальні (для внутрішніх поверхонь) розміри. Усі значення факторів за цим методом визначені за статистичними дослідженнями та наведені у довідниках.

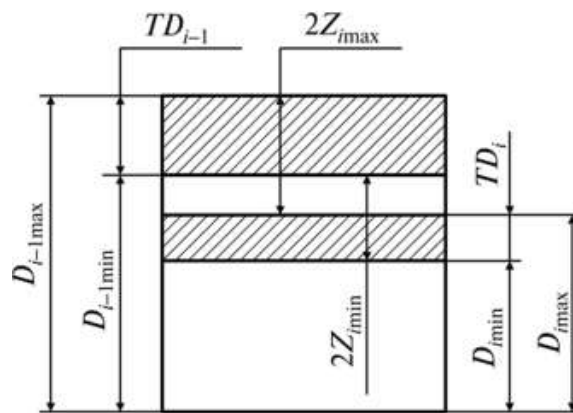


Рис. 8.5. Схема розрахунку Z_{min} за розрахунково-аналітичним методом визначення припусків.

У розрахунково-аналітичному методі загальний припуск:

$$Z_o = \sum_{i=1}^n Z_{imin}$$

З вищевикладеного вважатимуться, що основою розрахунків покладено метод максимуму-мінімуму.

У деяких джерелах для розрахунку проміжних розмірів і припусків як мінімальний припуск приймається розглянутий вище мінімальний припуск без допуску на поверхню деталі після виконання операції. А як максимальний мінімальний припуск підсумовується з допусками на поверхню на попередній та

поточній операції. У цьому випадку для розрахунку проміжних розмірів обробки A_i та A_{i-1} вводиться поняття номінального припуску $Z_{ном}$, що відповідає розглянутому вище мінімальному припуску (рис.8.6).

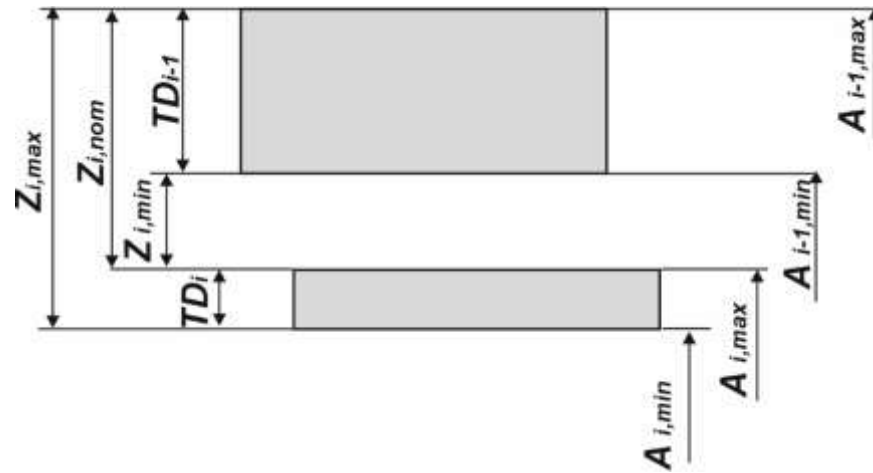


Рис. 8.6. Схема розташування допусків та припусків поверхні.

У цьому випадку загальний припуск

$$Z_o = \sum_{i=1}^n Z_{iном} ,$$

Складність формування бази визначення припусків розрахунково - аналітичним методом у тому, що наведені у довідниках показники є неповними і не дуже точними, тому що спостерігається розкид у рекомендованих значеннях з різних джерел. Крім того, частину параметрів системи ВПЗІ визначити досить важко. Наприклад, складно визначати сумарне значення просторових відхилень елементарної поверхні на попередньому переході. Емпіричні формули складені задля всіх випадків і є досить точними. До цих формул входить також податливість системи ВПЗІ, однак, податливість верстата залежить від моделі верстата та ступеня його зношеності. Тому точно врахувати ці фактори практично неможливо.

8.2.3. Ймовірно-статистичний.

Цей метод визначення припусків є розвиток розрахунково-аналітичного методу. Однак в основу дослідження факторів та розрахунку припусків та розмірів заготовок покладено ймовірнісний підхід, що теоретично більш виправдано і дає ближчий до практики результат. Як і раніше, статистичні методи використані для дослідження та узагальнення результатів виробничого експерименту за умов виробництва. На відміну від попереднього матеріалу, висновки містять не лише дані щодо факторів, що визначають припуски, а й значення середніх проміжних та загальних припусків для обумовлених у нормативних матеріалах умов (у тому числі щодо точності) виготовлення як заготовок, так і деталей. Це істотно уточнює зміст технологічного проектування та робить більш обґрунтованим визначення розмірів заготовки.

У процесі розрахунку припуску розробляють маршрутний, маршрутно-операційний та операційний опис технологічних процесів. У першому випадку відсутня чітка послідовність обробки поверхонь. Тому проміжні і загальні припуски не обчислюють, тобто не визначають точно розміри заготовки.

З використанням ймовірно-статистичного методу розроблено стандарти, в яких вказано значення *середніх* припусків. Це дозволяє призначати середні проміжні та загальні припуски з урахуванням геометричної точності заготовок та деталей, а також з урахуванням характеристики обладнання визначати набір переходів, необхідних для одержання із заготовки готової деталі з необхідною точністю поверхонь.

Середній проміжний припуск за ймовірно-статистичного методу визначається за формулою:

$$Z_i = (R + W_z + h)_{i-1} + 0.5 \sqrt{(T^2 R_{i-1} + T^2 R_i - 2p_{i,i-1}) T R_i + T^2 F_{i-1} + T^2 P_{i-1}}, \quad (8.14)$$

де, R - найбільша висота нерівностей, мкм;

W_z - найбільша хвилястість, мкм;

h - найбільша висота дефектного шару, мкм;

p_i - коефіцієнт кореляції (визначається експериментально), мкм;

F - величина відхилення форми в поздовжньому та поперечному перерізі, мкм;

P - величина відхилення розташування, мкм;

TR, TF, TP - величини допусків на попередньому переході і виконуваному, мкм.

У розрахунках слід враховувати ті відхилення форми, які охоплені допуском розміру. При визначенні W_z беруть до уваги всі усунення поверхні заготовки, що виникають як при встановленні заготовки в робочій зоні, так і при її виготовленні. Значення $p_{i,i-1}$ визначають експериментально, розрахунком чи за рекомендаціями. Хвилястість враховують тільки при чорновій обробці виливків, а її значення визначають за довідниками.

Середній розмір попереднього переходу обробки

$$\overline{R_{i-1}} = \overline{R_i} + \overline{Z_c} \quad (8.19)$$

При відомому допуску TR_{i-1} граничні розміри:

$$R_{i-1max,min} = R_{i-1} \pm 0,5TR_{i-1} \quad (8.20)$$

8.3. Розрахунок проміжних технологічних розмірів.

У зв'язку з обмеженою жорсткістю системи ВПЗІ, наявністю суттєвої сили різання при обробці і тому пружною деформацією системи ВПЗІ, неможливо відразу ж отримати необхідний розмір з високою точністю. Тому доводиться послідовно обробляти одну й ту саму поверхню по кілька разів, щоразу зменшуючи припуск на обробку та зменшуючи допуск на черговий технологічний розмір на $1 \div 3$ квалітети:

Заготовка → *початкова термічна обробка (відпал, відпустка, нормалізація, поліпшення)* → *обробка за 14 квалітетом (обдирка)* → *обробка за 11 квалітетом (чорнова обробка)* → *обробка за 9 квалітетом (напівчистова обробка)* → *обробка за 7 квалітетом (чистова обробка, як правило, шліфування попереднє)* → *термічна обробка (загартування, загартування з подальшою відпусткою)* → *обробка за 7 квалітетом (чистова обробка, як правило, шліфування чистове)* → *обробка по 6 квалітету (остаточна обробка,*

або тонка обробка, як правило, тонке шліфування або суперфінішування, або хонінгування).

У деяких випадках у дрібносерійному виробництві частина етапів обробки пропускається для зменшення собівартості виготовлення.

Наприклад:

Заготовка (14-16 квалітет) → обробка по 11 квалітету → обробка по 9 квалітету → термічна обробка → шліфування по 7 або 6 квалітету.

Недоліком такої схеми обробки є збільшення ймовірності появи браку через нестабільність дійсного припуску.

При розрахунку проміжних технологічних розмірів на готову поверхню, що має конструкторський розмір, послідовно «нашаровують» найменші припуски та допуски на технологічні розміри поверхні.

Розрахунок припусків на обробку починається з визначення за формулами мінімального припуску Z_{min} (при односторонній обробці) або $2Z_{min}$ (при обробці поверхонь обертання), видалення якого з поверхні, що обробляється, технічно необхідно для забезпечення заданої точності та експлуатаційних якостей деталі. На рисунку 8.7 наведено приклад схеми розрахунку припусків, проміжних технологічних розмірів та розмірів заготовки при обробці зовнішньої циліндричної поверхні з використанням 4-х технологічних переходів (чорнове точіння-чистове точіння-чорнове шліфування-чистове шліфування).

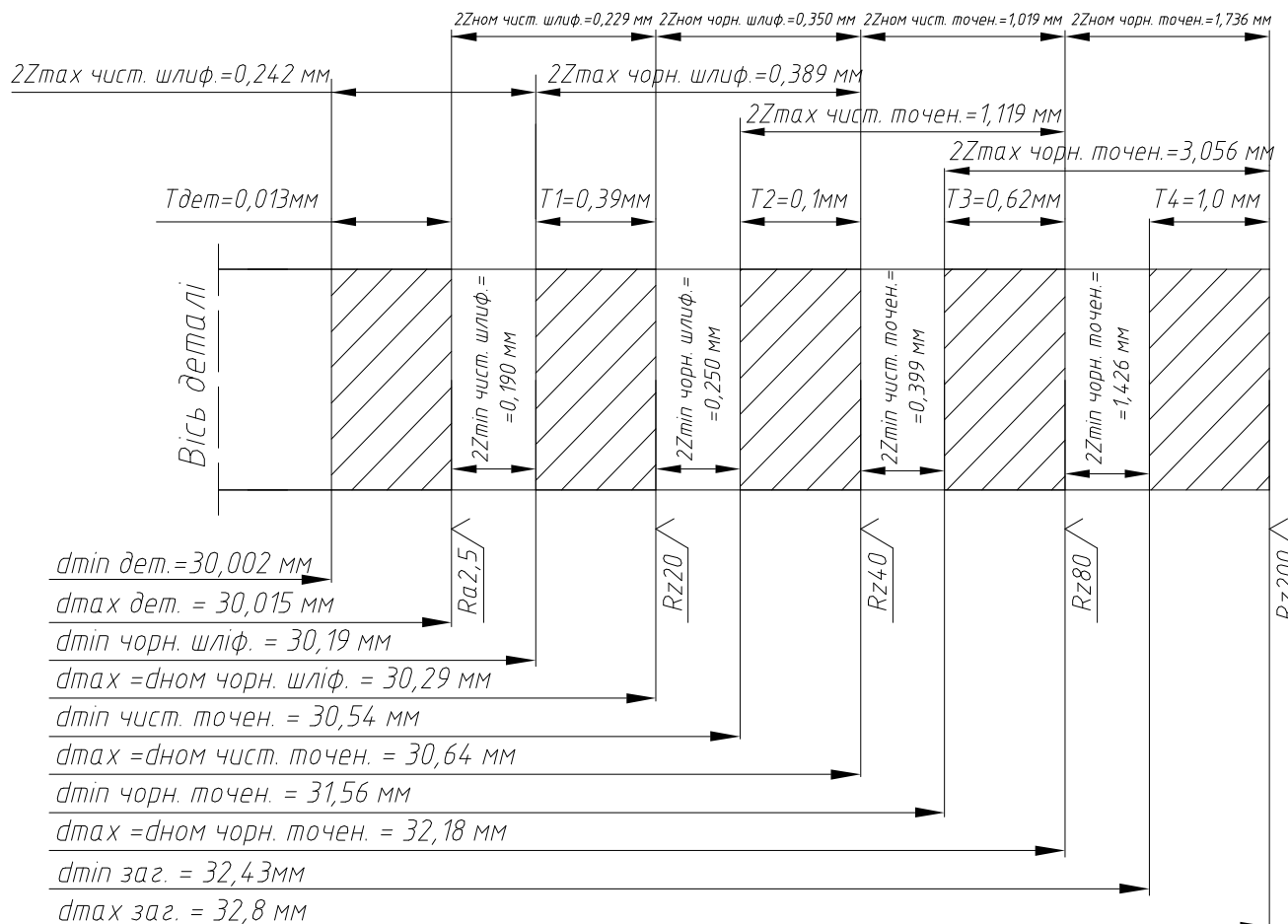


Рис. 8.7. Схема розрахунку припусків для обробки зовнішньої циліндричної поверхні.

Запитання для самоконтролю:

1. Що таке припуск, допуск та напуск?
2. Які бувають види припусків?
3. Що таке мінімальний, номінальний та максимальний припуск?
4. Які фактори впливають на величину припуску?
5. Як розраховується мінімальний припуск поверхонь обертання?
6. Як розраховується мінімальний припуск односторонньої обробки?
7. Як впливають просторові відхилення заготовки на величину припуску?
8. Як впливає похибка установки заготовки на величину припуску?
9. Як розраховуються проміжні розміри заготовки?

9. Призначення маршруту обробки

9.1. Методи обробки заготовок у машинобудуванні.

Варіантів та методів обробки заготовок досить багато. Одні з них мають на увазі застосування складного обладнання, інші - неможливі без температурного впливу на заготовку. Метал ріжуть лазером, плазмою, обробляють на верстатах зі зняттям і без зняття стружки, впливають електроімпульсами або хімічними речовинами (рис. 9.1). Найбільш затребуваним і широко застосовуваним методом вважається механічна обробка матеріалу, яка представлена в декількох варіантах виконання.

На відміну від інших способів обробки матеріалу, механічний метод не змінює структуру сировини, дозволяючи обмежитися лише зміною фізичних розмірів заготовки. У процесі роботи деталь «підганяють» під задані кресленням параметри. З цією метою використовують різні ріжучі інструменти, пристрої, спеціальні верстати. Обробка може мати на увазі зняття частини матеріалу або зміну параметрів заготовки без зняття матеріалу. Зняття матеріалу може виконуватися з використанням лезового або різального інструменту зі зв'язаним або вільним абразивом. Без зняття шару матеріалу, за рахунок пластичного деформування, може формуватися необхідний профіль та розміри поверхні або зміцнюватися поверхневий шар та згладжування нерівностей. Формування необхідних характеристик поверхні також може виконуватися за рахунок використання фізичних (нагрівання під дією електричного струму або променю лазера, коливання абразиву за рахунок ультразвукових хвиль) та хімічних (розчинення в електроліті) явищ або їх різних комбінацій між собою та з методами механічної обробки.

Дуже часто для отримання оптимального результату заготовка піддається не одному, а кільком послідовним видам впливу з метою досягнення параметрів, які задані кресленням деталі або зазначені в технічних вимогах до деталі.

Вибір конкретного маршруту обробки деталі на підставі зазначених вище методів дозволяє вирішити основне завдання технології машинобудування, яке було сформульовано раніше.

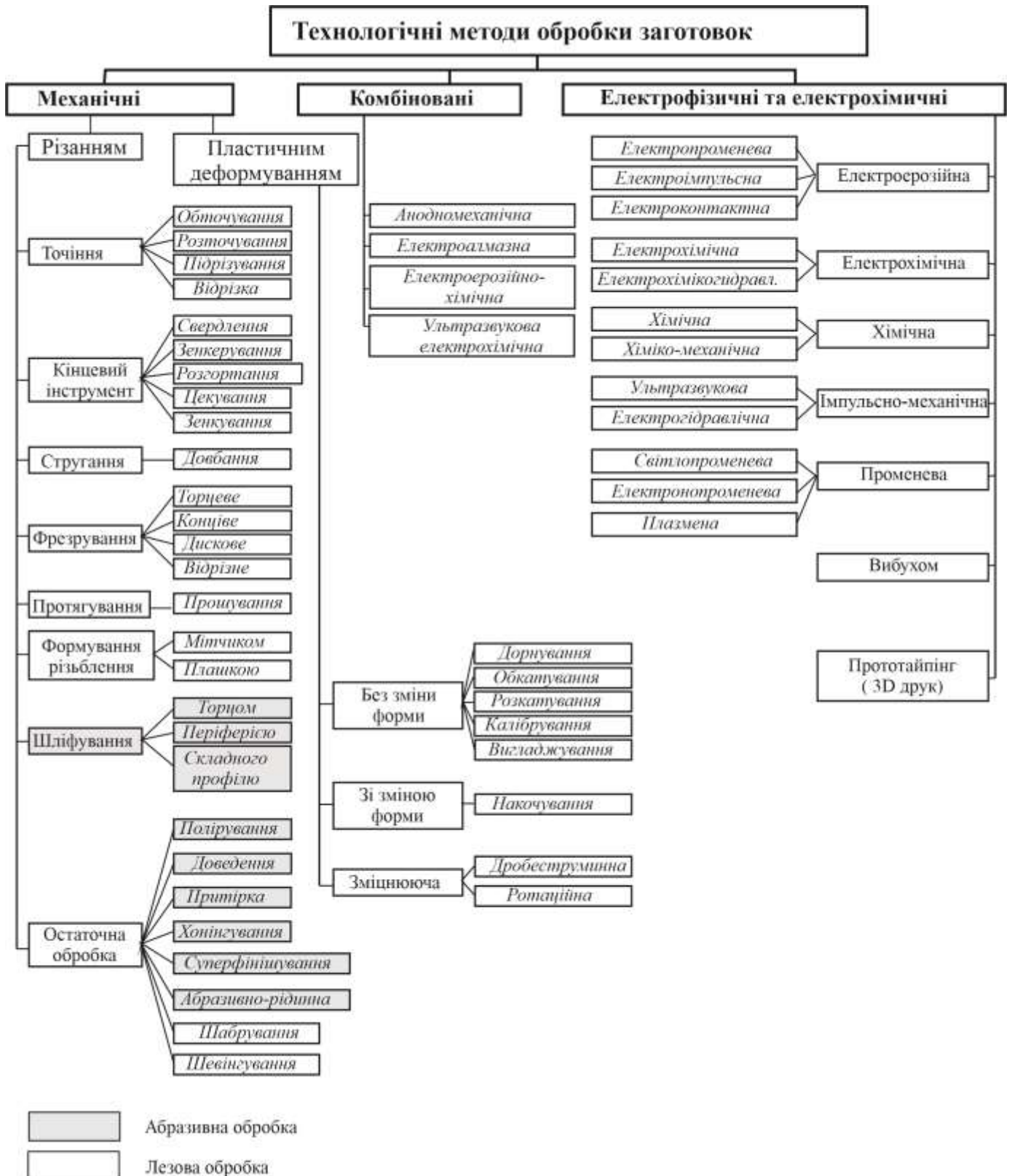


Рис. 9.1. Технологічні методи обробки заготовок.

9.2. Концепція маршруту обробки поверхонь.

Одним із найважливіших етапів технологічної підготовки виробництва є призначення плану (маршруту) обробки поверхонь (МОП), на підставі якого надалі формується повний маршрут обробки деталі (МОД) та технологічні операції.

По заданим кресленням квалітетам точності та шорсткості поверхонь деталі (з урахуванням її розміру, ваги та конфігурації) вибирають один або кілька можливих методів обробки, а також тип відповідного обладнання. Розв'язання цього завдання полегшується під час використання технологічних характеристик методів обробки (рис.9.2).

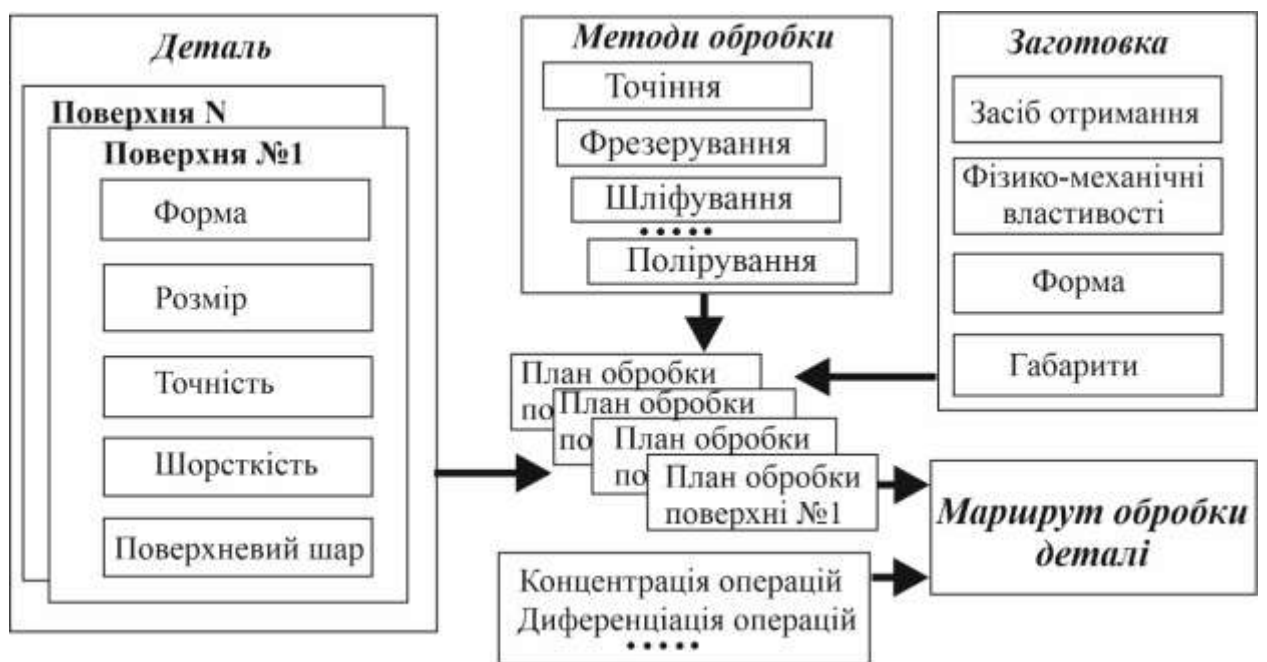


Рис. 9.2. Чинники, що впливають на призначення МОП.

При виборі МОП дуже багато визначається параметрами заготовки; наприклад, при отриманні точних заготовок можливе здійснення чистової обробки, минаючи стадію чорнової обробки. Залежно від марки матеріалу та її хіміко-механічних властивостей ті чи інші види обробки не можна використовувати (наприклад, шліфувати м'який матеріал). З іншого боку, на формування МОП

впливають характеристики оброблюваної поверхні. Наприклад, формування циліндричного отвору в суцільному матеріалі можливе лише свердлінням (за винятком спеціальних методів обробки, які значно дорожче та використовуються для обмеженого переліку поверхонь).

Число варіантів можна значно скоротити з урахуванням низки практичних міркувань. До них можна віднести:

1. Якщо обробляються кольорові метали та сплави, то абразивні методи (шліфування, хонінгування, суперфінішування), як правило, не використовуються.

2. При діаметрі отвору $D < 4\text{мм}$ розточування точно виключається, а в більшості випадків розточування не використовується і при $D < 8\text{мм}$, при $L/D < 1$ (L – довжина отвору) розгортання недоцільно.

3. На етапі напівчистої обробки зняття припуску лезовою обробкою (точіння, фрезерування, свердління, тощо) порівняно з абразивною вимагає меншого числа ходів, тому недоцільно використовувати шліфування.

4. Якщо матеріал має твердість $HRC > 40$, рекомендується використовувати абразивну обробку (для сучасної високошвидкісної обробки спеціальним лезовим інструментом це обмеження може не застосовуватися, однак потрібно мати спеціальне обладнання та інструмент).

5. З метою зниження похибки обробки та часу на перевстановлення заготовки доцільно застосовувати операції обробки на одному верстаті за кілька переходів, можливо, зі зміною інструменту.

6. Жорсткість і конфігурація заготовки обмежують застосування деяких варіантів обробки через значні відхилення оброблюваної поверхні під дією сили різання, а також через складності підведення/виходу ріжучого інструменту.

7. Необхідність обробки однієї поверхні спільно з іншими для досягнення більшої точності їх взаємного розташування може визначати методи обробки для кожної з цих поверхонь.

Як критерії при виборі оптимального МОП використовуються різні показники. Найчастіше оцінка оптимальності варіанта МОП здійснюється з використанням:

- 1) мінімального загального припуску для всіх вибраних стадій обробки;
- 2) мінімальної трудомісткості варіанта маршруту за сумарним основним часом обробки.
- 3) мінімальної сумарної собівартості обробки всіх обраних стадій.

Так, наприклад, для варіантів обробки отвору $\phi 10H9$ в дрібносерійному виробництві, які представлено на рис. 9.3, відповідно до критерію мінімальної собівартості найбільш ефективним є варіант свердління-зенкерування-розгортання, тому що всі операції виконуються на одному верстаті, не потрібно виготовляти спеціальний інструмент.

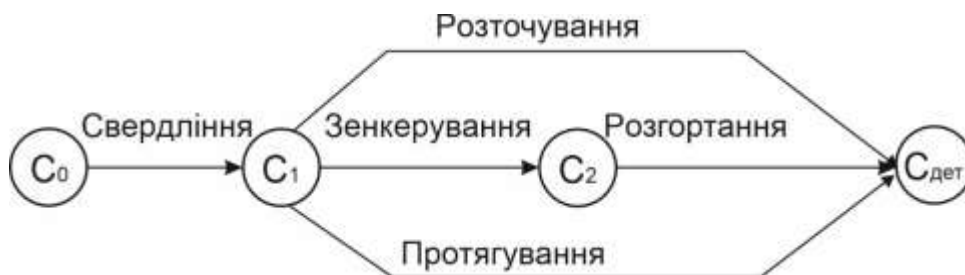


Рис. 9.3. Різні варіанти формування отвору: C_0 - стан заготовки; C_1 – після першої операції; C_2 – після другої операції; $C_{дет}$ - стан деталі.

Однак, на ранніх стадіях проектування технології неможливо повністю розрахувати економічні критерії (невідоме обладнання, інструмент, пристосування та ін.). Тому для формування МОП багато рішень приймаються суб'єктивно виходячи з досвіду технолога чи рекомендацій довідкової літератури щодо призначення маршруту обробки за середньої економічної точності. Більш точно маршрут вибирається при порівнянні сумарної собівартості обробки всієї деталі. Для оптимізації у процесі проектування МОД застосовуються математичні методи повного чи спрямованого перебору.

Знаючи метод отримання заготовки, квалітет точності та шорсткість досліджуваної поверхні, вирішується питання визначення мінімальної кількості технологічних переходів, що забезпечують необхідну кресленням точність та вибір маршруту обробки.

Приблизну кількість технологічних переходів можна визначити, розраховавши загальний коефіцієнт уточнення ϵ_0 , а остаточне - при розрахунку припусків на механічну обробку.

Загальний коефіцієнт уточнення розміру обчислюється за формулою

$$\epsilon_0 = \frac{T_3}{T_d} \quad (9.1)$$

де T_3 - допуск розміру заготовки, мм; T_d - допуск розміру деталі за кресленням, мм.

Для визначення загального коефіцієнта уточнення розміру необхідно задатися допуском розміру або взаємного розташування поверхні, що розглядається, по відношенню до інших поверхонь. Цей допуск визначається методом отримання заготовки (лиття, обробка тиском та ін.). Метод отримання заготовки визначається її матеріалом та конфігурацією (чавун – лиття; конструкційні сталі – лиття, методи обробки тиском; тощо).

Далі, знаючи загальний коефіцієнт уточнення, визначаємо кількість технологічних переходів за емпіричною формулою

$$m_{\text{ТП}} = \frac{\lg \epsilon_0}{0,46} \quad (9.2)$$

де ϵ_0 - коефіцієнт уточнення.

Як приклад розрахунку розглянемо випадок розрахунку кількості переходів отримання поверхні, який наведено на рисунку 8.7. Допуск поверхні діаметра 30мм на заготовці $T_3=1000$ мкм, допуск поверхні готової деталі $T_d=13$ мкм.

$$\epsilon_0 = \frac{1000}{13} = 76,9$$

Тоді,

$$m_{\text{ТП}} = \frac{\lg 76,9}{0,46} = 4,09$$

Тобто необхідно виконати чотири переходи (після округлення розрахунку). Дані збігаються.

Тепер, знаючи кількість технологічних переходів та використовуючи наведену методику визначення загального коефіцієнта уточнення, можна визначити коефіцієнт уточнення кожного технологічного переходу:

$$\varepsilon_i = \frac{T_{i-1}}{T_i} \quad (9.3)$$

де T_{i-1} - допуск розміру поверхні на попередньому переході, мм; T_i - допуск розміру поверхні на переході, що виконується, мм.

Користуючись даними таблиці та залежно від геометрії оброблюваної поверхні, вибирається метод обробки. Для цього методу обробки визначається T_{i-1} (допуск розміру поверхні на попередньому переході), керуючись тим, що кожен технологічний перехід покращує параметр якості поверхні: для чорнових - на 2÷3 квалітети (у дуже поодиноких випадках 4 квалітети), для чистових - на 1÷2 квалітети.

При цьому добуток коефіцієнтів уточнення по кожному технологічному переходу повинен дорівнювати загальному коефіцієнту уточнення:

$$\varepsilon_0 = \prod_{i=1}^m \varepsilon_i$$

де m - кількість переходів для поверхні, що розглядається.

Інакше кажучи, математично підтверджується рівність точності необхідної за кресленням і той, що забезпечується технологічним процесом наміченої обробки.

Якщо $\varepsilon_0 < \Pi\varepsilon$, то намічений технологічний процес обробки поверхні забезпечує точність, що перевищує вимоги креслення, і, як наслідок, невиправдано високу собівартість її отримання.

Якщо $\varepsilon_0 > \Pi\varepsilon$, то намічений технологічний процес обробки поверхні не забезпечує точність, що вимагає креслення. У цьому випадку необхідно перерахувати кількість технологічних переходів у сторону збільшення або застосувати

точніші методи обробки. Після коригування технологічного процесу обробки поверхні, необхідно повторно провести розрахунки коефіцієнтів уточнення.

Таким чином, на підставі сформованої кількості переходів для отримання заданої поверхні та визначивши завершальний і перший метод обробки поверхні, можна встановити проміжні методи. При цьому виходять із того, що кожному методу остаточної обробки передуює один або кілька можливих попередніх (менш точних) методів. Так, чистового розгортання отвору передуює попереднє, а до попереднього розгортання - чистове зенкерування або свердління.

При побудові маршруту виходять з того, що кожен наступний метод має бути точнішим за попередній. Технологічний допуск на проміжний розмір і якість поверхні, які отримані на попередньому етапі обробки, повинні знаходитися в тих межах, при яких можливе нормальне використання наступного методу обробки, що намічається. Після чорнового розточування не можна, наприклад, застосовувати чистове розгортання, оскільки для усунення всіх похибок попередньої обробки зуби розгортки працювали б з неприпустимо великою глибиною різання.

Таким чином, вибір маршруту обробки поверхні на наступних етапах проектування пов'язаний із встановленням кількості технологічних переходів та припусків на цю поверхню.

9.3. Методи призначення маршруту обробки.

У машинобудівній практиці існують загальні правила формування маршруту обробки поверхні, які полягають у наступному:

1. Кожна подальша обробка поверхні є більш точної, ніж попередня.
2. Вся послідовність обробки поверхні поділяється на такі етапи: чорнова, напівчистова, чистова та остаточна.
3. При призначенні МОП необхідно використовувати повторюваність видів обробки, що априорі веде до зменшення витрат на обладнання, використання тих самих пристроїв, скорочує кількість переустановок заготовки.

При проектуванні технологічних процесів використовуються різні методи призначення МОП. Розглянемо найхарактерніші.

9.3.1. Аналітичний метод.

Аналітичний підхід визначення МОП спрямовано на перегляд можливих варіантів і розрахунок параметрів обробки.

У процесі формування критеріїв оцінки цього варіанта використовують різні методики. Одна з них розроблена у НТУ «ХПІ». В основу цієї методики покладено постулат у тому, що параметри точності та якості деталі, а також характеристик методів обробки утворюють єдину певну систему координат (рис.9.4). У цьому випадку у запропонованій системі координат необхідно забезпечити відповідність методів обробки та параметрів поверхні на всіх етапах її формування. Причому кожен метод обробки, який може використовуватися на даному підприємстві, описується обмеженою безліччю варіантів точності і якості поверхні, що досягаються.

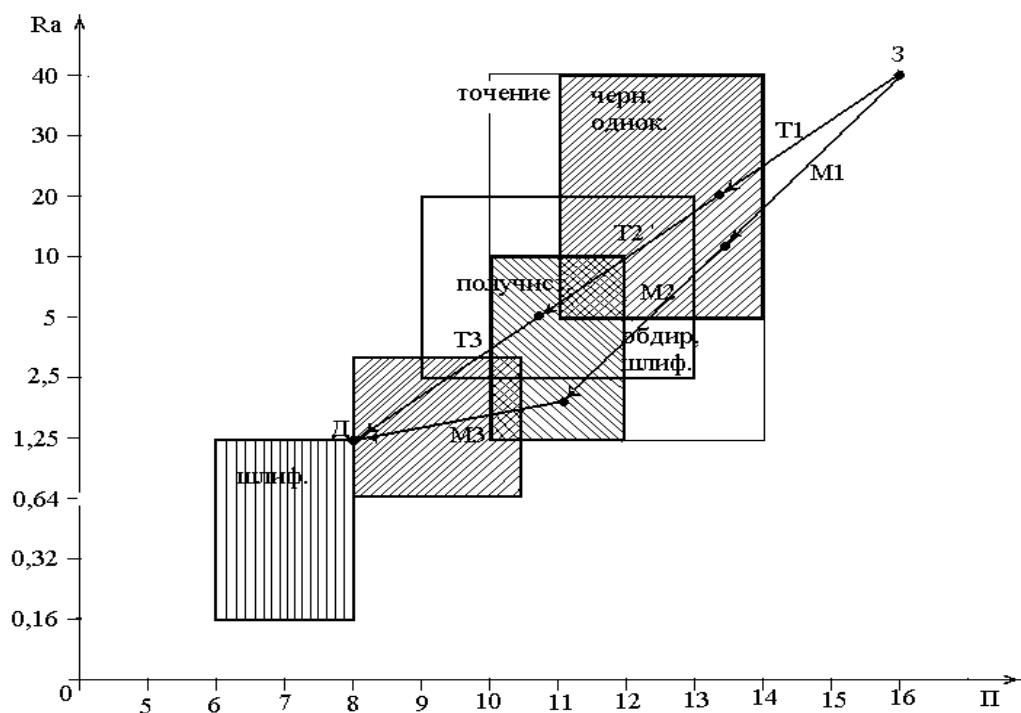


Рис. 9.4. Система координат аналітичного методу призначення маршруту обробки поверхонь.

Порядок аналітичного розрахунку.

1. Спочатку в прийнятій системі координат встановлюються параметри точності та шорсткості поверхонь заготовки та реальної поверхні, яку необхідно отримати.

2. З форми поверхні та її розмірів вибираються можливі види формоутворення (МОП).

3. До кожного виду формоутворення формується зона можливих характеристик точності та шорсткості. У загальному випадку ця зона є нечіткою безліччю, межі якої визначаються характеристикою устаткування, ріжучого інструменту, тощо. Якщо ці показники відомі для конкретного підприємства, всі вони й приймаються у розрахунках; якщо невідомі, то у розрахунках застосовуються гарантовані для прийнятого методу з довідників.

4. Будуються вектори, що забезпечують перехід характеристик поверхні із заготовки до поверхні деталі в остаточному вигляді через центри зон варіантів методів обробки.

5. Визначається сумарні вектори на підставі вибраних критеріїв. Вектор, який має мінімальну довжину, забезпечує оптимальний маршрут обробки поверхні.

Недоліком даного методу є складність в розрахунках взаємного впливу поверхонь, що сполучаються, а також похибки системи приведення різних методів обробки при розрахунках.

9.3.2. Табличний метод.

Цей метод передбачає використання таблиць середньої економічної точності обробки різних поверхонь з досвіду проектування технологічних процесів передових машинобудівних підприємств та використання напрацювань науково-дослідних інститутів, пов'язаних з аналізом технології машинобудування.

Інформація про МОП береться на підставі характеристик поверхні деталі, яку можна отримати з довідкових таблиць, при цьому параметри заготовки накладають додаткові обмеження на послідовність, що вибирається.

Таблиці мають певний вид, що характеризує МОП залежно від двох показників, точності та шорсткості одержуваної поверхні.

Наприклад, для отримання отвору в суцільному матеріалі таблиця має такий вигляд (табл.9.1).

Таблиця 9.1. - Методи формування параметрів точності та шорсткості отворів на підставі середньої економічної точності.

Види обробки	ЛТ	Ra, мкм
Свердління	14	10
Свердління Зенкерування	12	2,5
Свердління Розточування	12	1,25

На початку вибираються відповідні варіанти. З цих варіантів на підставі досвіду технологів, фізико-технічних властивостей матеріалу, що оброблюється, типу виробництва вибирається найбільш раціональний варіант. Подальший розвиток цей метод отримав під час створення типових маршрутів обробки поверхонь деталі загалом, що використовується у практиці автоматизованого проектування технологічних процесів. Обидва методи відображають той самий процес вибору допустимого виду обробки з безлічі можливих. У главі 10 наведено таблиці методів формоутворення різних поверхонь на підставі середньої економічної точності обробки.

З сформованого маршруту обробки поверхонь формується загальний маршрут обробки деталі (МОД). При цьому необхідно використовувати теж самі правила, як і для формування МОП.

Оскільки виконавчі поверхні деталі мають найвищу точність і мінімальну шорсткість, то природно, що чистовою або остаточною обробкою цих поверхонь повинен закінчуватися маршрут обробки всієї деталі в цілому. Обробка тих поверхонь, точність і шорсткість яких нижче ніж у виконавчих, закінчується на більш ранніх етапах, наприклад, на етапі напівчистої, або навіть чорнової обробки, деякі поверхні зовсім не обробляються.

На рисунку 9.5 запропоновано схему поетапної обробки порожнистого валу з прутка в одиничному виробництві, у якого більш високі вимоги до внутрішнього отвору по відношенню до інших поверхонь, що обробляються.



Рис. 9.5. Схема етапів обробки порожнистого валу.

Формування поверхонь 1 та 3 представлено *заготівельною операцією – відрізка заготовки – точіння торця*. Формування зовнішньої циліндричної поверхні 2 здійснюється чорновим та напівчистовим точінням. Центральний отвір формується за рахунок комбінації операцій *свердління (заготівельна) – зенкерування чорнове – зенкерування чистове – розгортання*.

Поділяючи технологічний процес на етапи, досягають ряд наступних позитивних моментів:

- чорнова обробка може виконуватися на спеціально виділеному зношеному чи неточному обладнанні робітниками нижчої кваліфікації.
- розрив у часі між чорнковою та остаточною обробками дозволяє більш повно виявитися деформаціям до їх усунення на останньому етапі обробки.
- винесенням остаточної обробки в кінець маршруту зменшується ризик випадкового пошкодження оброблених поверхонь.

Зрозуміло, від цього основного правила побудови МОД можуть бути деякі відступи. Так, наприклад, в кінець маршруту часто виносять обробку поверхонь, що легко ушкоджуються (зовнішніх різьблень та ін.).

Для жорстких деталей досить часто, з метою виявлення внутрішніх дефектів на ранніх стадіях обробки, призначають чистову обробку відразу після чорнової. Так роблять при обробці плоских поверхонь на карусельно- і барабанно-фрезерних верстатах. У цьому випадку досягається вищий рівень концентрації обробки, зменшується кількість установ деталей і скорочуються витрати на механічну обробку тих деталей, які згодом можуть виявитися бракованими через внутрішні дефекти.

Якщо деталь піддається термічній обробці, технологічний маршрут механічної обробки розчленовують на кілька частин. Термічна обробка, як відомо, вносить похибки у форму заготовки, взаємне розташування поверхонь і погіршує шорсткість. Для усунення цих дефектів іноді в МОД доводиться вносити операцію корегування або повторну обробку окремих поверхонь. Крім того, термічна обробка часто пов'язана з введенням в МОД деяких специфічних операцій, таких як зменшення ділянок, що не цементуються, та ін.

Переносити механічну обробку з однієї частини технологічного процесу до іншої з метою інтеграції та концентрації операцій необхідно дуже обережно. Наприклад, не слід поєднувати операції, які зазвичай виконуються після відпалу або природного старіння, з операціями, які виконують до термообробки. Зайва концентрація операцій механічної обробки може призвести до деформації та браку деталей. Багато в чому концентрація операцій залежить від досвіду технолога і обладнання, що використовується в подальшому для формування поверхні.

При розробці технологічних процесів необхідно планувати операції технічного контролю, які вводяться в МОД після тих операцій, де можлива поява браку, перед складними та дорогими операціями, а також наприкінці обробки. На решті операцій (їх має бути більшість) необхідно планувати вибіркового контролю. Попереднє зміст операцій встановлюють об'єднанням однойменних переходів, що належать різним поверхням заготовки, користуючись при цьому раніше наміченими маршрутами обробки поверхонь. Особливого значення тут набуває вибір раціональної схеми обробки на кожній операції.

9.4. Раціональна послідовність обробки деталі.

Для визначення МОД можна використовувати одну з укрупнених типових схем раціональної послідовності етапів обробки заготовок, яка узагальнює багаторічний досвід різних галузей машинобудування та представлена у таблиці 9.2. Як очевидно з таблиці, передусім обробляють чистові технологічні бази, потім - інші поверхні порядку сходження від початкової точності поверхонь заготовки до тієї, що потрібно за кресленнями деталі. Найбільш високі квалітети точності мають виконавчі поверхні, за допомогою яких деталей виконує своє службове призначення. Таким чином, побудова маршруту обробки деталей має бути підпорядкована одному з головних принципів – *забезпеченню службового призначення деталі*. Тому значний вплив на послідовність операцій технологічного процесу надає прийнятий технологічний маршрут обробки виконавчих поверхонь деталей.

Наведені в таблиці етапи не є обов'язковими для всіх технологічних процесів, оскільки далеко не всі деталі вимагають термічної обробки, покриттів та оздоблювальних операцій. Для прецизійних заготовок може не бути чорнових, напівчистових і навіть чистових етапів обробки. Технологічний маршрут обробки таких заготовок будується з пропуском тих етапів, у яких не було потреби.

Приклад розробки маршруту обробки поверхонь для конкретної деталі наведено в Додатку 2.

Таблиця. 9.2 - Типова послідовність етапів обробки заготовок.

Етап	Назва	Зміст етапів та вихідні параметри
E1	Попередній I	Обробка поверхонь, які будуть використовуватись як технологічні бази на наступних етапах
E2	Попередній II	Чорнова обробка виконавчих поверхонь та поверхонь, що не передбачають наявності дефектів. Точність розмірів JT12-JT14, форми та розташування X-ХП ступеня, Rz=10 - 20мкм, Ra=,5 - 5мкм
EC	Термічний I	Термообробка для зняття внутрішньої напруги I та II роду
E4	Отриманий	Правка баз та напівчистова обробка поверхонь. Точність розмірів JT10-JT12, форми та розташування VIII - IX ступеня, Rz=6,3 - 10мкм, Ra=1,25 ÷ 2,5мкм
E5	Термічний II	Термообробка для покращення якості поверхневих шарів матеріалу
E6	Чистовий	Виправлення технологічних баз та чистова обробка поверхонь. Точність розмірів JT8÷JT9, форма та розташування VI÷ VII ступеня, Rz=3,2÷6,3мкм, Ra=0,63÷1,25мкм
E7	Додатковий	Виконання другорядних операцій (свердління отворів кріплення, зняття фасок, прорізування канавок), обробка поверхонь, які легко ушкоджуються (наприклад, нарізка різьблення)
E8	Гальванічний	Хромування, нікелювання та інші.
E9	Остаточний	Остаточна обробка виконавчих та базових поверхонь. Точність розмірів JT5÷JT7, форми та розташування IV-V ступеня, Rz=0,8÷1,6мкм, Ra=0,16÷0,32мкм
E10	Контрольний	Остаточний контроль, випробування

Запитання для самоконтролю:

- 1. Як визначається маршрут обробки поверхні?*
- 2. Які поверхні називають елементарними?*
- 3. Від яких чинників залежить кількість етапів обробки поверхні?*
- 4. При вирішенні яких завдань потрібно знати МОП?*
- 5. Які математичні методи використовуються для подання МОП?*
- 6. Які критерії використовуються для вибору оптимального МОП?*
- 7. Який метод можна використовувати для вибору оптимального МОП?*
- 8. На чому ґрунтується табличний метод призначення МОП?*
- 9. У чому полягають переваги та недоліки табличного методу призначення МОП?*
- 10. Які чинники впливають на призначення МОП і як?*
- 11. Які загальні правила формування маршруту обробки поверхні?*
- 12. Який порядок аналітичного розрахунку МОП?*
- 13. Якою є типова послідовність етапів обробки заготовок?*

10. Обробка матеріалів різанням

10.1. Основи обробки матеріалів різанням.

Як зазначалося вище, розвиток машинобудування висуває дедалі жорсткіші вимоги до точності і якості поверхонь деталей машин задля забезпечення функціонального призначення і конкурентоспроможності виробу. Найефективнішим із усіх розглянутих способів технологічного впливу (див. рис.1.5) які дозволяють забезпечити необхідні високі показники якості поверхонь деталей виробу, є механічна обробка різанням.

Різання металів являє собою такий вид формоутворення, при якому поверхні деталі формуються методом видалення із заготовки припуску шляхом пластичного деформування та подальшого зрізання його в результаті рухів ріжучої кромки інструменту та заготовки щодо один одного. Під дією сили, прикладеної до ріжучого клину, шар металу, що зрізається, стискається. Процес стиснення, як і процес розтягування, супроводжується пружними та пластичними деформаціями. У міру зростання пластичної деформації, підвищуються напруги в шарі, що зрізається, і коли останні досягають величини, що перевищує межу міцності металу, відбувається зсув (сколювання) і відділення частинки металу, або, як кажуть, елемента стружки. Після сколювання першого елемента стружки починається стиск і деформування наступного, так само, як і першого, поки напруги в ньому не досягнуть величини, що перевищує межу міцності металу по другій площині зсуву (сколювання) паралельно першій, після цього відбудеться відділення нового елемента стружки. Тобто *різання є процес керованого руйнування (відділення) матеріалу* припуску та формоутворення нової поверхні деталі. Домінуючим чинником при цьому є пластичне деформування разом із складним комплексом явищ – механічних, фізичних, хімічних, теплових, тощо.

Формоутворення різанням проти інших методів забезпечує найбільшу розмірну точність і найменшу шорсткість оброблених поверхонь. Крім того, різання відрізняється низькою енергоємністю: якщо прийняти за одиницю робіт, що витрачається на зняття 1 кг припуску за допомогою різання, то для кування вона буде вдесятеро, а для електрофізичної та електрохімічної обробки — у сто разів більша.

Обробка різанням здійснюється за рахунок впровадження ріжучого клину інструменту у матеріал та відділення деформованого шару у вигляді стружки. Розрізняють два основні види обробки різанням: лезова та абразивна обробка.

Лезова обробка проводиться інструментом, який має один або кілька різальних лез (ріжучих клинів) заданої форми та розміру для проникнення в матеріал заготовки та відділення стружки (деформованого та відокремленого в результаті механічного впливу поверхневого шару заготовки). Форма різальних лез, утворена певними поверхнями, залежить від геометричних параметрів різальної частини інструменту та безпосередньо впливає на умови різання. Звичай геометрія ріжучого клину формується набором поверхонь (передня, головна задня, допоміжна задня та ін.), які на перетині формують відповідні ріжучі кромки (головну ріжучу кромку, допоміжну ріжучу кромку). Поверхні розташовуються одна щодо одної під певними кутами, які забезпечують необхідні характеристики процесу різання для різних умов обробки.

Абразивна обробка виконується інструментом, який, на відміну від лезового інструменту, має безліч різальних кромок довільного профілю, розташованих хаотично. В цьому випадку оброблена поверхня являє собою сукупність мікрослідів впливу поодиноких абразивних зерен. Абразивна обробка може виконуватися інструментом зі зв'язаним абразивом (шліфування, хонінгування, суперфінішування та ін.) та з вільним абразивом (полірування, притирання). Найбільш поширена обробка інструментом зі зв'язаним абразивом.

У випадку виконання обробки інструментом зі зв'язаним абразивом одичне зерно може:

- розташовуватися на певній відстані від поверхні, що обробляється;

- ковзати по обробленій поверхні (ковзаючи зерна створюють додаткове тертя);

- проникати в оброблену поверхню на невелику глибину і лише пластичне деформувати матеріал заготовки (деформуючі зерна створюють додатковий опір різанню на пружну та пластичну деформацію поверхневого шару);

- проникати в оброблену поверхню на достатню глибину для зняття стружки (ріжучі зерна).

Ковзаючи та деформуючі зерна забезпечують додаткове нагрівання поверхні різання, що може призвести до перетворень кристалічної структури обробленої поверхні (припали).

У процесі шліфування різальні властивості кола змінюються. Абразивні зерна затупляються, частково розколюються, кришаться, пори між зернами забиваються відходами шліфування. Поверхня кола втрачає свою первісну форму. Зростають сила та температура різання. Точність обробки знижується, збільшується ймовірність припалів. Однак при виламуванні зерен, що затупилися, на поверхні кола оголюються нові, незатуплені, зерна, тобто коло частково самозаточується. У цьому сенсі дуже важливою є роль зв'язки (речовини, що закріплюють зерна). При слабкому закріпленні зерен вони швидше виламуються, коло краще самозаточується, що зручно при чорновому шліфуванні, але робоча поверхня кола швидко втрачає свою форму. При міцному закріпленні зерен коло швидко втрачає свої ріжучі властивості, але робоча поверхня добре зберігається, що зручно при чистовому шліфуванні.

Для відновлення геометрії кола та його ріжучих властивостей проводять правка кола: алмазним або абразивним інструментом знімають частину робочої поверхні кола. Товщина шару, що видаляється зазвичай не перевищує 0,01÷0,03 мм.

Задля забезпечення процесу різання необхідно виконати узгодження руху інструменту і заготовки, тобто, головного руху та руху подачі, що дозволяє обробляти на металорізальних верстатах поверхні різної, досить складної конфігурації.

Головний рух різання забезпечує відділення стружки із заготовки із найбільшою швидкістю. Для різних способів формоутворення головним рухом може бути прямолінійне переміщення (довбальні, стругальні верстати) або обертання шпинделя інструменту (фрезерні, токарні, шліфувальні верстати).

Рух подачі дозволяє підвести під ріжучу кромку різального інструменту нові ділянки заготовки і тим самим забезпечити зняття стружки з поверхні, що обробляється. Так само, як і головний рух, рух подачі може бути прямолінійним, поступальним або обертальним рухом ріжучого інструменту або заготовки, але швидкість цього руху менша за швидкість головного руху різання.

Комбінація цих рухів реалізує геометричний принцип формування поверхні – це рух формотворчої лінії по напрямній (рис.10.1)

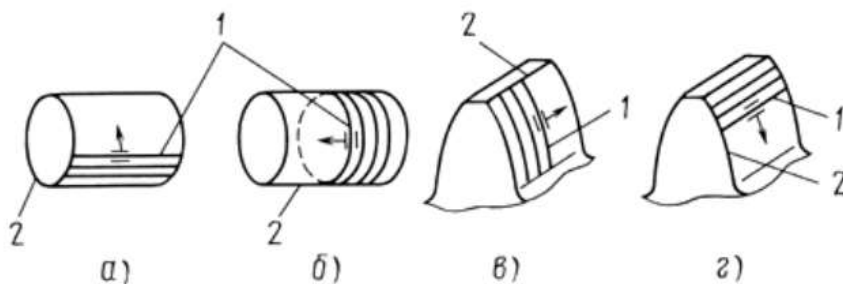


Рис. 10.1. Процес формування поверхні: 1 – формотворча лінія;
2 - напрямна лінія.

Залежно від виду інструменту та форми його ріжучої частини, що стикається із заготовкою, форми виробляючих геометричних ліній можна отримати такими методами: копіювання, огинання, сліду та торкання.

Метод копіювання заснований на тому, що ріжуча кромка інструменту формою збігається з лінією, що виробляє. Наприклад, при отриманні циліндричної поверхні при поперечному точінні утворююча лінія відтворюється копіюванням прямолінійної кромки інструменту (рис.10.1,а), а напрямна лінія обертанням заготовки. Тут необхідний один формотворчий рух - обертання заготовки. При обробці зубів циліндричного колеса дисковою модульною фрезою контур ріжучої кромки фрези, що збігається з профілем западин, відтво-

рює утворюючу лінію. Напрямна лінія виходить при прямолінійному русі заготовки вздовж осі. Тут необхідні два формотворчі рухи: обертання фрези і прямолінійний рух заготовки.

Метод обгинання (обкату) заснований на тому, що утворююча лінія виникає у формі, яка огинає ряд положень ріжучої кромки інструменту в результаті його рухів щодо заготовки. Ріжуча кромка відрізняється формою від утворюючої лінії і за різних положеннях інструменту є дотичною до неї (рис.10.1,г).

Метод сліду у тому, що утворююча лінія виходить, як слід руху точки – вершини ріжучого інструмента. Наприклад, при поздовжньому точінні утворююча виникає, як слід вершини різця (рис.10.1,б), а при свердлінні – як слід свердла. Інструмент та заготовка переміщаються відносно один одного таким чином, що вершина ріжучого інструменту весь час торкається утворюючої лінії. У першому випадку направляюча лінія утворюється в результаті обертання заготовки, у другому випадку – при обертанні інструменту або заготовки. В обох випадках потрібні два формотворчі рухи.

Метод торкання заснований на тому, що утворююча лінія є дотичною до ряду геометричних допоміжних ліній, які утворені реальною точкою ріжучої кромки інструменту, що рухається. Цей метод характерний при утворенні форм ліній, що виробляють, за участю інструментів, які мають безліч ріжучих кромок, а отже, і точок торкання, що утворюють форму вироблюючої лінії. Для отримання форми вироблюючої лінії методом торкання необхідні два, рідше три рухи формоутворення.

Розглянемо докладніше процеси формоутворення поверхонь різних конфігурацій та геометричних параметрів обробкою різанням лезовим та абразивним інструментом.

10.2. Обробка зовнішніх циліндричних та фасонних поверхонь.

Формування даного класу поверхонь є одним із основних видів обробки різанням у машинобудуванні.

Виходячи з таблиці середньоекономічної точності методів обробки, можна отримати поверхні 5 квалітету точності з шорсткістю $Ra=0,08\text{мкм}$.

Таблиця 10.1 – Середньо-економічна точність обробки зовнішніх циліндричних, конічних та фасонних поверхонь.

№ п/п	Найменування	IT	Ra, мкм
1.	Точіння одноразове	12	10÷5
1. 2.	Точіння попереднє Точіння чистове	11÷10	5÷2,5
1. 2.	Точіння одноразове Шліфування одноразове	10÷9	2,5÷0,63
1. 2. 3.	Точіння попереднє Точіння чистове Шліфування одноразове	9÷7	1,25÷0,63
1. 2. 3.	Точіння попереднє Точіння чистове Точіння тонке	8÷7	0,63÷0,32
1. 2. 3. 4.	Точіння попереднє Точіння чистове Шліфування попереднє Шліфування тонке	7÷5	0,32÷0,16
1. 2. 3. 4. 5.	Точіння попереднє Точіння чистове Шліфування попереднє Шліфування чистове Шліфування тонке	5	0,32÷0,08

Примітка:

1. Більш грубі квалітети та шорсткість поверхні гарантовано забезпечується набором видів обробки. Отримання більш точних квалітетів та меншої шорсткості досягається за рахунок посилення режимів, підвищення вимог до точності заготовки та іншими технічними заходами.

2. У деяких випадках для обробки заготовок з прокату замість одноразового або попереднього точіння може використовуватися обдирне шліфування.

3. У разі високих вимог до точності форми циліндричних поверхонь і високих вимог до шорсткості (збільшення плями контакту поверхонь, що сполучаються) в якості остаточної операції після шліфування використовується суперфінішування.

4. При досягненні шорсткості менше за 0,16 мкм на поверхнях невисокої точності як остаточну операцію використовують полірування.

На підставі вищевказаної таблиці можна підібрати маршрут обробки будь-якої зовнішньої циліндричної або фасонної поверхні.

10.2.1. Точіння.

Основним методом обробки зовнішніх циліндричних поверхонь є точіння. Як інструмент використовуються цілісні різці та різці зі змінними пластинами різного профілю, різних фірм виробників (рис.10.2).



Рис. 10.2. Процес точіння та конструкції різців зі знімними пластинами.

Кінематика формоутворення: зовнішньої циліндричної поверхні формується зазвичай в результаті обертання заготовки та поперечної або поздовжньої подачі ріжучого інструменту. Довгі поверхні зазвичай обробляються з допомогою поздовжньої подачі інструменту, короткі поверхні (зовнішні канавки, торці) - з допомогою поперечної (рис.10.3)

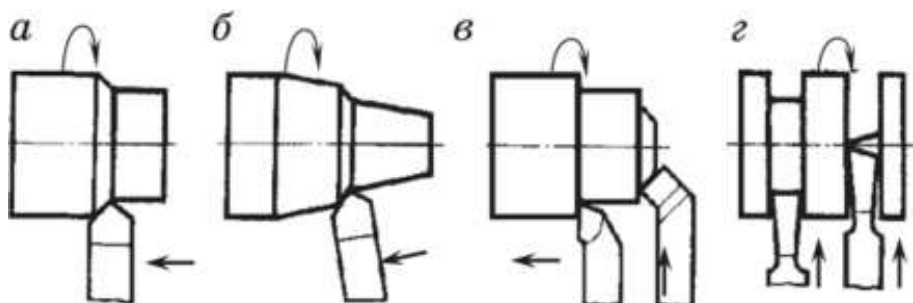


Рис. 10.3. Схеми обробки зовнішніх циліндричних поверхонь на токарних верстатах.

За рахунок конструкції різця можна одночасно формувати циліндричну поверхню і торець більш великого діаметру (галтель, фасонну проточку).

Фасонні поверхні при токарній обробці одержують різними методами:

1. Короткі фасонні та сферичні поверхні обробляються за рахунок конструкції різального інструменту та поперечної подачі (рис.10.4).
2. Використання копіїв та спеціальних пристроїв. Цей метод підходить для отримання практично всіх видів фасонних поверхонь (рис.10.5).

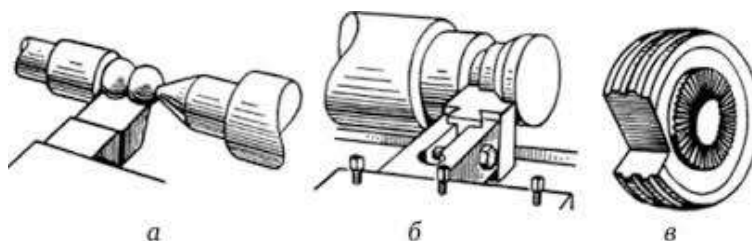


Рис.10.4. Обробка коротких фасонних поверхонь: а- плоским фасонним різцем; б - різцем зі змінною робочою частиною; в - круглим фасонним різцем.

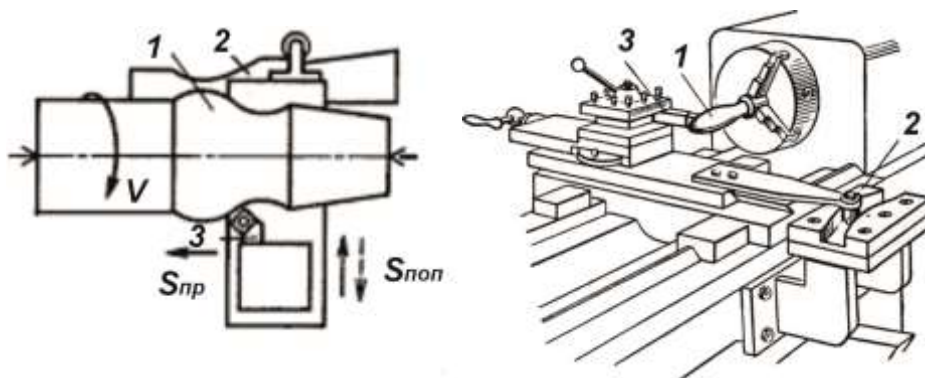


Рис. 10.5. Формування фасонної поверхні 1 за рахунок поздовжньої подачі супорта з різцем 3, який жорстко пов'язаний з копіром 2 за допомогою шупа.

Розглянуті вище способи формування фасонних поверхонь відносяться до універсального обладнання, не оснащеного системою ЧПУ. У теперішній час обробка фасонних поверхонь у більшості випадків виконується на верстатах з ЧПУ за рахунок програмування траєкторії руху спеціального різця (зазвичай з невеликим радіусом при вершині).

3. Конічні поверхні обробляються на універсальних токарних верстатах зазвичай із застосуванням кількох методів (рис.10.6.).

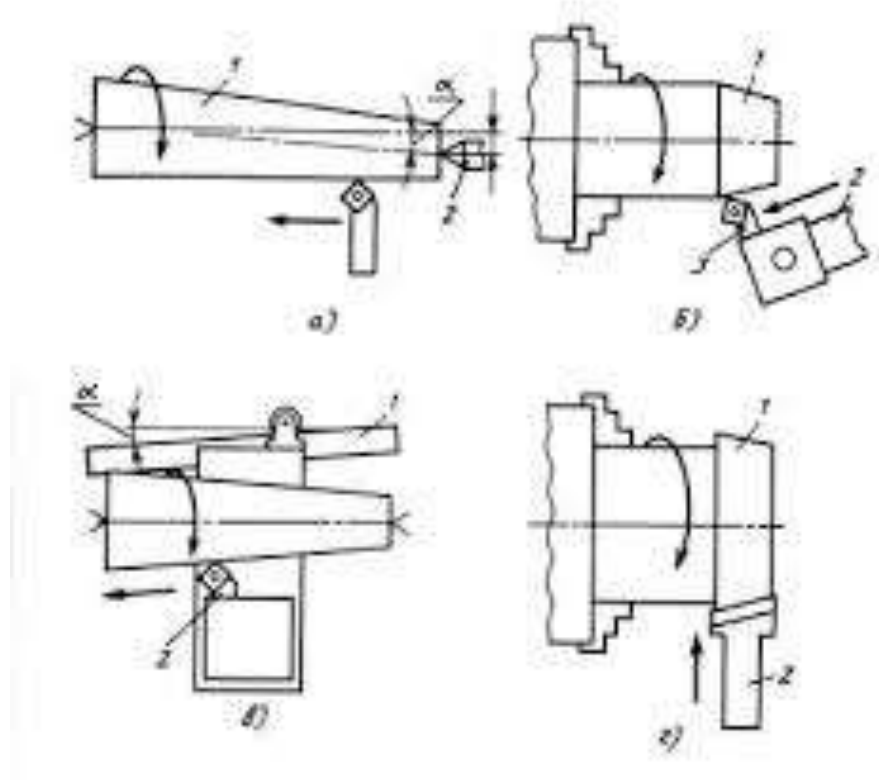


Рис. 10.6. Обробка конічних поверхонь: а - за рахунок усунення центру задньої бабки 2; б - за рахунок комбінування поздовжньої та поперечної подачі супорту 2 з різцем 3; в - використання копіра 1, який встановлено під кутом α ; г – коротким фасонним різцем 2 із відповідним кутом конусності.

4. Поверхні ексцентричного профілю (кулачки, ділянки колінчастих валів та ін.) також формують різними методами:

1) усуненням центру обертання заготовки від осі циліндра, яке може здійснюватися:

- запровадженням додаткових центрів (рис.10.7,а);
- установкою в патроні на додаткову пластину (величина ексцентриситету відповідає товщині підкладної пластини товщиною A , рис.10.7,б);
- установкою на ексцентрикову оправку (величина ексцентриситету ϵ відповідає відстані між віссю обертання оправки та віссю посадкового отвору заготовки, рис.10.7,в).

2) утворенням ексцентричних поверхонь із застосуванням спеціальних пристроїв та копіїв за рахунок поперечної подачі ріжучого інструменту.

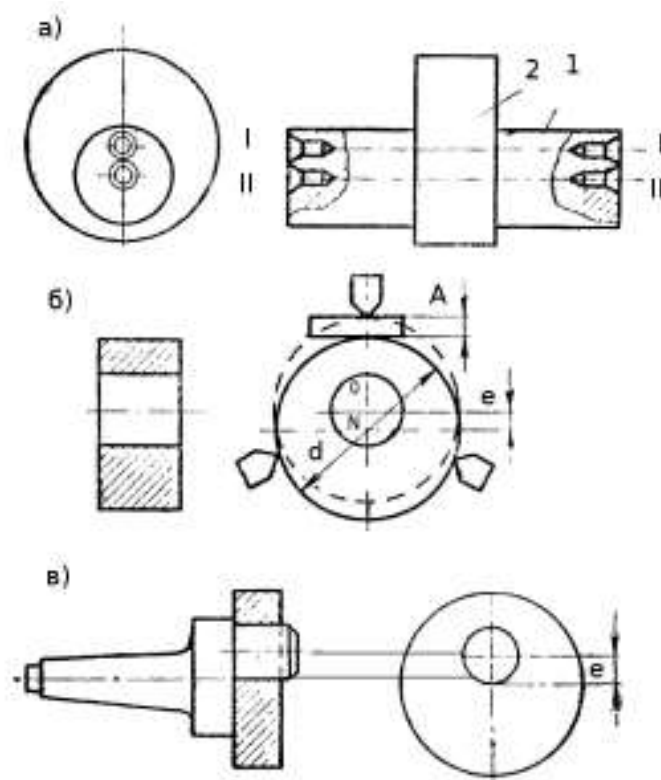


Рис. 10.7. Варіанти формування зовнішнього ексцентриситету за рахунок усунення осі отвору.

Сучасні спеціальні багатопрофільні верстати з програмним керуванням дозволяють формувати поверхні з ексцентриситетом за рахунок комбінації рухів практично всіх виконавчих механізмів. Прикладом можуть бути спеціальні верстати для виконання повного циклу обробки колінчастих валів з циліндричних заготовок.

10.2.2. Шліфування.

Найбільш поширений метод чистової обробки циліндричних поверхонь – це шліфування. Обробка ведеться шліфувальними колами з різним абразивним матеріалом, матеріалом зв'язування та розміром зерен. Марка шліфувального кола вибирається залежно від матеріалу обробки, стану поверхневого шару, показників шорсткості, які потрібно забезпечити, та ін.

Зовнішні циліндричні поверхні обробляються здебільшого периферією кола за різних методів шліфування: поздовжнє, врізне, безцентрове.

1). Поздовжнє шліфування – основний метод круглого шліфування при отриманні довгих циліндричних поверхонь.

На рисунку 10.8,а наведено схему обробки заготовки у нерухомих центрах. Шліфувальне коло здійснює зворотно-поступальні рухи з одночасним обертанням. Обертання заготовки виконується за допомогою повідкового механізму. При закріпленні повідця безпосередньо на зовнішній поверхні заготовки здійснити обробку на прохід неможливо, що є значним недоліком. Після кожного циклу поздовжнього переміщення здійснюється врізання кола поперечною подачею на величину $S_{\text{пов}}$, яка відповідає глибині шару матеріалу, що знімається на робочому ході. Останній прохід може здійснюватися без поперечної подачі (так зване виходжування поверхні). У деяких випадках у процесі формоутворення бере участь торець кола для отримання профілю поверхні, перпендикулярної до осі обертання циліндра (рис. 10.8,д).

2). Врізне шліфування.

Найбільш поширена схема для обробки коротких циліндричних поверхонь різного профілю (у тому числі фасонного). На відміну від поздовжнього шліфування, обробка здійснюється за рахунок поперечної подачі різального кола на заготовку (рис. 10.8,б). Якість поверхневого шару дещо нижча, ніж при поздовжньому шліфуванні. Нерівномірність зносу периферії шліфувального кола вимагає частішої правки.

3). Безцентрове шліфування.

Застосовується при обробці гладких циліндричних деталей, деталей з уступом (методом безцентрального шліфування з осьовою подачею) та фасонних циліндричних поверхонь (методом врізного безцентрального шліфування). Цей метод забезпечує досить високу якість (за рахунок жорсткості системи ВПЗІ в зоні обробки) та продуктивності обробки (оскільки не вимагає базування, встановлення та закріплення заготовки).

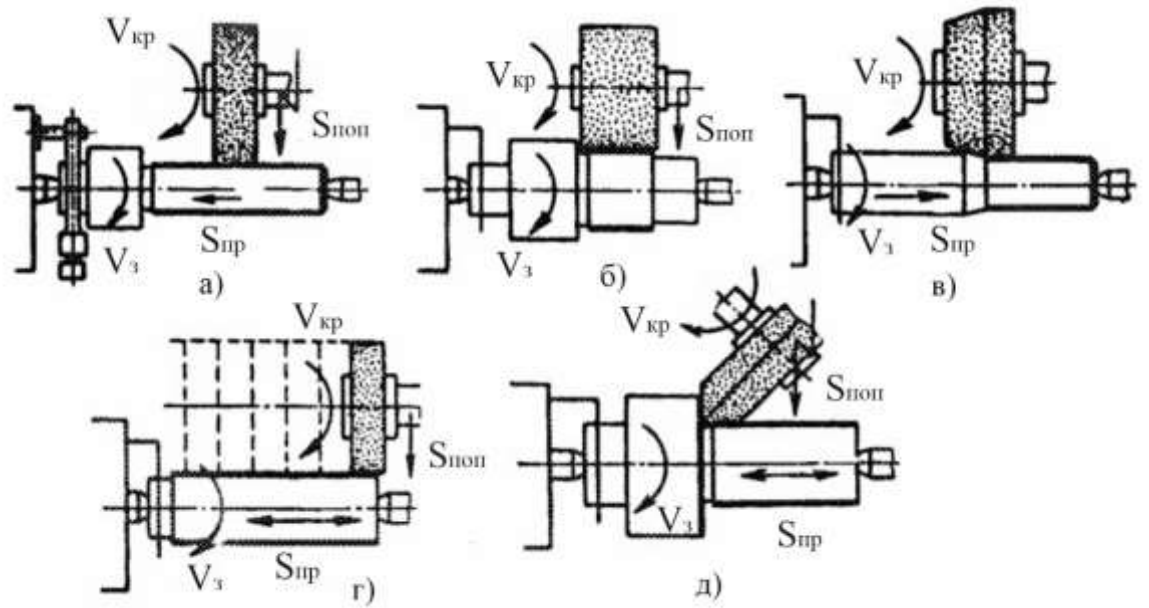


Рис. 10.8. Схеми шліфування в центрах при обробці зовнішніх циліндричних поверхонь: а-з поздовжньою подачею; б - з поперечною подачею (врізне шліфування); в,д - з поздовжньою подачею фасонного кола з одночасною обробкою торця.

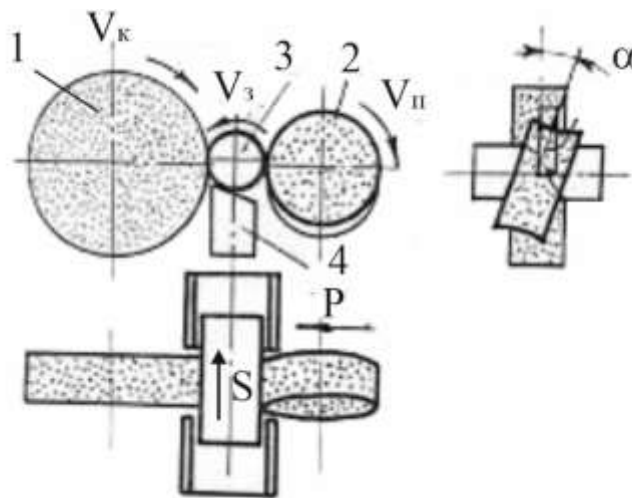


Рис. 10.9. Схема безцентрового шліфування: 1 – шліфувальне коло; 2 – коло, що подає; 3 – заготовка; 4 - підтримуючий (опорний) ніж.

При безцентровому шліфуванні заготовка 3 встановлюється на опорний ніж 4, обертання заготовки передається за рахунок кола 2, що має форму половини гіперболоїда обертання. Обробка здійснюється шліфувальним колом 1. У цьому разі обертання деталі здійснюється з допомогою сил тертя між деталлю і

обертвовим колом. Поверхня ножа має бути досить гладкою, щоб зменшити коефіцієнт тертя між деталлю та ножом. Провідне коло виконує роль пристрою додаткової опори, що дозволяє ефективно шліфувати довгі тонкі деталі. Жорсткість технологічної системи безцентрово-шліфувальних верстатів в $1,5 \div 2$ рази вище, ніж у круглошліфувальних. У процесі шліфування деталь лежить на ножі 4 і оберттовому колі 2 які утворюють опорну призму. Опорний ніж встановлюють так, щоб центр заготовки був вищим за центри шліфувального кола і оберттового кола на висоту h , яка береться в залежності від діаметра заготовки, але не повинна перевищувати 14мм. В цьому випадку в процесі обробки здійснюється виправлення похибки форми поверхні деталі (некруглість, овальність). При встановленні заготовки на одній осі з шліфувальним і провідним колом похибки форми заготовки не виправляються. Подача заготовки в осьовому напрямку здійснюється провідним колом за рахунок варіювання кута α нахилу осі кола до осі заготовки. Чим більше значення кута α , тим вища швидкість осьового переміщення заготовки.

Врізне безцентрове шліфування здійснюється за тією ж схемою, що і просте. Однак заготовка подається до зони обробки в радіальному напрямку по відношенню до осі обертання.

При обробці ступінчастих валів на безцентровошліфувальних верстатах обробка ведеться до осьового упору, який налаштовується відповідно до довжини поверхні, що обробляється.

У сучасних безцентровошліфувальних верстатах замість шліфувального кола дуже часто застосовується шліфувальна стрічка, що значно підвищує стійкість абразивного інструменту, знижує його вартість та покращує експлуатаційні властивості.

Довгі та короткі конічні поверхні одержують аналогічно за схемою точіння конусів, тобто обробка ведеться поворотом верхнього столу шліфувального верстата (зміщенням осі обертання заготовки щодо напрямку руху шліфувального кола, рис. 10.10,б,в), або за рахунок профілю шліфувального кола (рис.10.10,а).

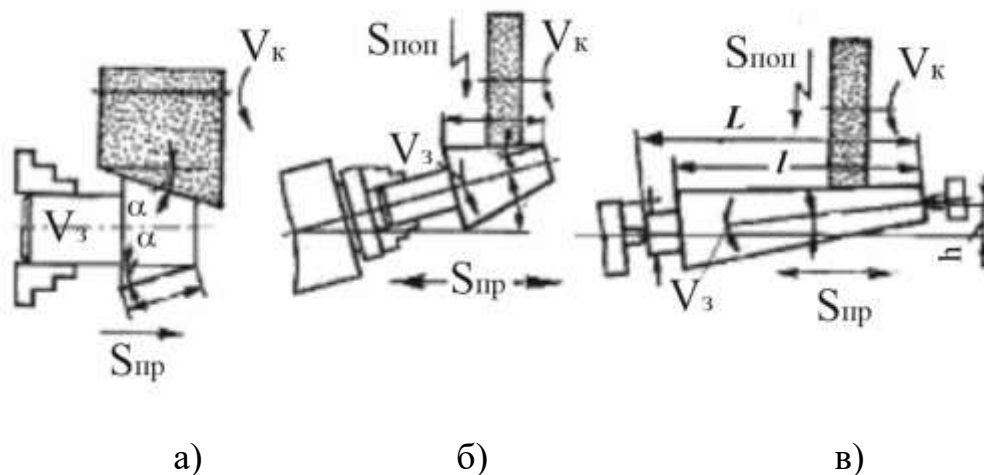


Рис. 10.10. Обробка зовнішніх конічних поверхонь на шліфувальних верстатах: а – осью подачею заготовки на профільне шліфувальне коло; б – установкою шліфувального столу під кутом до осі обертання шліфувального кола та поздовжньою подачею столу; в – зсув центру задньої бабки для довгих конічних поверхонь.

10.2.3. Остаточна обробка зовнішніх циліндричних поверхонь.

Тонке шліфування.

Здійснюється на тих-таки кінематичних принципах, як і звичайне шліфування. Особливості – зняття дуже малих припусків $40 \div 80 \mu\text{м}$ із застосуванням чистових режимів різання. Виконується на прецизійних шліфувальних верстатах, які забезпечують плавність ходу піноліправлячого приладу та відсутність вібрації і пружних віджимань технологічної системи.

Вимагає рясного поливу ЗОТС та тонкої фільтрації цієї рідини для виключення попадання частинок стружки та абразиву в зону обробки, що може спричинити пошкодження оброблюваної поверхні. Зазвичай, тонке шліфування не виділяється в окрему операцію, а виконується на заключному етапі обробки за один установ деталі, щоб виключити похибку установки. Практично завжди в цьому випадку виконується виходжування поверхні за один-два остаточні проходи шліфувального кола.

Суперфінішування.

Суперфінішування виконують абразивними брусками, що здійснюють коливальні поворотне-поступальні рухи з великою частотою і малим ходом по поверхні заготовки, що обертається. Тобто для процесу суперфінішування характерні осцилюючі коливальні рухи різального інструменту S_0 з одночасним обертанням заготовки V_3 та подачею заготовки або бруска в поздовжньому напрямку S_3 (рис. 10.11). Особливістю суперфінішування є зниження інтенсивності видалення матеріалу після зняття гребінців вихідної шорсткості з деталі.

Радіальний тиск і відповідно знімання металу зберігається практично незмінним і не залежить від форми обробки поверхні. Тобто при суперфінішуванні зменшується параметр шорсткості до $Ra=0,012\div 0,1$ мкм (рис. 10.11,б,в) і збільшується опорна поверхня до 80÷90% з одночасним видаленням дефектного верхнього шару.

При застосуванні ЗОТС масляна плівка покриває поверхню, що обробляється, але найбільш високі мікровиступи проривають її і, в першу чергу, знімаються брусками. Тиск брусків на виступи у початковий період виявляється підвищеним. У міру подальшої обробки тиск знижується, тому що все менш виступів прориває масляну плівку і піддається зрізанню. У той момент, коли тиск брусків через фактичну площу контакту, що збільшилася, не може розірвати масляну плівку, вона стає суцільною. Створюються умови для рідинного тертя, і процес обробки практично припиняється, тобто припуск на обробку не залишають, оскільки процес полягає у знятті тільки мікронерівності, що залишилися від попередньої обробки поверхні. При цьому забезпечуються мікрорівності, що формою нагадують трапецію з великою опорною (несучою) площею (рис. 10.11,в).

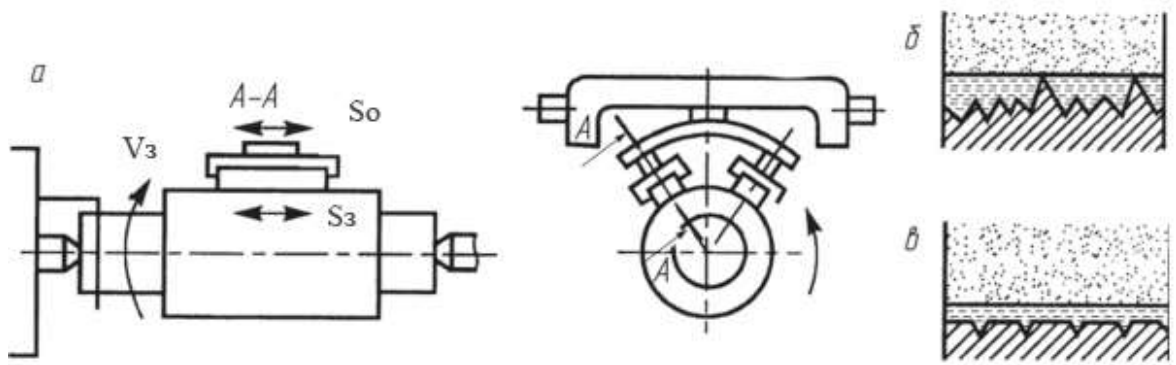


Рис. 10.11. Схеми суперфінішування (а), та зміни висоти та форми мікронерівностей до (б) та після обробки (в).

Основною проблемою при суперфінішуванні є засолювання брусків і зниження їхньої ріжучої здатності. Тому застосовують спеціальні наповнювачі, що виконують роль твердого мастила при обробці.

Полірування.

Полірування - процес обробки, що характеризується еластичністю зв'язки 3 кожного ріжучого елемента 2 (абразивного зерна), тобто кожне зерно як би підпружинене, і під дією сили різання частково заглиблюється у зв'язку, а частково видаляє вершини мікронерівностей на поверхні 1, що обробляється. Ступінь поглиблення залежить від властивостей оброблюваної поверхні і твердості полірувального кола (стрічки).

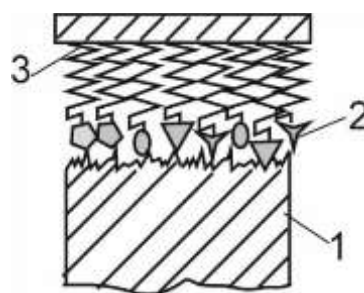


Рис. 10.12. Схема технологічного впливу на заготовку при поліруванні.

На ділянках, що виступають, поглиблення більше, тобто при даному методі обробки вихідний профіль не коригується. При поліруванні здійснюється зниження параметрів шорсткості без зміни профілю поверхні та її геометричних параметрів. Як абразивний матеріал використовуються різні паста, а як поліруюча основа - м'які кола (рис.10.13,а) або полірувальні стрічки (рис.10.13,б).

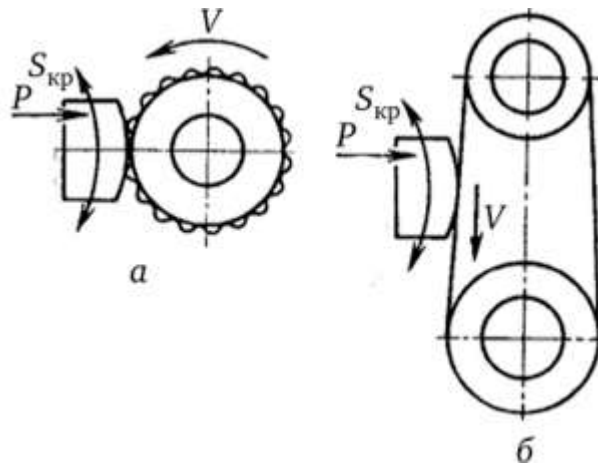


Рис. 10.13. Схема полірування поверхні: а – м'якими колами;
б - полірувальною стрічкою.

10.2.4. Встановлювання заготовки при обробці зовнішніх циліндричних поверхонь.

При обробці на токарних верстатах використовують різні методи базування та закріплення заготовок, які залежать від конфігурації та геометричних параметрів заготовки, виконуваних технологічних переходів, застосовуваних режимів обробки та ін.

Основними методами, що найчастіше застосовуються, є:

- встановлення в центрах,
- встановлення в патронах,
- встановлення в патронах з підтримуючим заднім центром,
- встановлення на оправку.

Розглянемо докладніше ці методи.

Встановлення в центрах

Установку в центрах найчастіше приймають для валів, циліндрів, а також заготовок, закріплених на оправці (рис. 10.13).

Дрібні і середні заготовки встановлюють у звичайні центри (рис. 10.14,а). При необхідності підрізання торця використовується зрізаний центр (напів-центр, рис. 10.14,в). При обробці заготовок на високих швидкостях різання рекомендується використовувати задній центр, що обертається (рис.10.14,г) .

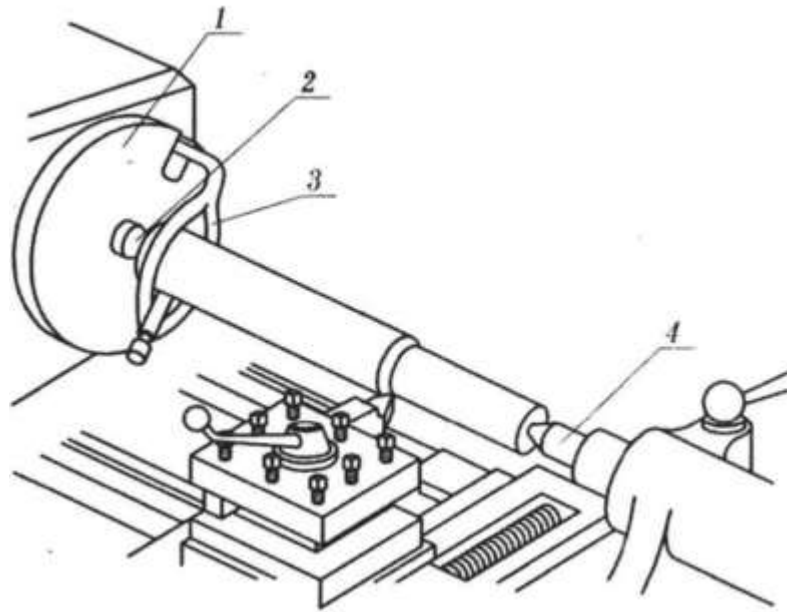


Рис. 10.13. Встановлення заготовки з використанням центрів:
1 – повідковий патрон; 2-лівий центр; 3 – повідець; 4 – задній центр.

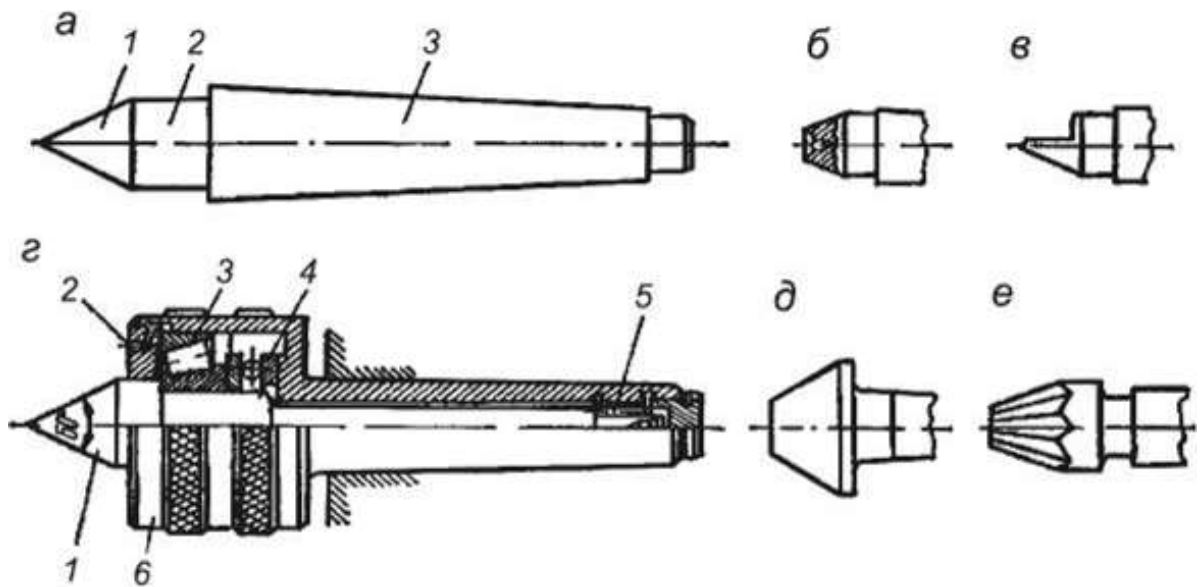


Рис. 10.14. Види центрів: а – звичайний центр (1 центруючий конус, 2 – перехідна частина; 3 – конус Морзе); б – зворотний центр; в – скошений центр; г - задній центр, що обертається (1 - центруючий конус, 2 - фіксатор; 3 - радіально упорний підшипник; 4 - упорний підшипник; 5 - корпус з конусом Морзе, 6 - кришка); д-грибковий конус; е – рифлений центр.

Усі вище перелічені види установки для забезпечення обертання заготовки використовують повідець або спеціальний повідковий патрон, який не бере участі в базуванні та закріпленні заготовки, а здійснює тільки передачу моменту, що крутить, зі шпинделя до заготовки.

При обробці заготовки із центральним отвором її встановлюють на центр великого діаметру. Такі центри називаються грибковими (рис. 10.14,д).

Для забезпечення обертання без використання повідця передні центри виконуються з рифленням (рис. 10.14,е). Застосування рифлених центрів дозволяє повністю обробити циліндричну поверхню без застосування повідкових пристроїв та переустановлення заготовки. Недоліком цієї установки є досить велике радіальне биття таких центрів (до 500мкм) і неможливість повторного використання базових поверхонь.

При обробці в центрах за рахунок похибки центрального отвору та безпосередньо центру виникає невизначеність заготовки в осьовому напрямку. При отриманні точних осьових розмірів така невизначеність неприпустима. Щоб уникнути цього, використовують конструкцію плаваючого переднього центру (рис. 10.15). Плаваючий передній центр встановлюється в шпиндель і є пружним центром.

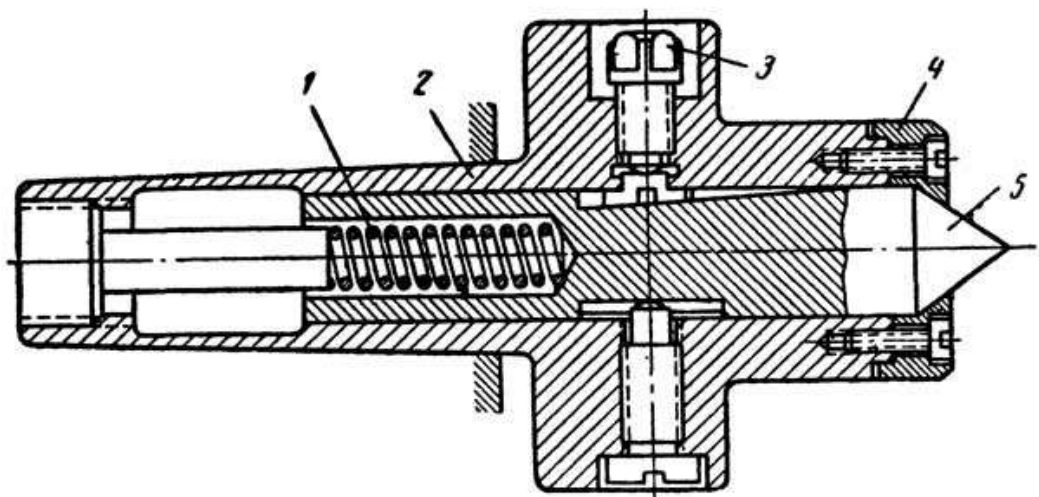


Рис. 10.15. Плаваючі передній центр.

При встановленні заготовки пружний центр 5 переміщається в корпусі 2 в осьовому напрямку, стискаючи пружину 1 до упору заготовки у кришку 4. У

цьому випадку точність радіального положення поверхонь заготовки забезпечується конічною поверхнею центру 5, а точність осевого положення торцем кришки 4. У деяких конструкціях плаваючих центрів використовують шайбу 3 з насічками (рифленнями) на її торцевій поверхні. Для чорнової обробки число зубів повідкової шайби $3 \div 4$, а на чистовій, коли не допускається пошкодження торцевої поверхні деталі, шайби виконують багатозубими.

Встановлення в патронах.

Заготовки невеликої довжини зазвичай закріплюють у патронах. Патрони бувають самоцентруючі та несамоцентруючі. Застосовують патрони різних конструкцій: кулачкові, цангові, мембранні та ін.

Кулачкові патрони виконуються дво-, три- та чотири-кулачковими, з ручним та механізованим затискачами. За призначенням розрізняють кулачки для внутрішнього та зовнішнього закріплення заготовок. Зовнішній профіль кулачків служить для базування та закріплення заготовок із центральним отвором, а внутрішній – для базування та закріплення по зовнішній циліндричній поверхні (рис. 10.16,б).

У трикулачкових самоцентруючих патронах закріплюють деталі круглої та шестигранної форми або круглі прутки великих діаметрів. Такі патрони є найбільш поширеними в машинобудуванні завдяки вищій точності базування по відношенню до інших типів кулачкових патронів. Точність установки в патронах, що самоцентрують заготовку, $50 \div 100$ мкм. Для отримання осевої точності положення заготовки її спирають торцем у профіль кулачка або використовують спеціальні шайби та втулки.



Рис. 10.16. Кулачкові патрони.

Чотирикулачкові патрони застосовуються зазвичай для встановлення великогабаритних заготовок. Точність установки в такі патрони нижче, ніж у самоцентруючих трикулачкових (рис.10.16,б).

У двокулачкових патронах зазвичай закріплюють невеликі заготовки, установка яких не потребує точного центрування (рис.10.16,в). Дуже часто такі патрони застосовуються в автоматичних системах закріплення заготовок завдяки досить простій реалізації механізму затиску.

Досить часто на верстатах автоматах та напівавтоматах застосовуються самозатискні повідкові патрони дво- та трикулачкові, які налаштовуються на певний діапазон діаметрів заготовок (рис. 10.17).

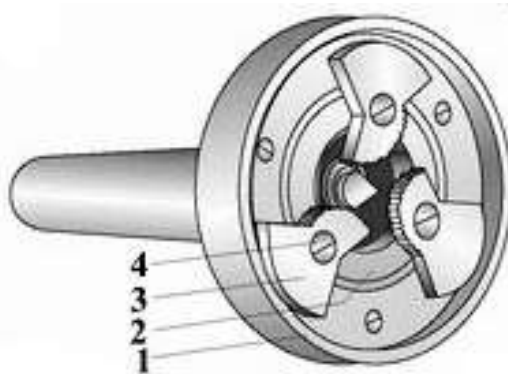


Рис. 10.17. Самозатискний повідковий патрон:

1 – планшайба; 2 - плаваюче кільце; 3 – кулачок; 4 – вісь кулачка.

Заготовка встановлюється в центрі і затискається ручним поворотом у напрямку обертання за рахунок пружних кулачків, які встановлені на планшайбі та можуть повертатися на незначний кут. Затискна ділянка профілю кулачка виконана у вигляді евольвенти з рифленнями. Завдяки цьому можна здійснювати закріплення заготовок певного діапазону діаметрів. На початку процесу обробки за рахунок зусилля різання відбувається заклинювання заготовки між кулачками завдяки їхнього незначного повороту навколо своєї осі. Для зняття деталі після обробки вона повертається у напрямку протилежному головному обертанню і кулачки розкріплюються.

Цангові патрони застосовуються в основному при обробці деталей з пруткового матеріалу, так як дозволяють забезпечити процес *розтискання-подача-*

затискання заготовки в автоматичному режимі. Цангові патрони, на відміну кулачкових патронів, працюють із заготовками (прутками) певного діапазону розмірів.



Рис. 10.18. Загальний вигляд цангового патрона.

Це обумовлено їх конструкцією і принципом затиску з допомогою пружних деформацій затискних пелюсток (рис. 10.18). На рисунку 10.19 наведено конструкції кількох варіантів забезпечення затиску у цангових патронів. Шток патрона, переміщаючись лінійно вліво, змушує ковзати конус у цанги щодо нерухомого конуса в корпусі і переміщає пелюстки в радіальному напрямку, затискаючи заготовку (рис. 10.19,а). На рисунку 10.19,б показано схему, коли за рахунок труби здійснюється лінійне переміщення короткої цанги, а її зворотний конус, переміщаючись щодо нерухомого конуса корпусу, затискає заготовку. На рисунку 10.19,в показано схему, коли цанга нерухома, а рухлива труба, переміщаючись щодо нерухомого конуса цанги затискає заготовку.

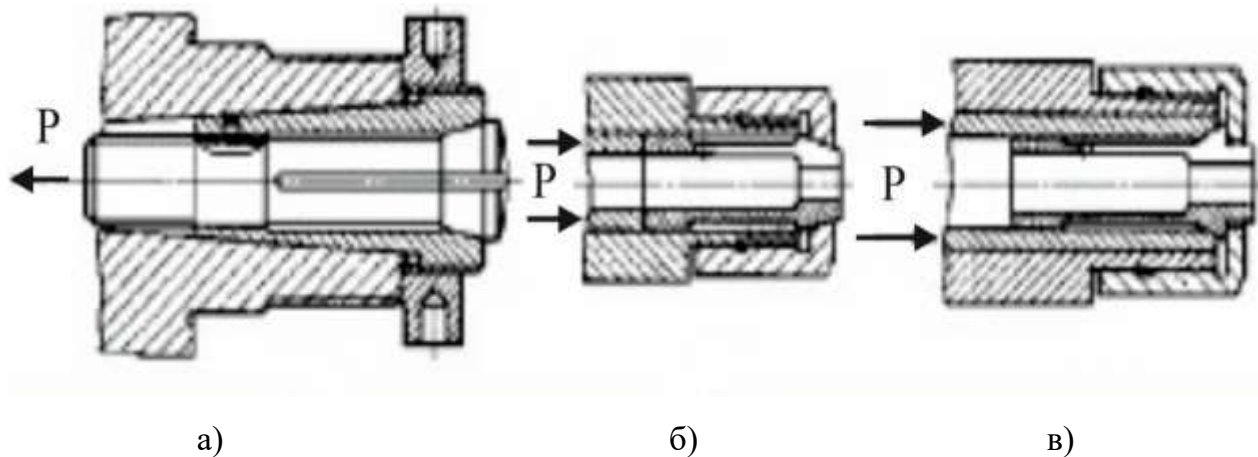


Рис. 10.19. Схеми затискання заготовки у цангових патронах.

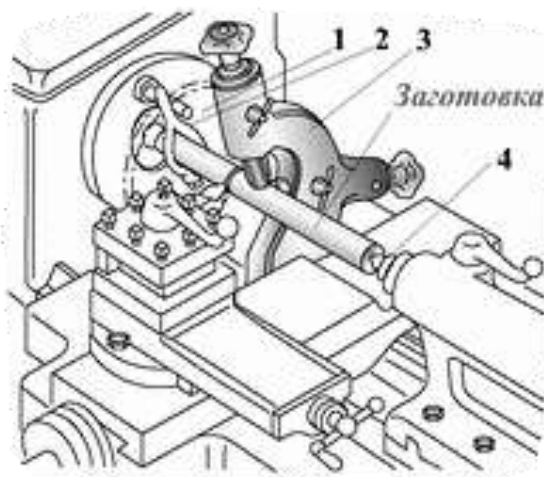
Використання патронів під час базування та закріплення заготовок не дозволяє забезпечити високу точність обробки. Тому при базуванні та закріпленні щодо довгих заготовок використовують схему установки в патроні з підтиском заднім центром.

Встановлення в патронах та центрах.

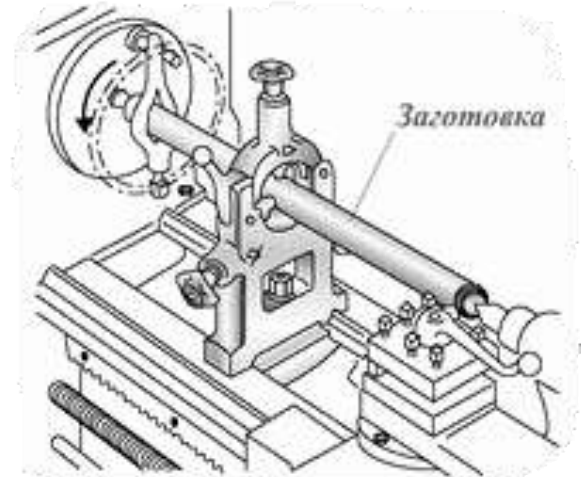
Встановлення в патроні та за допомогою заднього центру застосовують при обробці заготовок великого діаметру та довжини. При обробці заготовки з попередньо отриманим отвором базування може здійснюватися за зовнішніми поверхнями кулачка, а як задній центр використовується грибоквий центр. Аналогічно можуть встановлюватися заготовки невеликої довжини, тільки в патроні без використання заднього центру.

Встановлення із використанням люнета.

При обробці довгих або нежорстких заготовок (наприклад, колінчастих валів) установку в центрах або патроні проводять з використанням люнету, який виступає як додаткова опора в зоні різання, що значно знижує деформацію заготовки під дією зусиль різання (рис. 10.20). Нерухомі люнети використовуються для обробки внутрішніх отворів і торця заготовки при її достатній протяжності (рис. 10.20,б). Рухомі люнети використовуються при обробці зовнішніх поверхонь довгих нежорстких деталей. В даному випадку люнет закріплюється на супорті у безпосередній близькості від зони обробки і переміщається разом із різцем, тобто відстань від точки застосування сили різання до опори є постійною (рис. 10.20,а).



а)



б)

Рис. 10.20. Люнети: а - рухливий; б – нерухомий: 1 – передній центр; 2 – хомут; 3 – люнет; 4 – задній центр.

Конічна оправка з невеликим кутом конуса (2) дозволяє встановити з натягом заготовку (3) і надалі встановити оправку у центри (рис. 10.21,а). Для скорочення часу установки заготовки 3 на гладку циліндричну оправку 2 використовується схема з розрізної шайбою 4 та гайкою кріплення 5 (рис. 10.21,б).

Оправка з розтискною цангою (рис. 10.21,г) використовує для базування заготовки корпус із пелюстками цанги 7 як базову поверхню. Закріплення заготовки 3 здійснюється загвинчуванням гвинта 8 і лінійним переміщенням конічної поверхні гвинта щодо конічної поверхні цанги.

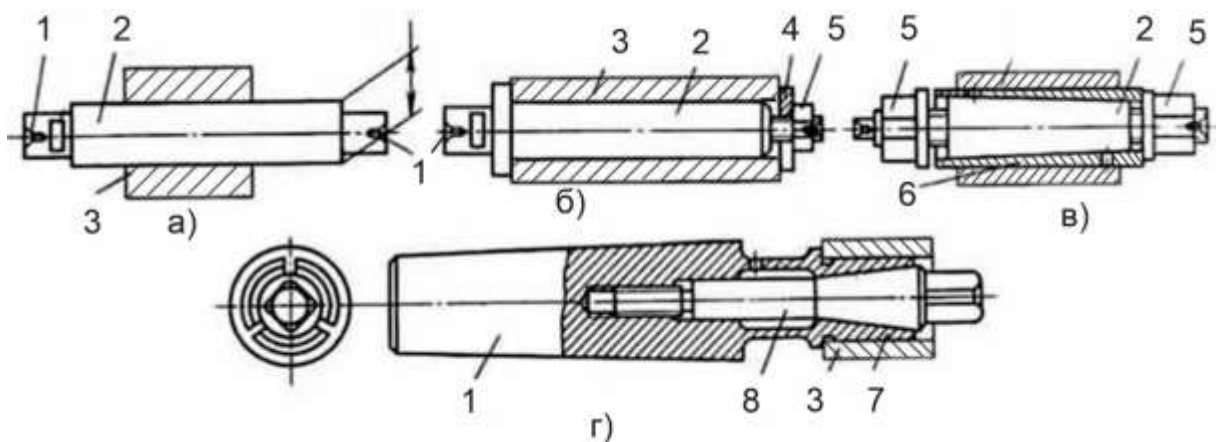


Рис. 10.21. Схеми встановлення заготовок на оправках під час обробки зовнішніх циліндричних поверхонь.

Запитання для самоконтролю:

- 1. Які є види кінематики формоутворення зовнішніх циліндричних поверхонь?*
- 2. Якими способами можна отримати зовнішні циліндричні поверхні?*
- 3. Як одержують зовнішні фасонні поверхні?*
- 4. Як можна отримати ексцентрикову поверхню при токарній обробці?*
- 5. Які методи встановлення заготовки в центрах використовуються для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь?*
- 6. Які методи встановлення заготовки в патроні використовуються для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь?*
- 7. Які існують види центрів та сфера їх застосування?*
- 8. Як можна встановити заготовку в патроні та центрі при обробці зовнішніх циліндричних поверхонь?*
- 9. Як можна встановити заготовку на оправки під час обробки зовнішніх циліндричних поверхонь?*
- 10. Як виконується безцентрове шліфування?*
- 11. У чому полягають особливості конструкції та переваги безцентрального шліфування?*
- 12. Як виконується врізне шліфування?*
- 13. Як виконується поздовжнє шліфування?*
- 14. Як відбувається процес суперфінішування ?*
- 15. Як відбувається процес полірування?*
- 16. У чому основні особливості тонкого шліфування?*
- 17. Коли при токарній обробці використовуються люнети? Які типи лунетів є?*
- 18. Навіщо призначені різні типи центрів?*
- 19. Які патрони використовуються для встановлення заготовок? Їх переваги та недоліки.*

10.3. Обробка внутрішніх циліндричних поверхонь.

При обробці внутрішніх поверхонь циліндричного профілю необхідно виділити два принципово різних методи формоутворення поверхні, які відрізняються кінематикою. У суцільному матеріалі та при обробці отворів невеликого діаметру обробка ведеться переважно кінцевим ріжучим інструментом (осевим ріжучим інструментом). Для попередньо отриманого отвору характерне застосування розточування, шліфування, протягування та інших методів (табл.10.2).

Великий вплив на вибір методу обробки в даному випадку надають розміри поверхні, що обробляється. Так, наприклад, зазвичай не зустрічається обробка в суцільному матеріалі діаметрів понад 40мм. З іншого боку, практично не зустрічаються варіанти розточування та шліфування отворів менше 10мм.

10.3.1. Обробка кінцевим інструментом.

При обробці кінцевим інструментом коло діаметра інструменту виступає як формотворча лінія, а вісь обертання - напрямна лінія. На рисунку 10.22 представлені схеми обробки різним кінцевим інструментом.

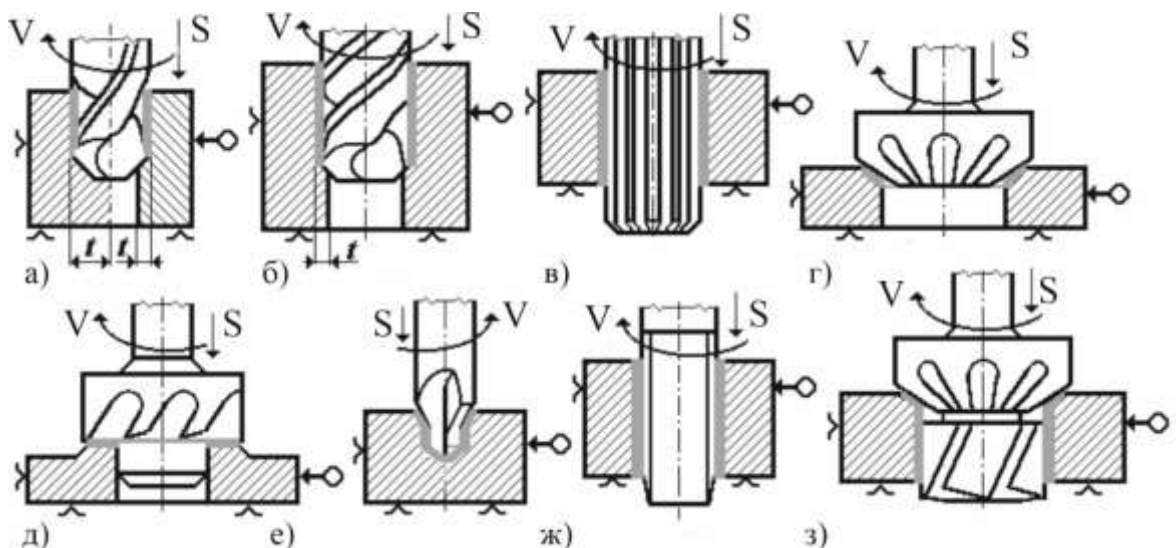


Рис.10.22. Схеми обробки внутрішніх циліндричних поверхонь кінцевим інструментом: t - величина припуску; а – розсвердлювання; б – зенкерування; в – розгортання; г - зенкування; д - цекування; е – зацентрування (свердління центрувальним свердлом); ж – нарізування різьблення; з – комбінована обробка кількох поверхонь.

Таблиця 10.2 . – Середньо-економічна точність обробки внутрішніх циліндричних поверхонь.

	Найменування	ЛТ	Ra, мкм
У суцільному матеріалі			
1	Свердління	12 ÷ 13	40 ÷ 20
1 2	Свердління Зенкерування	11	10 ÷ 25
1 2	Свердління Розгортання	10 ÷ 9	5 ÷ 1,25
1 2	Свердління Протягування	9	2,5 ÷ 0,32
1 2 3	Свердління Зенкерування Розгортання	9 ÷ 8	2,5 ÷ 0,63
1 2 3	Свердління Розгортання попереднє Розгортання чистове	8 ÷ 7	2,5 ÷ 0,32
1 2 3 4	Свердління Зенкерування Розгортання попереднє Розгортання чистове	7	1,25 ÷ 0,32
1 2 3	Свердління Зенкерування Шліфування	8 ÷ 7	1,25 ÷ 0,32
1 2 3	Свердління Протягування Калібрування	8 ÷ 7	1,25 ÷ 0,32
У заготовках із попередньо отриманим отвором			
1	Зенкерування	12	10 ÷ 2,5
1	Розточування одноразове	12	10 ÷ 2,5
1 2	Зенкерування чорнове Зенкерування чистове	10	5 ÷ 1,25
1 2 3	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке	8 ÷ 7	1,25 ÷ 0,16
1 2	Просування Шліфування	8 ÷ 7	1,25 ÷ 0,16
1 2 3	Розточування чорнове Розточування чистове Хонінгування	8 ÷ 7	0,32 ÷ 0,04
1 2 3 4	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке Хонінгування	7	0,16 ÷ 0,02

Примітка:

У таблиці теж самі класи точності і шорсткості досягаються при заміні розточування чорнового - зенкеруванням чорновим, розточування чистового - зенкеруванням чистовим, розточування тонкого - розгортанням.

Свердління.

Основний метод одержання отворів у суцільному матеріалі різноманітним інструментом (рис. 10.23). Забезпечується обертанням та подачею інструменту при нерухомій заготовки (див. рис. 10.22). У деяких випадках (обробка на токарних верстатах) основний рух різання забезпечується обертанням заготовки. Залежно від матеріалу заготовки, геометричних параметрів отвору, умов експлуатації деталі застосовують різні типи сверدل (рис. 10.24). Найбільш поширеним є обробка спіральними свердлами (рис. 10.24,а,б) як найбільш продуктивний та економічний метод для звичайних умов обробки. Обробляються отвори діаметром до 80мм з точністю 12÷13 квалітету.



Рис.10.23. Процес свердління та ріжучий інструмент.

При утруднених умовах обробки (глибокі або косі отвори) застосовуються шнекові свердла, що відрізняються від спіральних великим кутом нахилу гвинтових канавок (до 60°), що дозволяє свердлити отвори з відношенням довжини до діаметра до 30 за один прохід без періодичного виведення свердла з отвору для видалення стружки. Перові свердла мають діаметр 5÷14мм. Ці свердла виконуються з плоским заточенням передніх та задніх поверхонь.

Гарматні свердла (рис. 10.23,е) призначені для свердління глибоких отворів зі ставленням довжини до діаметра до 50. Вони є довгим стрижнем, зрізаним на кінці по діаметру. Половина циліндричного тіла свердла є напрямною, що забезпечує прямолінійність осі отвору, що обробляється.

Рушневі свердла (рис. 10.23,в) використовують для свердління глибоких отворів при високих вимогах до точності обробленої поверхні. Вони є удосконаленим гарматним свердлом. З круглого тіла вирізається сектор (трохи більше 1/4 по довжині робочої частини), кінець свердла огранований. Верхівка свердла розташовується ексцентрично. При різанні виходить додатковий напрямний конус усередині тіла заготовки. При великих діаметрах свердління на лезі виконують стружкорозділювальну канавку.

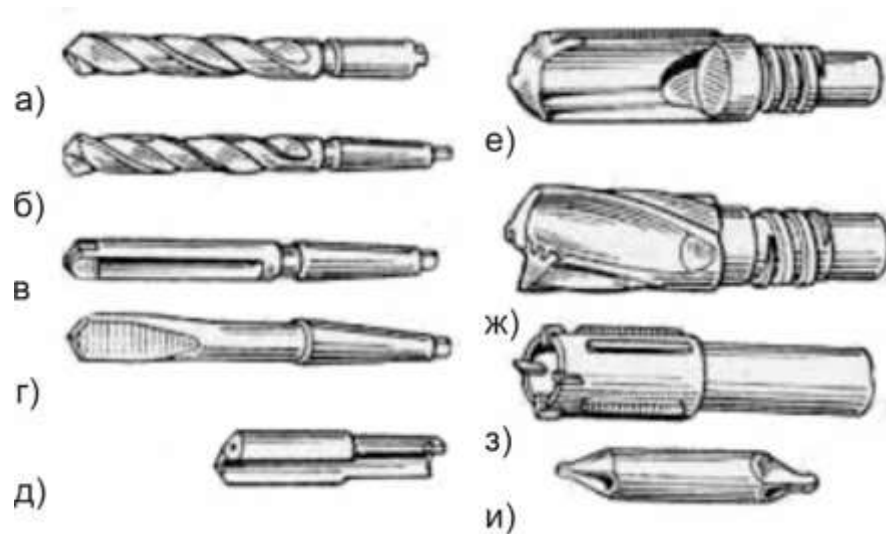


Рис. 10.24. Основні типи свердл: а - спіральне з циліндричним хвостовиком; б - спіральне з конічним хвостовиком; в – рушничне свердло; г – свердло одностороннього різання; д – напівкругле свердло; е - гарматне свердло; ж – ежекторне свердло; з-трубчасте свердло; и - центрувальне свердло.

При обробці деталей, що дають тендітну стружку, застосовують свердла одностороннього різання (рис. 10.24,г) які забезпечують дещо більшу точність $JT=10\div 11$, проте менш продуктивні і вимагають обов'язкової подачі змащувально-охолоджуючого технологічного середовища (ЗОТС) в зону обробки для виведення стружки.

Для отримання точних глибоких отворів використовують різноманітні ежекторні свердла (рис. 10.24,ж) з примусовою подачею ЗОТС в зону обробки. Досяжна точність $JT 8\div 10$ квалітет. На рисунку 10.25 наведено схему обробки ежекторним свердлом. По каналу 5 ЗОТС подається в зону обробки заготовки 1 і

через пази в різальній частині свердла 2, яка закріплена в борштангу 4, виходить каналом внутрішньої труби 7, вимиваючи при цьому стружку. Для підвищення жорсткості обробки напрямок інструменту здійснюється за рахунок кондукторної втулки 3. Дані свердла мають невисоку продуктивність, досить дорогі і складні в експлуатації. Застосовуються в дрібносерійному виробництві для отримання отворів підвищеної точності та вимог до осі.

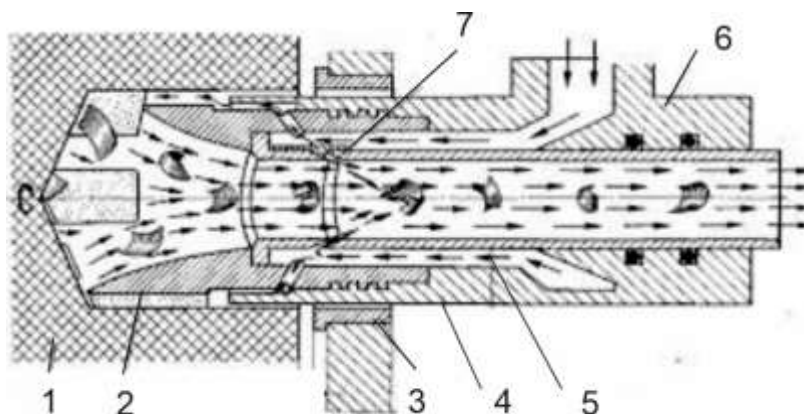
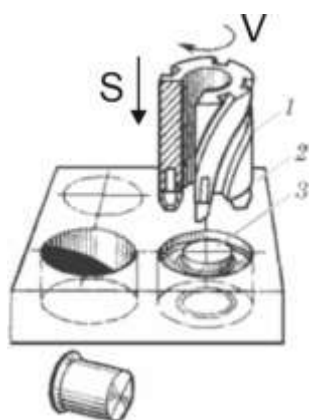


Рис. 10.25. Принцип роботи ежекторного свердла.

При обробці наскрізних отворів досить великого діаметра (до 600мм) та невеликої довжини застосовуються кільцеві (трепанційні, корончасті) свердла (рис. 10.26). Використання таких свердл значно підвищує продуктивність (відсутність забірного конуса скорочує довжину робочого ходу) та умови обробки (знімання стружки не по радіусу отвору, а по ширині кільця різальної частини свердла).



а)



б)

Рис. 10.26. Схема кільцевого свердління (а) та приклади кільцевих свердл (б):

1 – свердло; 2 – заготовка; 3 - циліндр відходів.

Основні проблеми, що виникають під час свердління.

У процесі свердління технолог зазвичай стикається з деякими проблемами забезпечення точності отворів та експлуатації ріжучого інструменту.

1). Розбивка отвору, тобто збільшення діаметра отвору та відхилення його від округлості (рис. 10.27,г,д), яке виникає через наступні причини:

- похибки виготовлення та заточування інструменту;
- радіального биття шпинделя;
- через стан поверхні входу інструменту в зону обробки;
- через нерівномірність фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Причому, чим більше зусилля різання і чим м'якший матеріал, що обробляється, тим більша величина розбивки.

2). Зміна положення осі отвору щодо теоретичного (викривлення осі, рис. 10.27,б,в). Причини виникнення ті самі, як і під час розбивки. Викривлення осі може бути криволінійним при нежорсткому інструменті або прямолінійним відмінним від нормалі. Це може призвести в подальшому до проблем зі складання та експлуатації виробу.

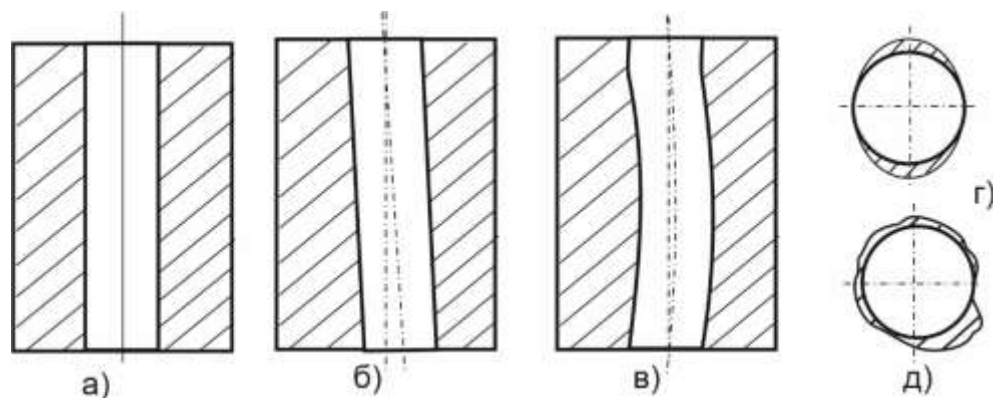


Рис. 10.27. Схема ухилу свердла та розбивки отвору: а – теоретичне положення осі отвору; б - прямолінійний ухил осі свердла; в – просторовий ухил осі свердла;

г – овальність; д – некруглість.

У технології машинобудування застосовуються різні методи виключення розглянутих вище проблем.

Найбільш поширеним є напрямок різального інструменту з використанням кондукторних втулок (рис. 10.28). Застосування кондукторних втулок змінює схему закріплення різального інструмента, тобто при дії радіальних складових сил різання з'являється додаткова опора, що значно зменшує викривлення інструменту. Через знос та відносно нетривалий термін служби направляючі втулки кондуктора необхідно змінювати. Тому в кондукторних пристосуваннях найчастіше використовують схему з двома втулками: постійна, яка запресовується в корпус з натягом, та швидкозмінна, для якої зазвичай використовується перехідна посадка H7/h6. Ця посадка застосовується в нерухомих з'єднаннях при високих вимогах до точності центрування з'єднань, що часто розбираються, саме таких, як змінні кондукторні втулки верстатних пристосувань.

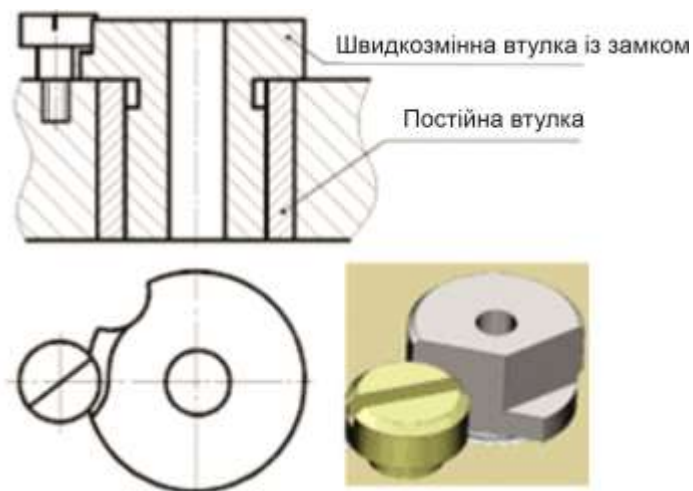


Рис. 10.28. Схема розташування кондукторних втулок під час обробки кінцевим інструментом.

Напрямок інструменту за допомогою кондукторних втулок поширюється практично на всі методи одержання отворів кінцевим різальним інструментом. Недоліком даного методу є більш швидке зношування стрічок і подовження ріжучої частини інструменту від зони обробки, що може значно збільшувати довжини інструменту, як мінімум на глибину втулки кондуктора.

Ще один поширений метод зменшення розглянутих вище похибок – це зміна стандартного заточування свердла для зниження зусилля різання та покращення відведення стружки (рис. 10.29).

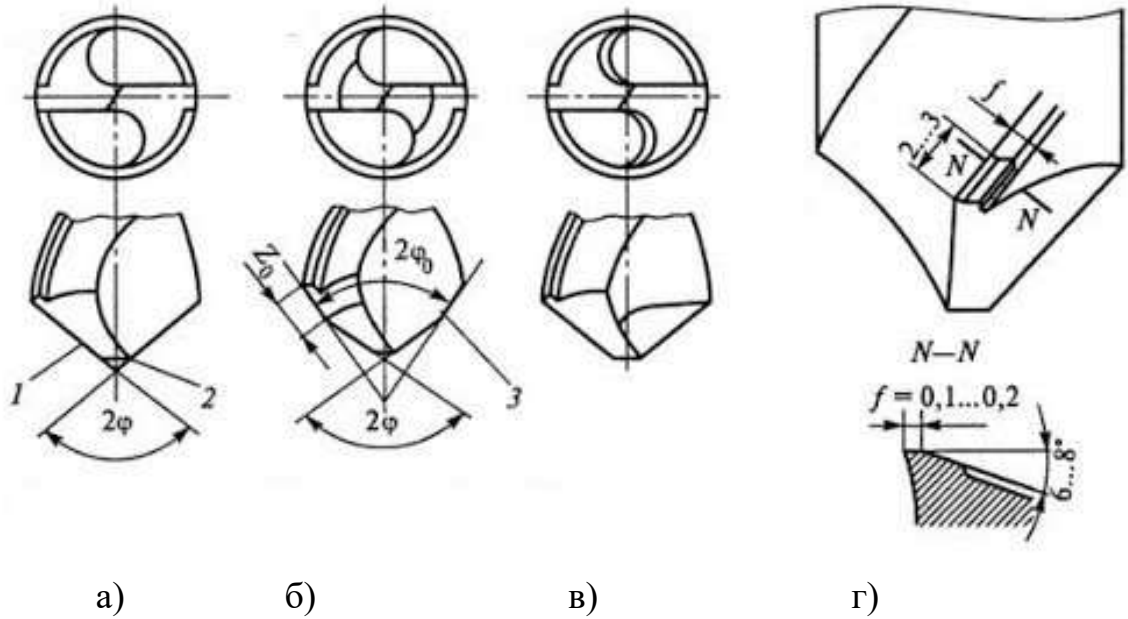


Рис. 10.29. Форми заточування спіральних свердлів: а – звичайне; б - подвійна; в – з підточкою поперечної перемички та стрічки; г - підточування стрічки; 1 - головна ріжуча кромка; 2 – поперечна ріжуча кромка; 3 - допоміжна ріжуча кромка.

3). Утруднення відведення стружки при обробці глибоких отворів із ставленням $L/d > 3$.

Для запобігання поломці свердла та покращення якості поверхні при обробці глибоких отворів використовують різні технологічні методи:

- обробка з вертикальною подачею знизу;
- застосування маятникової подачі або періодичне виведення інструменту із зони обробки (рис. 10.30);
- заміна гладкого отвору ступінчастим з перепадом діаметра $0,1 \pm 0,2$ мм для кожного ступеня;
- подача ЗОТС під тиском у зону обробки спеціальними каналами всередині ріжучого інструменту.

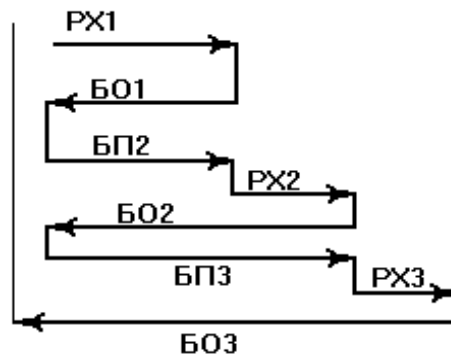


Рис. 10:30. Циклограма подачі свердла з періодичним виведенням інструменту (маятникова подача): РХ – робочий хід; БО - швидке відведення; БП - швидке підведення.

У міру розвитку машинобудування і верстатобудування все частіше фірми виробники обладнання рекомендують оригінальні конструкції сверدل, які мають певні переваги перед стандартними при використанні на їхньому устаткуванні. Так, наприклад, останнім часом широкого поширення набули ступінчасті свердла, одно- і двокромкові свердла зі змінними твердосплавними пластинами, свердла зі швидкозмінними головками та ін.

Ступінчасте свердло – особливий інструмент з обробки матеріалу та свердління наскрізних отворів. Зазвичай такі свердла випускають із спеціальним напиленням. Таке свердло дозволяє замінити цілий набір інструментів у одиничному та ремонтному виробництві. Порівняно зі звичайними спіральними свердлами ступінчасте має ряд переваг:

1. швидкість свердління вдвічі більше, якість кромки не погіршується навіть при обробці тонкого металу.
2. обробка надміцного металу, гостра конусна головка дозволяє врізатись у метал менше ніж за 1 секунду.
3. плавність ходу та ефективність обробки на 50% вище (порівняно зі звичайним свердлом)
4. висока точність свердління.

Застосування такого свердла особливо ефективно при обробці наскрізних отворів невеликої товщини (рівномірність знімання припуску) та при обробці

отворів досить великих діаметрів, коли для досягнення результату необхідно використовувати кілька свердлів.



Рис. 10.31. Ступінчасте свердло.

Свердло зі швидкозмінною головкою. Конструктивне свердла даної серії складаються з двох елементів: корпусу і ріжучої швидкозмінної твердосплавної головки, що механічно кріпиться до нього.

Корпус такого свердла (рис. 10.32) має низку наступних переваг:

- подача ЗОТС в зону різання здійснюється спіральними каналами корпусу, віддаленими від осі інструменту. Завдяки такому рішенню перетин каналів для відведення стружки збільшено на 30%. Це забезпечує покращений відвід стружки із зони різання, відмінну стійкість інструменту, підвищену продуктивність та зниження вібрації в процесі свердління;

- спеціальне зносостійке покриття, яке наносять на свердло, збільшує термін служби корпусу до 50%;

- для поліпшення відведення стружки з отвору внутрішню поверхню спіральних каналів після покриття додатково полірують;

- на корпус одного і того ж свердла можна встановлювати змінні ріжучі головки з різними зовнішніми діаметрами певного діапазону, що дозволяє скоротити номенклатуру інструментів, що використовуються.

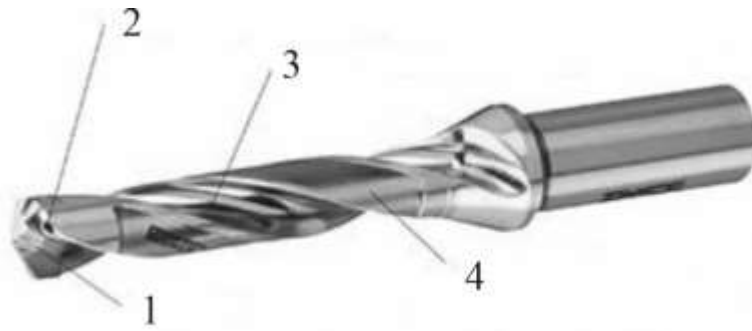


Рис. 10.32. Свердло зі швидкозмінною головкою: 1 – швидкозмінна головка; 2 - спіралевидні канали для подачі ЗОТС; 3 - шліфовані канали для легкого відведення стружки; 4 - покриття для підвищення стійкості свердла.

Свердло зі змінними твердосплавними пластинами призначене для швидкого та якісного виконання робіт зі свердління різних матеріалів (рис. 10.33). Завдяки змінним пластинам значно скорочується собівартість обробки, оскільки відсутня необхідність переточування інструменту.



Рис. 10.33. Двокромкове свердло з швидкозмінними твердосплавними пластинами.

Зенкерування.

Зенкеруванням називають напівчистову осьову обробку отворів і, дуже часто, одночасно з прилеглими до них поверхнями при обробці багатолезовим різальним інструментом. Кінематика формоутворення аналогічна свердлінню. Досягається точність 10÷12 квалітету; в залежності від розміру обробки величина припуску, що знімається, коливається від 0,2÷5мм. Зенкер формує отвір діаметра D з попередньо отриманого отвору діаметром d за рахунок обертання V та подачі Sz ріжучою кромкою забірного конуса з кутом φ (рис.10.34).

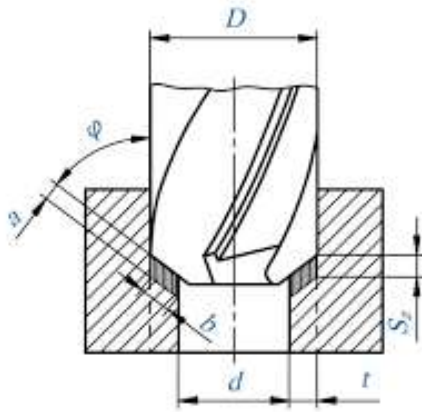


Рис. 10.34. Схема зенкерування отворів.

За рахунок меншої величини припуску t , що знімається, та більшої жорсткості інструменту, похибки, які пов'язані з розбивкою отвору та викривленням осі, є набагато меншими, ніж при свердлінні. Тому зенкерування використовується для корекції форми та розмірів отвору і, частково, поліпшення параметрів шорсткості поверхні. Для посилення технологічної системи ВПЗІ, як і при свердлінні, використовується напрямок інструменту по кондукторних втулках. Конструкції зенкерів різноманітні (рис. 10.35). Цілісні гладкі і ступінчасті застосовуються при незначних розмірах обробки (отвори до 35мм) (рис. 10.35,б,в); насадні (для обробки отворів діаметром у межах 24—100 мм); цілісні, з напаяними пластинами з твердого сплаву та з механічним закріпленням пластин з твердого сплаву – для отримання отворів великих діаметрів (рис. 10.35,г).

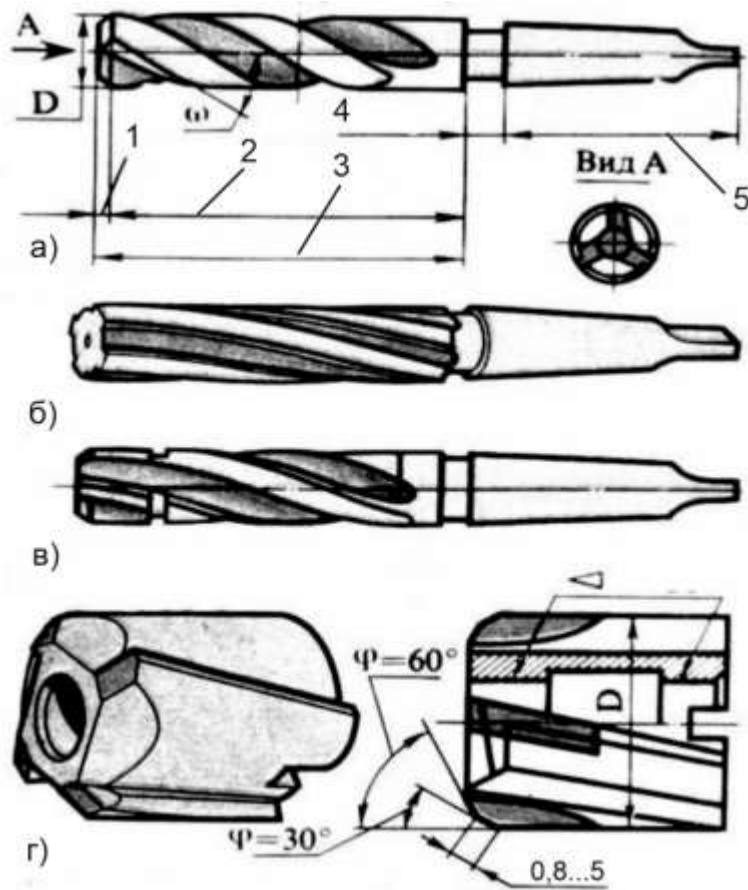


Рис. 10.35. Конструкція та виконання цілісних та насадних зенкерів: 1 – ріжуча частина; 2 - калібруюча частина; 3 – робоча частина; 4 – шийка; 5 – хвостовик.

Розгортання.

Кінематика формоутворення аналогічна свердлінню. Розгортання застосовується як чистова обробка циліндричних та конічних отворів з точністю $7\div 10$ квалітету. Розгортання не виправляє положення осі, а підвищує точність циліндричної поверхні та знижує її шорсткість; до 5 мкм після свердління; до $2,5\text{ мкм}$ після зенкерування; до $1,25\text{ мкм}$ після чорнового розгортання, а спеціальними розгортками и менш. Розгортання є останньою операцією чистової обробки отвору, тому в залежності від діаметра отвору чорновою розгорткою можна знімати припуск по діаметру в межах $0,2\div 0,3\text{ мм}$, а чистовою – $0,05\div 0,2\text{ мм}$ в залежності від діаметру обробки. Під час знімання більшого шару металу розгортка швидко затуплюється.

Розгортка формує отвір діаметра D із попередньо отриманого отвору діаметром d за рахунок обертання V та подачі Sz ріжучою кромкою забірного конуса з кутом φ (рис.10.36).

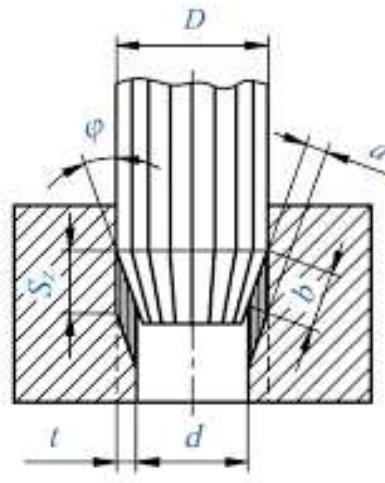


Рис.10.36. Схема розгортання отворів.

Найчастіше використовуються розгортки прямозубої конструкції для ручного та машинного розгортання. На рисунку 10.37 наведено конструкцію ручної розгортки з квадратним хвостовиком для кріплення інструменту.

Ручне розгортання можливе завдяки невеликим зусиллям різання і моменту, що крутить (знімається незначний припуск, тому навантаження невеликі), та широко застосовується при ремонті машин. У машинних розгортках хвостовик виконується як гладкий циліндр чи конус Морзе, аналогічно свердлам. Під час обробки отворів великих діаметрів можливе застосування насадних розгортток, конструкція яких аналогічна конструкції насадного зенкера (рис. 10.38).

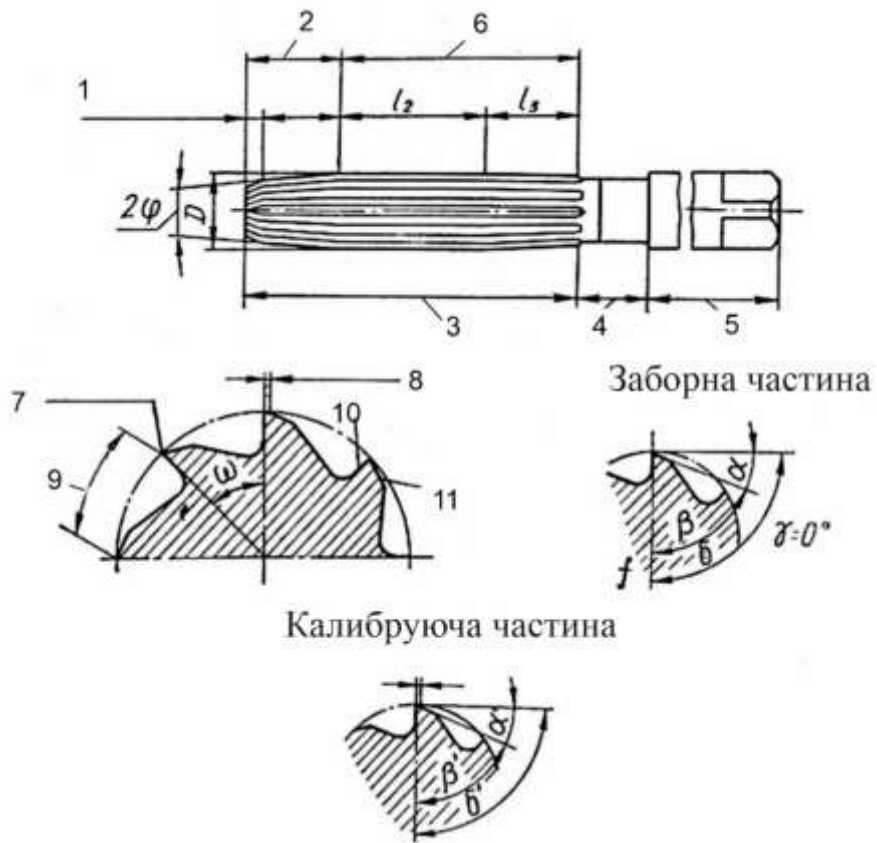


Рис. 10.37. Конструкція ручної цільної розгортки: 1 – напрямний конус; 2 – ріжуча частина; 3 – робоча частина; 4 – шийка; 5 – хвостовик; 6 - калібруюча частина; 7 - головна ріжуча кромка; 8 – стрічка; 9 – крок зубів; 10 – передня поверхня; 11 – задня поверхня.

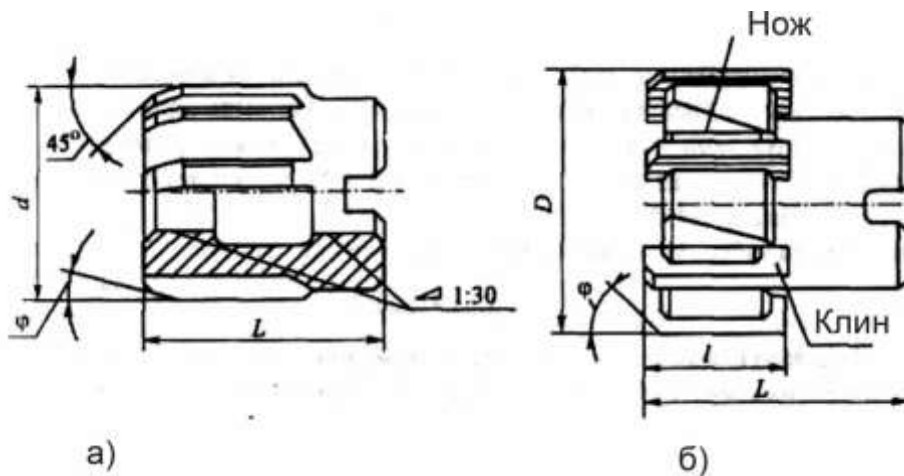


Рис. 10.38. Насадні розгортки: а) цілісні; б) з механічним кріпленням пластини.

При високих вимогах до параметрів шорсткості використовують однолезове вигладжування розгортками, при цьому досягається шорсткість $Ra=0,1\text{мкм}$. На рисунку 10.39 наведена конструкція однолезової розгортки. Однолезова розгортка складається з корпусу 1, ріжучого ножа 3, двох або трьох (залежно від діаметра розгортки) твердосплавних напрямних 5, прихвату 7, двостороннього затискного гвинта 4, опорного штифта 6 і двох регулювальних гвинтів 2, за допомогою яких через опори можна зміщувати ріжучий ніж.

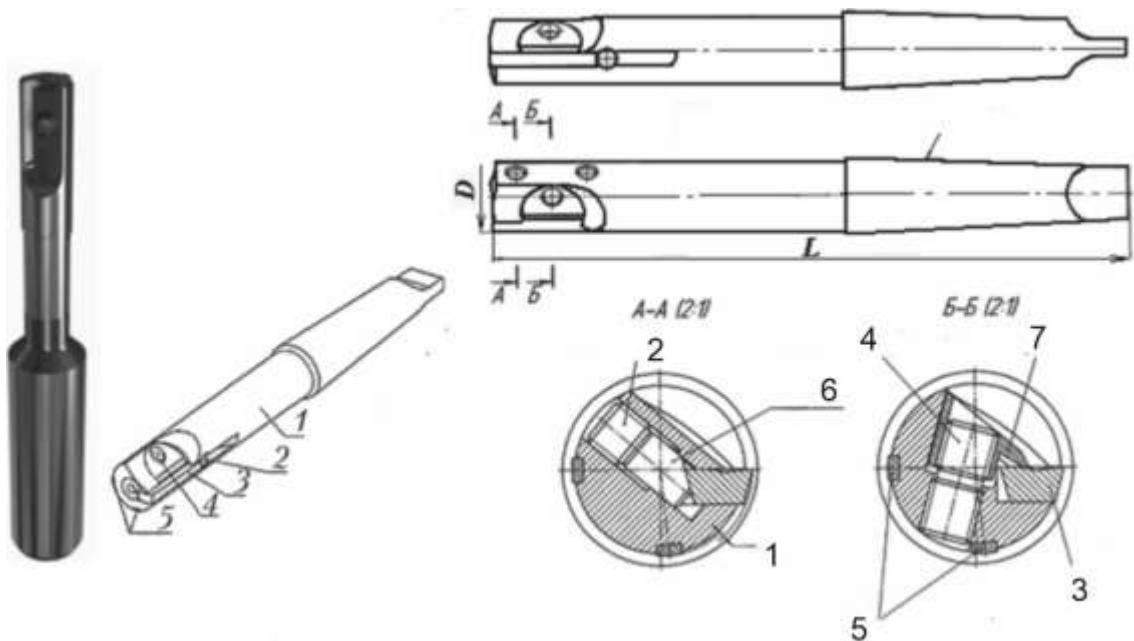


Рис. 10.39. Однолезова розгортка: а-фотографія; б- загальний вигляд; в- конструкція.

Ріжучий ніж є пластиною, єдиною за розмірами для розгортки будь-якого діаметра в певному діапазоні. Передня та задня робочі грані, а також вузька циліндрична стрічка пластини досить великої протяжності мають шорсткість $Ra=0,1\text{мкм}$, прямолінійність робочої кромки знаходиться в межах одного мікрметра. Передній кінець ножа має забірний конус. Напрямні пластини закріплені в корпусі пайкою, їх циліндричні поверхні мають також шорсткість $Ra=0,1\text{мкм}$. Вони не тільки виконують роль підтримки розгортки при роботі, але й вигладжують поверхню, що обробляється, за рахунок пластичного деформування. Регулювання дозволяє отримувати необхідні розміри в межах різних

посадок JT 5÷7 квалітету точності. Дуже важливою особливістю конструкції однолезового розгорнення є те, що передній торець ножа знаходиться попереду напрямних. Таким чином, розгортка починає роботу як однолезовий розточувальний різець, що виправляє положення осі отвору. Напрямні пластини входять в отвір правильного розташування, підтримують розгортку і вигладжують оброблену поверхню.

При розгортанні кріплення інструменту в патрон зазвичай «плаває» або «коливається». Оправка, що коливається (рис. 10.40,а), складається з хвостовика 1, шарнірно-з'єданого віссю 2 з оправкою 4, в конус якої встановлена розгортка 3. В отворі корпусу 1 встановлюється частина оправки 4 з розгорткою 3 та кріпиться двома штифтами 2 із зазором. Оправка, що коливається, закріплюється в шпинделі верстата конічним хвостовиком 1.

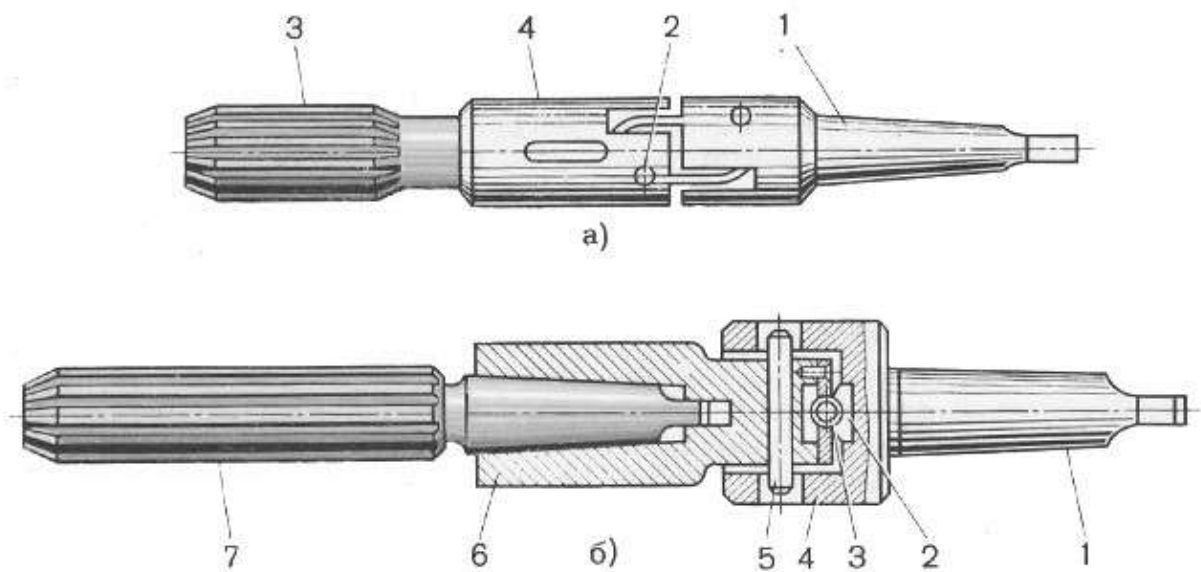


Рис. 10.40. Оправки, що коливаються, для операцій розгортання.

На рисунку 10.40,б показана інша конструкція оправки, що коливається, з встановленою розгорткою. Вона також з'єднується зі шпинделем верстата конічним хвостовиком 1. В отворі корпусу 4 штифтом 5 кріпиться з зазором частина оправки 6, що коливається, з розгорткою 7. Торець оправки упирається кулькою 3 в під'ятник 2. Завдяки такому пристрою розгортка може приймати положення, що співпадає з віссю отвору, що розгортається.

Значний вплив на шорсткість і точність отвору, що розгортається, надає мастило і охолодження. За відсутності охолодження та мастила відбувається розбивка отвору: отвір виходить нерівним, шорстким (особливо при нерівномірному ручному розгортанні) і, крім того, виникає небезпека защемлення та поломки розгортки. Тому при розгортанні рекомендується використання різних ЗОТС залежно від матеріалу обробки.

Зенкування.

Операція отримання коротких конічних поверхонь (обробки циліндричних гнізд, фасок) у попередньо оброблених отворах (рис.10.41.).



Рис. 10.41. Операція зенкування посадкової поверхні під головку гвинта.

Для зенкування використовують спеціальний різальний інструмент - зенковки, які дозволяють обробити фаски до 200мм. Для досягнення співвісності з опрацьованими отворами зенковки можуть виконуватися з направляючою цапфою. Зенковки конічні застосовують для обробки конусних гнізд центрових отворів. Конусна частина зенковки може бути заточена під кутом 60° , 90° та 120° . В індивідуальному та ремонтному виробництві для отримання таких конусних отворів часто використовують звичайні спіральні свердла з відповідним заточуванням ріжучих кромки під кутом 90° .

У одиничному та ремонтному виробництві при зенкуванні дуже часто використовують свердла зі спеціальним заточуванням, коли кут розташування ріжучих кромки відповідає куту посадкової поверхні гвинта.

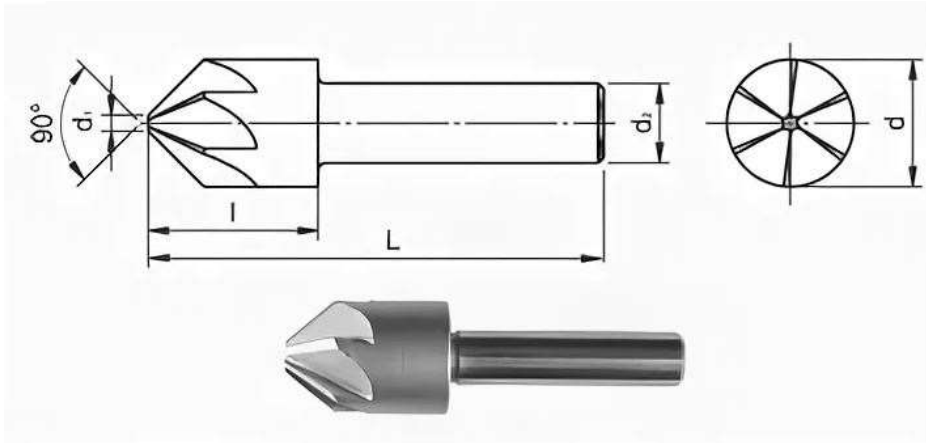


Рис. 10.42. Конструкція зенковки з циліндричним хвостовиком: l – довжина робочої частини; L – загальна довжина інструмента; d_1 - мінімально можливий діаметр гнізда; d – максимально можливий діаметр гнізда.

При невисоких вимогах до якості і точності поверхні, та незначних розмірів фасок, що знімаються у наскрізних отворах з двох сторін, використовують спеціальний різальний інструмент (рис.10.43). Його конструкція заснована на принципах пружної деформації ріжучих кромки, які виконані у вигляді двох пелюсток, що переміщуються у радіальному напрямку під дією радіальної складової зусилля різання. Обробка здійснюється і при прямій, і при зворотній подачі інструменту, що обертається. Зазвичай знімається фаска до 1мм.

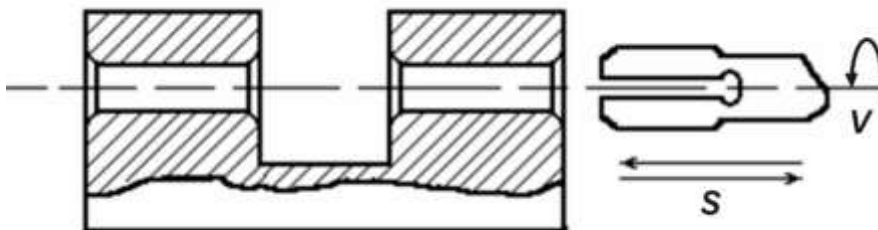


Рис. 10.43. Схема обробки закритих фасок в отворі спеціальним інструментом.

Цекування.

Цекування – це операція формування посадкової площини, перпендикулярної осі отриманого отвору (рис. 10.44). Кінематика формоутворення аналогічна свердлінню (обертання інструменту зі швидкістю V і лінійне переміщення зі швидкістю S). Таким методом обробляють бобишки та опорні торці під шайби,

упорні кільця, гайки та ін. Інструментом є торцеві зенкери – цековки, які мають ріжучі кромки як по торцю, так і, частково, по периферії інструменту.

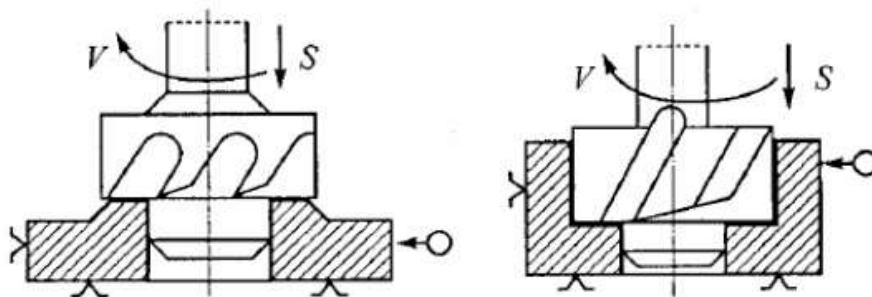


Рис. 10.44. Цекування відкритої та неглибокої закритої поверхні.

Для отримання відкритої опорної площини при цекуванні необхідно, щоб діаметр інструменту був більший за діаметр опорної площини і був попередньо оброблений отвір для забезпечення процесу різання. У деяких наукових джерелах процес формоутворення закритої опорної площини розглядається як операція зенкування з кутом 180° .

Забезпечення перпендикулярності осі отвору та посадкової площини здійснюється за рахунок напрямного елемента – цапфи.

При відсутності попередньо обробленого отвору необхідно, щоб радіус цековки перевищував радіус оброблюваної поверхні, в цьому випадку цековка виступає як кінцева фреза (бічні грані теж частково беруть участь у процесі різання) з вертикальною подачею інструменту.

У деяких випадках для обробки опорних плоских поверхонь без попереднього отвору використовують цековки зі зміщеними щодо осі обертання зубами.

У процесі обробки цековкою з рівномірним кроком зубів може виникати ограновування поверхні. Щоб уникнути ограновування опорної площини, застосовують спеціальний інструмент з нерівномірним кроком ріжучих зубів.

Обробка співвісних отворів.

Співвісні отвори щодо невеликих діаметрів у масовому виробництві зазвичай обробляють комбінованим кінцевим різальним інструментом. Це дозволяє значно підвищити точність взаємного розташування оброблюваних поверхонь

(співвісність), так як тут точність формується тільки точністю взаємного розташування ділянок ріжучого інструменту, який може бути виконаний досить точно. З іншого боку, застосування комбінованого інструменту скорочує допоміжний час виконання операції за рахунок відсутності дій, пов'язаних зі зміною інструменту, відведенням та підведенням шпинделя для здійснення зміни, а у разі обробки на агрегатних верстатах – скорочує кількість позицій обробки, що дозволяє значно скоротити технологічну собівартість виготовлення деталей. На рисунку 10.45 наведено типові конструкції комбінованого кінцевого інструменту.

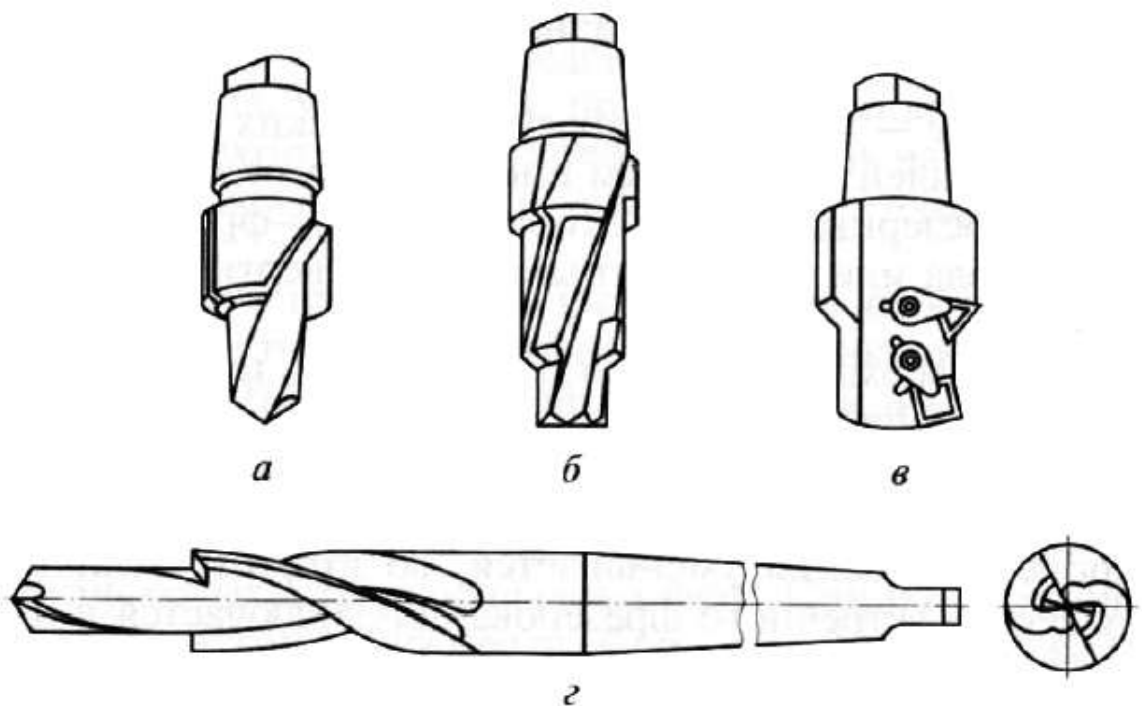


Рис. 10.45. Комбінований інструмент: а – свердло-зенкер; б - ступінчастий зенкер-зенківка; в – збірний ступінчастий зенкер-зенківка; г – ступінчасте свердло.

10.3.2. Розточування.

Один із найпоширеніших методів отримання попередньо оброблених отворів. Кінематика формоутворення аналогічна точінню. Формоутворюючою лінією служить коло, яке при поздовжньому переміщенні інструменту забезпечується траєкторією руху ріжучої кромки при обертанні, а напрямною – переміщення ріжучої кромки вздовж осі обертання. При поперечній подачі інструменту формоутворюючою лінією є різальна кромка різця (пряма або фігурна лінія),

а напрямною – переміщення ріжучої кромки завдяки поперечному руху подачі. Ця операція може виконуватися на токарних і спеціальних верстатах з використанням різних різців (рис. 10.46).



Рис. 10.46. Процес розточування та ріжучий інструмент.

На токарних верстатах розточуються короткі циліндричні та конічні поверхні за рахунок різця, встановленого в супорт (рис. 10.47).

Точність розточування на універсальних токарних верстатах нижче, ніж на розточувальних.

На розточувальних верстатах різальний інструмент закріплюється в борштанзі, яка може бути виконана за консольною схемою (рис. 10.48,а), або мати додаткову опору для забезпечення більш високої жорсткості системи ВПЗІ (рис. 10.48,б). Розточувальні верстати також можуть забезпечувати обробку циліндричних отворів за рахунок планетарної траєкторії руху інструменту в шпинделі (вихрова обробка, рис. 10.48,в), та конічних поверхонь (рис. 10.48,г).

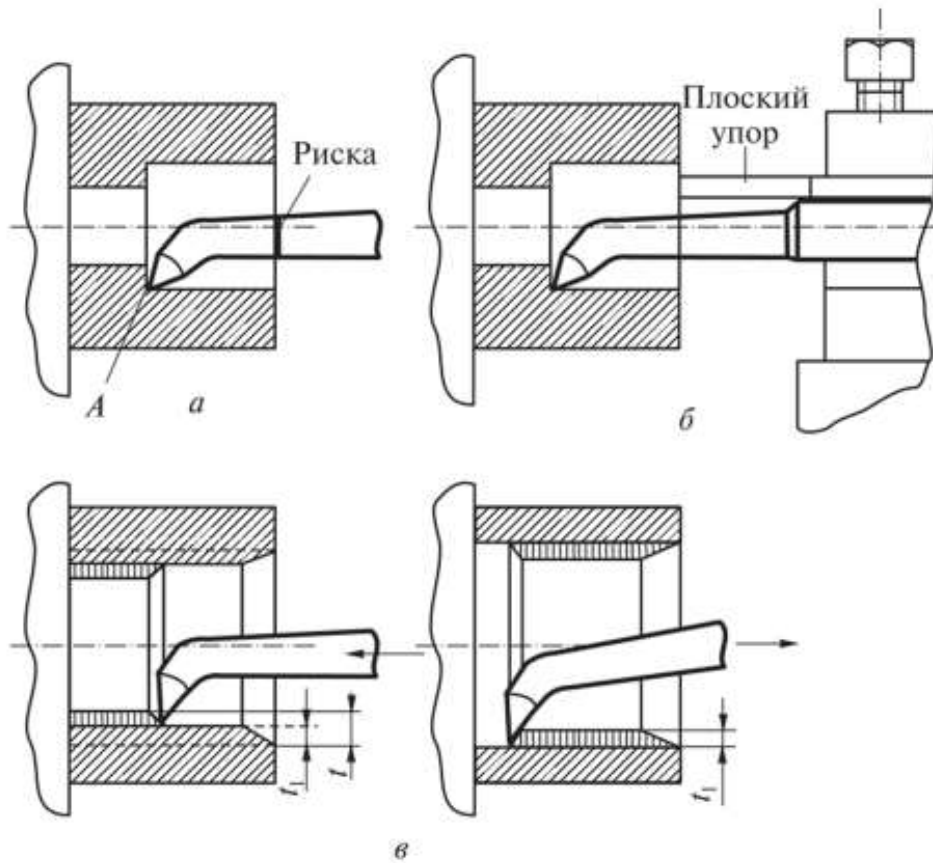


Рис. 10.47. Розточування отворів на токарному верстаті: а – на задану довжину з використанням риски; б - на задану довжину з використанням упору; в – знімаючи припуск t за два робочі ходи, прямому і зворотному.

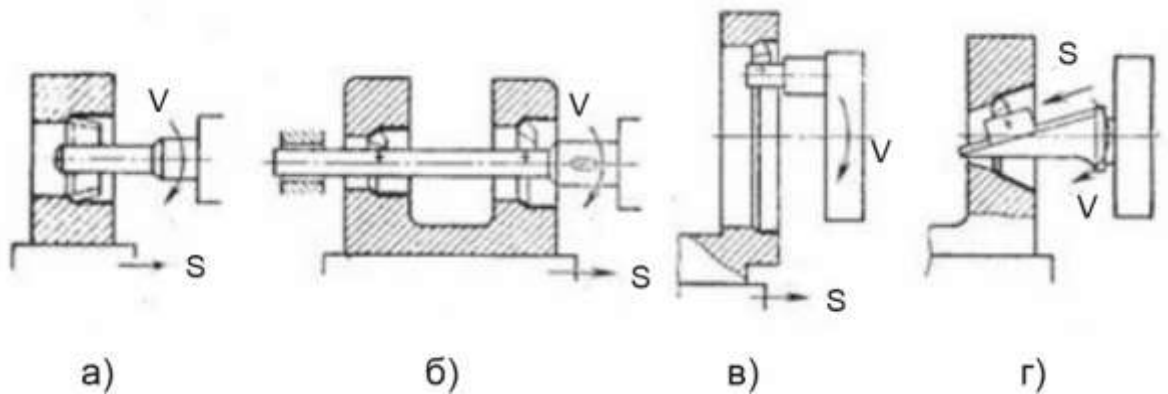


Рис. 10.48. Схеми розточування отворів на верстаті.

Операція розточування дозволяє формувати різноманітні закриті канавки (рис. 10.49). Вузькі канавки формуються профілем різця за рахунок поперечної подачі (рис. 10.49,а). Довгі канавки формуються з допомогою поєднання поперечного і поздовжнього руху подачі (рис. 10.49,б).

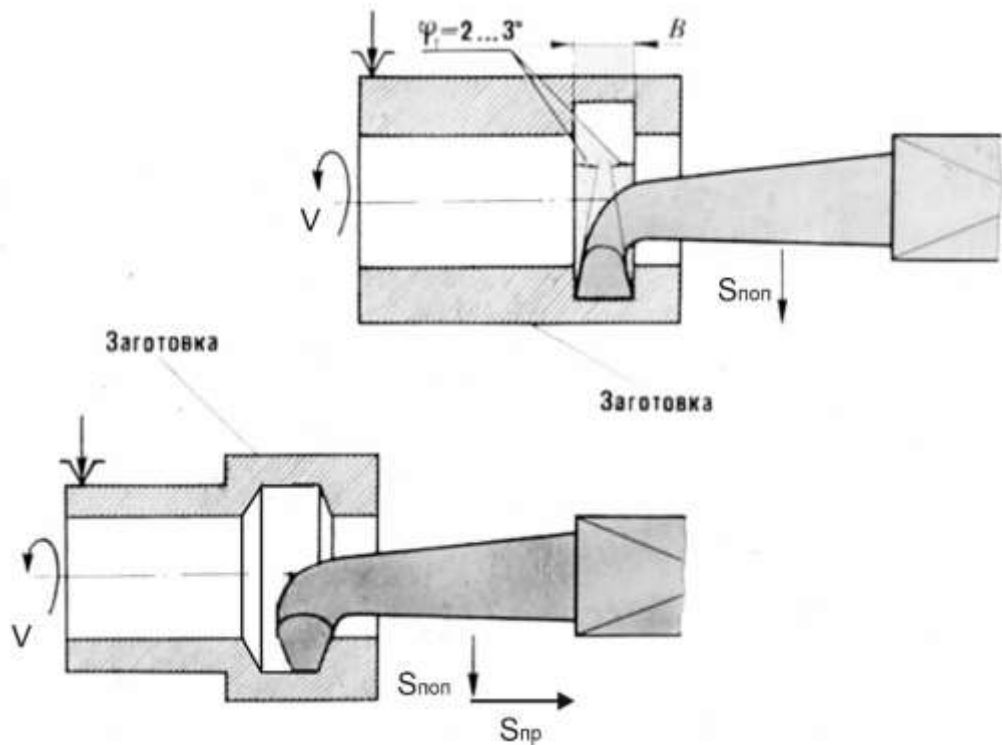


Рис. 10.49. Розточування канавок: а – вузьких; б – довгих.

10.3.3. Шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь.

Формоутворюючою поверхнею служить коло, яке отримано траєкторією руху заготовки, а напрямної – переміщення шліфувального кола вздовж осі обертання. Ця операція може виконуватися на шліфувальних верстатах з використанням різних типів шліфувальних кіл (рис. 10.50). У серійному та масовому виробництві при шліфуванні досягається 6 квалітет точності та шорсткість до $Ra=0,63\text{мкм}$.



Рис. 10.50. Процес шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь та види шліфувальних кіл.

Отвори та закриті канавки на внутрішньошліфувальних верстатах формують різними методами (рис. 10.51): з використанням поздовжньої подачі; з використанням поперечної подачі (врізне); безцентрове.

При шліфуванні за поздовжньою схемою (рис. 10.51,а) обробка ведеться за кілька робочих ходів у прямому та зворотному напрямку лінійного переміщення кола зі швидкістю S_{np} . (Ширина кола $B < L$ вибирається зі стандартного ряду). Наприкінці кожного циклу проводиться поперечне переміщення кола на величину припуску S_{nop} , що знімається за один робочий хід. У багатьох випадках заключний прохід шліфувального кола виконують без поперечної подачі, так зване виходжування поверхні, що дозволяє дещо підвищити параметри шорсткості. Для забезпечення гарантованого виходу шліфувального кола із зони обробки виконується перебіг інструменту. Перебіг кола за межі поверхні звичайно приймають рівним $1/3$ його ширини, але не більше $1/2$ ширини кола.

Шліфування за поперечною (врізною) схемою здійснюється тільки за рахунок поперечної подачі шліфувального кола (рис. 10.51,б,в,г). При цьому обробляються короткі циліндричні поверхні, а шліфувальне коло підбирається з розрахунку $B > L$. За такої схеми обробки коло виводиться із зони обробки тільки після завершення шліфування або для його правки.

При шліфуванні отворів особлива увага приділяється вибору розміру шліфувального кола. Найбільш ефективно застосовувати шліфувальне коло, близьке за розмірами до діаметра шліфувального отвору. При обробці $d < 30 \text{ мм}$ різниця D кола та d отвору рекомендована до 3 мм. За великих діаметрів ця величина зростає. Оптимальним вважається співвідношення $D = 0,8 \div 0,9 d$. При невеликій різниці між діаметром кола та отвору утворюється велика поверхня контакту кола із заготовкою, що призводить до концентрації теплоти на оброблюваній поверхні та можливість появи припіку. Щоб уникнути цього, застосовуються м'які шліфувальні кола та знижують швидкості різання.

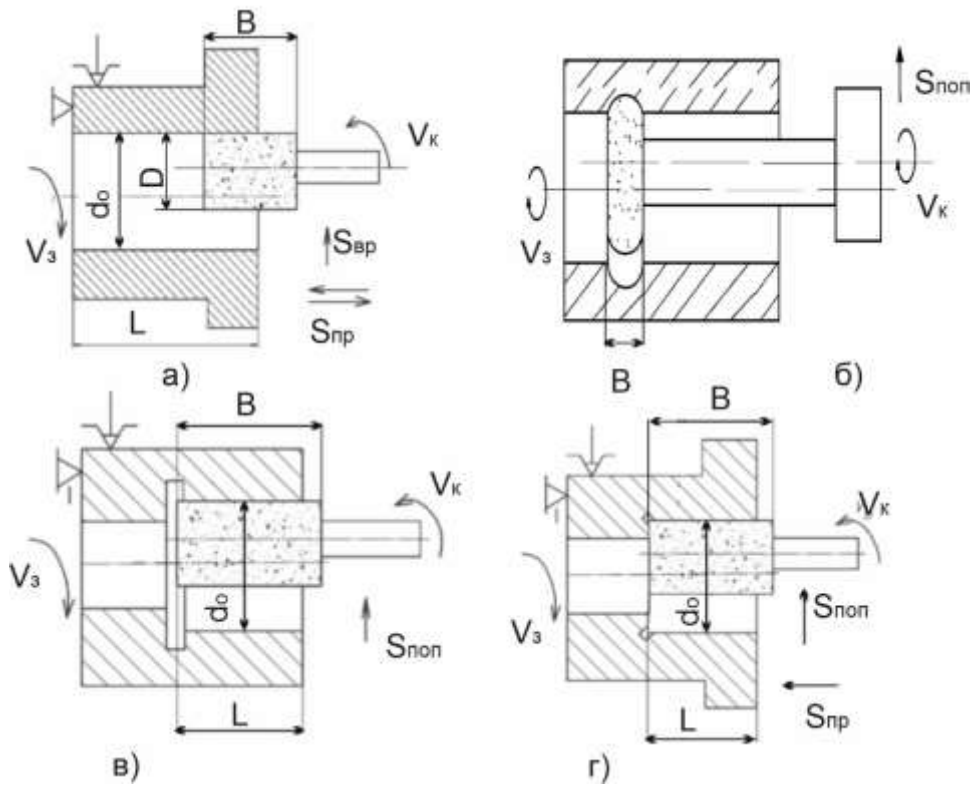


Рис. 10.51. Схеми шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь під час встановлення заготовок у патроні: а – поздовжнє; б - врізне канавок; в – врізне вільне; г - врізне з обробкою торця.

Безцентрове внутрішнє шліфування виконують за схемою, наведеною на рисунку 10.52, що дозволяє забезпечити хорошу центричність зовнішніх та внутрішніх поверхонь за рахунок схеми базування заготовки .

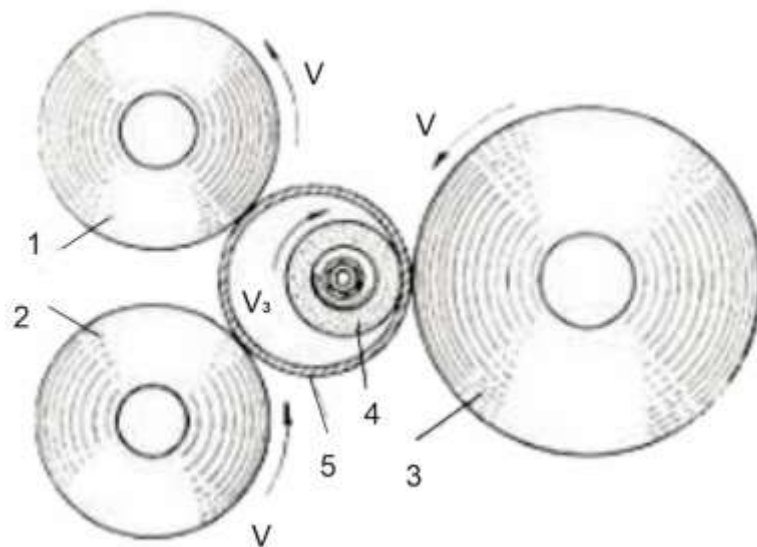


Рис. 10.52. Схеми безцентрового внутрішнього шліфування.

Заготовка 5, попередньо прошліфована по зовнішньому діаметру, спрямовується та підтримується трьома роликами. Один з роликів великого діаметра 3 (провідний ролик) обертає заготовку і в той же час утримує її від можливого обертання з великою швидкістю від шліфувального кола 4. Верхній натискний ролик 1 притискає заготовку до провідного ролика 3 і нижнього підтримуючого ролика 2. Заготовка, що затиснута між трьома роликами, обертається зі швидкістю провідного ролика. При зміні виробів натискний ролик 1 відходить вліво і, звільняючи виріб, дозволяє вставити вручну або автоматично нову заготовку. При шліфуванні заготовок, зовнішній діаметр яких менше 35мм, опорний ролик замінюють ножом.

10.3.4. Протягування.

Внутрішнє протягування застосовується при обробці круглих, шліцевих, гвинтових канавок та різних пазів і є високопродуктивним методом обробки. Формоутворюючою поверхнею є ріжуча частина протяжки, а направляючою – переміщення ріжучої кромки вздовж осі отвору в заготовці (рис. 10.53). Діаметр обробки від 5 до 400мм, довжина до 10м. Найчастіше циліндричні протяжки працюють у діапазоні діаметрів 10÷75мм, довжиною до 2м. Досяжна точність 7÷9 квалітет, $Ra = 2,5 \div 0,32 \mu\text{м}$. Параметри точності та шорсткості визначаються характеристиками заготовки та конструкцією протяжки.

На рисунку 10.54 наведено схеми протягування циліндричних (а), квадратних (б), шліцевих (в) та гвинтових (г) поверхонь.

Протягування використовується в більшості випадків у багатосерійному та масовому виробництві, що пов'язано зі складністю конструкції, експлуатації та вартістю протяжок, які, за винятком протяжок для шпонкових та шліцевих пазів, проектуються, а потім виготовляються для формування конкретної поверхні. Розрізняють одно- або багатопрхідні протяжки - залежно від того, скільки протяжок міститься в одному робочому комплекті; працюючі за ступінчастою, профільною або прогресивною методикою – залежно від того, яким способом з поверхні деталі знімається припуск.



а)



б)

Рис. 10.53. Процес протягування внутрішніх отворів (а) та конструкції протяжок (б) .

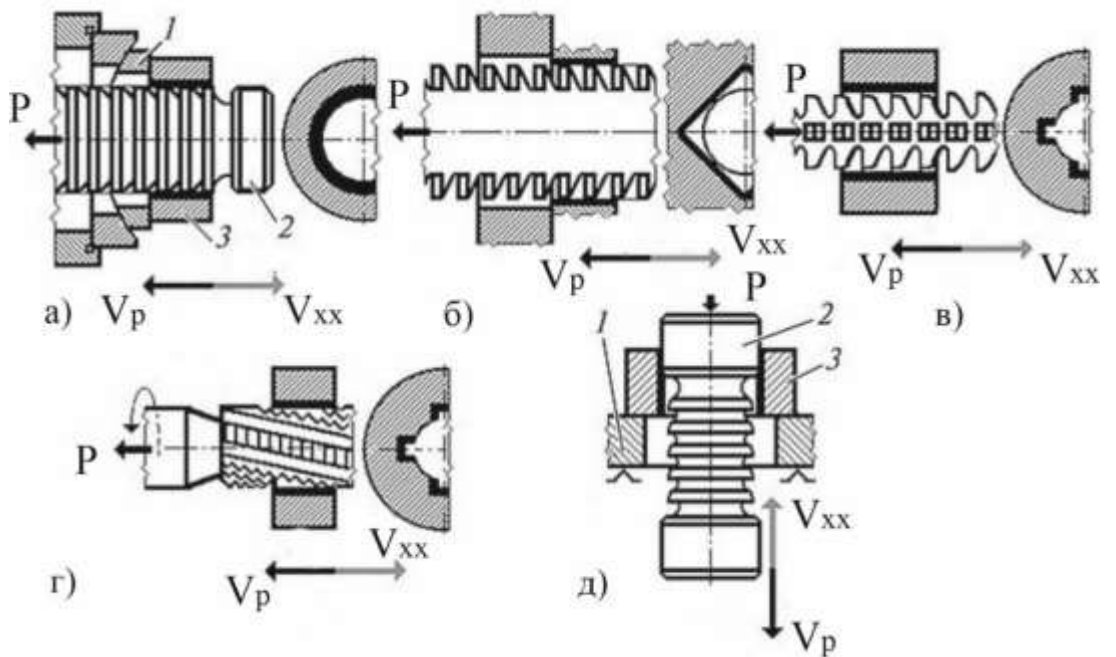


Рис. 10.54. Конфігурація поверхонь, що протягуються.

На рисунку 10.55. наведено схему протяжки з основними робочими зонами інструменту.

Протягування здійснюється на горизонтально-протяжних та вертикально-протяжних верстатах різних конструкцій.

При горизонтальній схемі протягування захоплення верстата тягне захоплену частину протяжки з силою P та обробляє нерухому заготовку (рис. 10.54,а-д). У процесі обробки допускається обертання протяжки навколо осі для забезпечення гвинтових канавок, пазів та ін. (рис. 10.54,г).

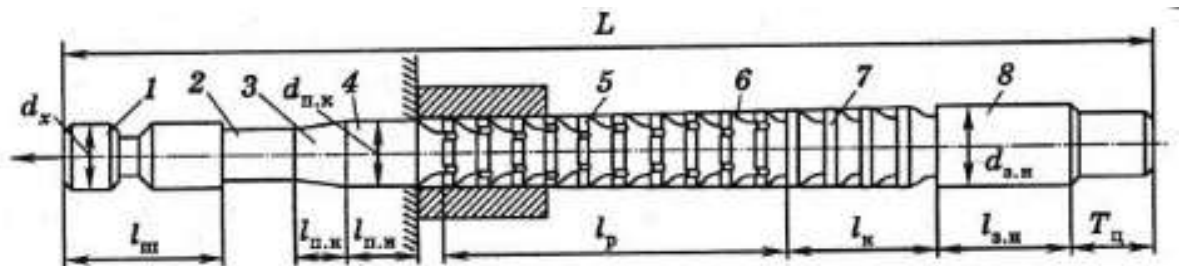


Рис. 10.55. Протяжка та її основні елементи : $l_{ш}$ – довжина шийки під кулачки патрона; $l_{п.к.}$ - довжина перехідного конуса; $l_{п.н.}$ - довжина передньої напрямної; l_p - Довжина ріжучої частини; $l_{до}$ - довжина калібруючої частини; $l_{з.н.}$ - довжина задньої напрямної; $T_{ц}$ - довжина цапфи; 1 – шийка для закріплення захоплення; 2 – поверхня захоплення; 3 - напрямний конус; 4 - передня частина, що калібрує; 5 – ріжучі зуби; 6 – западини ріжучих зубів; 7 - калібруючі зуби; 8 - задня калібруюча частина.

Вертикальна схема має ряд переваг (покращення умов охолодження та відведення стружки, спрощення установки заготовок, покращення захоплення протяжки), проте недоліком застосування вертикальної схеми є велика висота верстатів. Сучасні протяжні верстати зазвичай працюють за схемою фіксованого вертикального положення протяжки та вертикальним переміщенням столу із встановленою заготовкою у процесі обробки. Такі верстати мають низку переваг:

- менша висота верстата;
- простота встановлення заготовки;
- простота в обслуговуванні.

На рисунку 10.54,д представлена альтернативна схема прошивки отвору. Сила різання P додається зверху. Однак робота з довгими прошивками утруднена через поняття «нестійкість стрижня».

10.3.5. Хонінгування.

Вид абразивної обробки матеріалів із застосуванням хонінгувальних головок (хонів). В основному застосовується для обробки внутрішніх циліндричних отворів шляхом суміщення обертального та поступально-поворотного руху хону із закріпленими на ньому розсувними абразивними брусками з рясним зрощенням оброблюваної поверхні ЗОТС (рис. 10.56). Обробляють деталі із сталі, чавуну, кольорових металів. Досяжна точність $8\div 6$ квалітет та $Ra=1\div 0,16\mu\text{м}$. Діаметр обробки від 6 до 1500мм, довжина від 10мм до 20м.



а)



б)

Рис. 10.56. Процес хонінгування блоку циліндра (а) та приклад хона (б).

Застосовується для часткового зменшення відхилень форми поверхні, незначного збільшення точності діаметрального розміру та забезпечення необхідного показника шорсткості поверхні отворів блоку циліндрів (напрямок та глибина рисок). Для надійного утримання олії на поверхні циліндра, стінка останнього повинна мати певну шорсткість, тому що абсолютно гладка стінка не здатна утримати на собі олію, в кількості, необхідній для нормального змащування

кілець поршню. З абсолютно гладкої, дзеркальної поверхні масло буде зніма- тися майже повністю, масло, що залишилося, згорятиме, а нової олії, необхідної для нормального змащування надходити не буде. Таким чином формувати- муться умови для сухого тертя, яке спричиняє підвищений знос.

Остаточні параметри поверхні отвору можуть формуватися з використан- ням кількох хон, оснащених абразивними брусками різною зернистістю (абра- зивні матеріали з розміром зерна 1/150мм. на початкових стадіях обробки та із зерном від 1/300 до 1/500 мм, для досягнення остаточного розміру) .

На рисунку 10.57,а наведено схему роботи хонінгувальної головки. Хонін- гувальна головка 1 обертається зі швидкістю V і одночасно здійснює зворотно- поступальний рух S уздовж осі отвору заготовки 2. При цьому зерна абразивних брусків 3 утворюють подряпини на поверхні заготовки (рис.10.57,б). Відно- шення швидкостей зазначених рухів становить 1/10 та визначає умови різання. Зазвичай бруски працюють в умовах самозаточування і не вимагають виправ- лення.

Операція хонінгування практично не виправляє положення осі попередньо опрацьованого отвору. У зв'язку з цим при проектуванні технологічного нала- годження застосовуються різні способи відносного закріплення заготовки та хо- нінгувальної головки (плаваюче кріплення деталі та жорстке кріплення головки та навпаки) (рис.10.58).

Найчастіше при обробці використовують схеми в) та г).

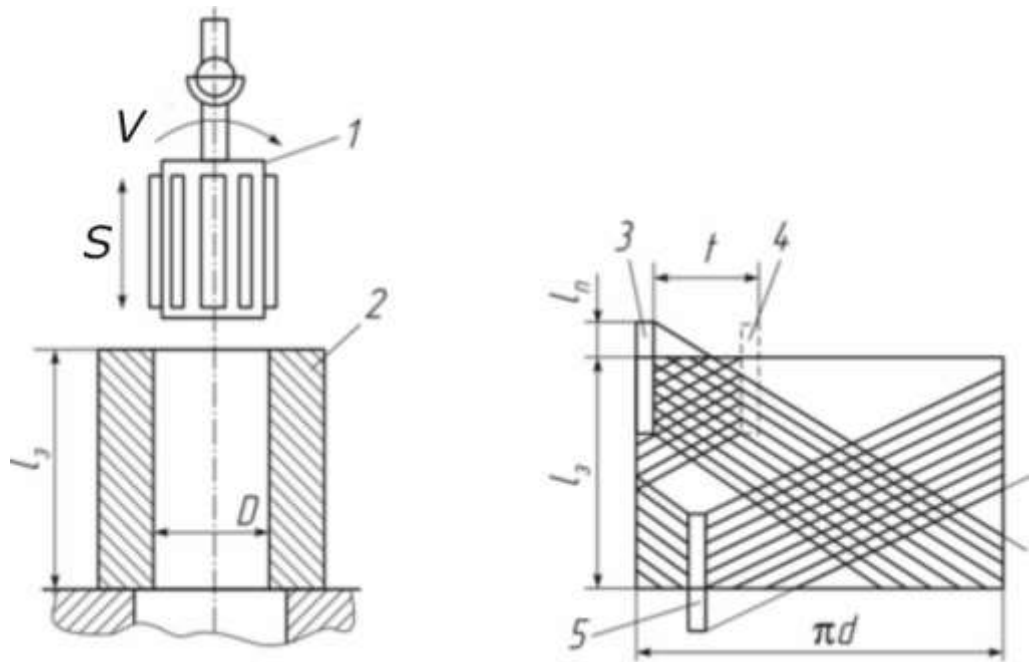


Рис. 10.57. Схема роботи хонінгувальної головки: 1 хона; 2 – заготовка; 3,4,5 – положення хонінгувальних брусків у процесі обробки.

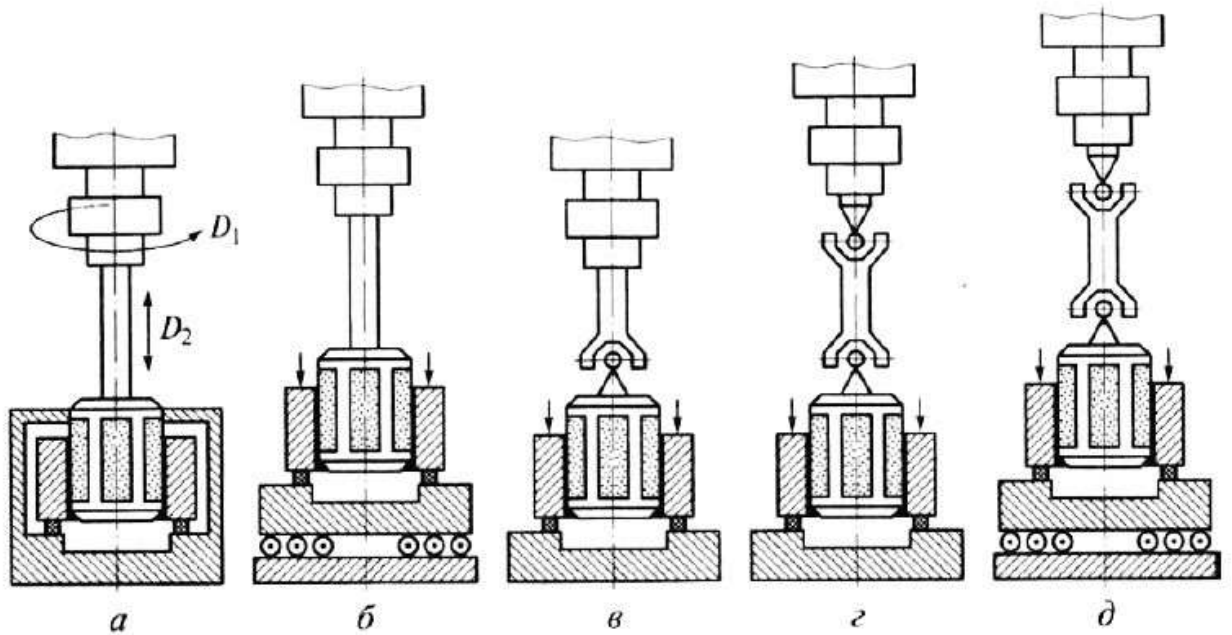


Рис. 10.58. Схема кріплення хона за різної кількості ступенів свободи заготовки: а – жорстке при двох ступенях свободи заготовки; б - жорстке при чотирьох ступенях свободи заготовки; в – одношарнірний при двох ступенях свободи заготовки; г - двошарнірне при двох ступенях свободи заготовки; д - двошарнірне при чотирьох ступенях свободи заготовки.

Конструкція хонінгувальних головок може бути різна з точки зору забезпечення тиску шліфувальних брусків на оброблювану поверхню: хони з пружними брусками (при обробці отворів не виправляються такі похибки форми, як непрямолінійність осі отвору); хони з жорстким кріпленням брусків (при обробці відбувається часткове виправлення похибок форми із втратою точності обробки).

10.3.6. Дорнування.

Процес дорнування (деформуючого протягування, прошивання) полягає у холодному пластичному деформуванні отвору заготовки при поступальному переміщенні через отвір з деяким натягом спеціального інструменту. Формотворчою лінією є коло основного перерізу інструменту, а направляє лінійне переміщення інструменту вздовж осі отвору. При дорнуванні відбувається підвищення точності отворів до 6÷7 квалітету, інтенсивне згладжування мікронерівностей $Ra = 0,1 \div 0,05 \mu\text{м}$ та зміцнення поверхневого шару. Після дорнування в поверхневому шарі формуються стискаючі залишкові напруги.

Як інструмент при дорнуванні використовують сталеві та твердосплавні кулі, однозубі та багатозубі прошивки (рис. 10.59). Робоча частина зубів дорнів у більшості випадків оформляється у вигляді двох усічених конусів, з'єднаних циліндричною стрічкою 0,1÷3,0мм. Для виготовлення дорнів практично завжди доцільно застосування твердих сплавів, групи ВК, що забезпечують високу стійкість інструментів і усувають в переважній більшості випадків захоплення оброблюваного та інструментального матеріалів.



Рис. 10.59. Конструкції дорнів: а – кульова; б - однозуба зустрічних конусів; в – елементи конструкції дорнів .

10.3.7. Полірування.

Процес полірування внутрішніх циліндричних поверхонь не відрізняється від процесу шліфування ні з точки зору кінематики формоутворення внутрішніх циліндричних поверхонь, ні з точки зору схеми обробки та абразивних матеріалів, що застосовуються, розглянутих у п. 10.2.3.3.

Запитання для самоконтролю:

- 1. Які основні методи отримання внутрішніх циліндричних поверхонь?*
- 2. Які основні рухи кінематики формоутворення для отримання внутрішніх циліндричних поверхонь кінцевим інструментом?*
- 3. Які методи обробки внутрішніх циліндричних поверхонь кінцевим різальним інструментом застосовують у машинобудуванні?*
- 4. Які проблеми виникають при свердлінні внутрішніх циліндричних поверхонь та методи їх вирішення?*
- 5. Які параметри точності та шорсткості поверхні досягаються при обробці кінцевим різальним інструментом?*
- 6. Які параметри точності та шорсткості поверхні досягаються при шліфуванні внутрішніх циліндричних поверхонь?*
- 7. Опишіть кінематику формоутворення та закріплення інструменту при протягуванні внутрішніх циліндричних поверхонь.*
- 8. Які види свердлів використовують у машинобудуванні? Їхнє призначення.*
- 9. Який інструмент використовується для свердління глибоких внутрішніх циліндричних поверхонь?*
- 10. У чому полягає операція свердління внутрішніх циліндричних поверхонь?*
- 11. У чому полягає операція зенкерування внутрішніх циліндричних поверхонь?*
- 12. У чому полягає операція цекування ?*

13. У чому полягає операція зенкування ?
14. У чому полягає операція розгортання внутрішніх циліндричних поверхонь?
15. У чому полягає операція розточування внутрішніх циліндричних поверхонь?
16. У чому полягає операція розточування внутрішніх канавок?
17. У чому полягає операція шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь?
18. Які чинники впливають на вибір параметрів шліфувального кола при чистовій обробці внутрішніх циліндричних поверхонь?
19. У чому полягає операція протягування внутрішніх циліндричних поверхонь?
20. Які існують види обробки внутрішніх циліндричних поверхонь?
21. У чому полягає операція хонінгування внутрішніх циліндричних поверхонь?
22. Які методи закріплення хон застосовуються при остаточній обробці внутрішніх циліндричних поверхонь?

10.4. Обробка плоских поверхонь, пазів та уступів.

До плоских поверхонь, що розглядаються в даному курсі, можна віднести безпосередньо площини, пази та уступи. Ці поверхні можуть бути відкритими, напіввідкритими, закритими, напіввідкритими наскрізними (провушина). Приклади розглянутих поверхонь наведено на рисунку 10.59. Обробку плоских поверхонь можна проводити різними методами, причому форма поверхні, що обробляється, накладає обмеження на застосування тих чи інших методів обробки.

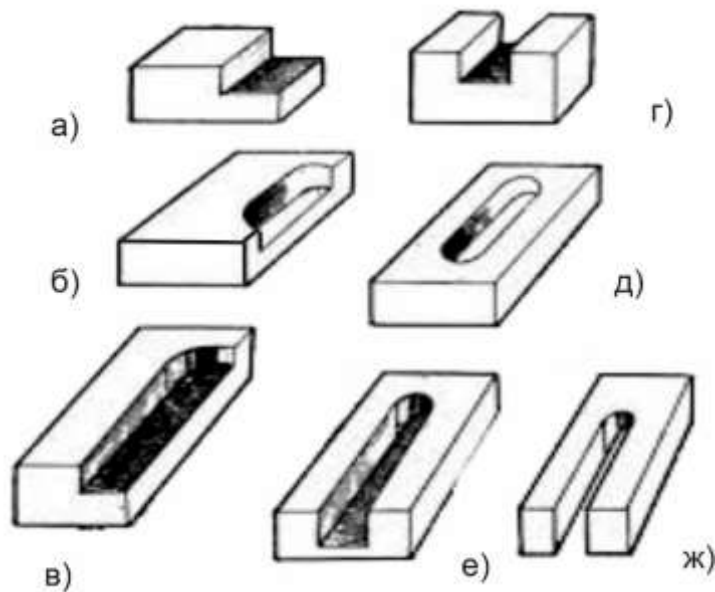


Рис.10.59. Основні види форми пазів та уступів: а – відкритий уступ; б - закритий уступ; в – напіввідкритий уступ; г – відкритий паз; д - закритий паз; е – напіввідкритий паз; ж - наскрізний напіввідкритий паз (провушина).

Лезовим інструментом плоскі поверхні отримують струганням, фрезеруванням, протягуванням, довбанням; а абразивним інструментом - шліфуванням, доведенням, поліруванням.

У таблиці 10.3. наведено параметри точності та шорсткості поверхні при різних методах формоутворення плоских поверхонь.

Таблиця 10.3. - Параметри точності та шорсткості при формоутворенні плоских поверхонь.

№	Найменування	<i>JT</i>	<i>Ra</i> , мкм
1	Стругання чорнове	14 ÷ 12	20 – 5
1	Стругання чорнове	12 ÷ 10	5 ÷ 0.63
2	Стругання чистове		
1	Стругання чорнове	9 ÷ 8	2.5 ÷ 0.32
2	Стругання чистове		
3	Стругання тонке		
Звичайне фрезерування здійснюється з тими ж показниками шорсткості та точності			
1	Протягування чорнове не оброблених поверхонь	11 ÷ 10	5 ÷ 1.25
1	Протягування чорнове	9 ÷ 7	2.5 ÷ 0.32
2	Протягування чистове		
1	Шліфування одноразове	9 ÷ 8	2.5 ÷ 0.32
1	Шліфування попереднє	8	0.63 ÷ 0.08
2	Шліфування чистове		
1	Шліфування попереднє	7	0.32 ÷ 0.04
2	Шліфування чистове		
3	Шліфування тонке		

Примітка:

1. Шліфування може виконуватись після будь-якої попередньої обробки площини.
2. Всі зазначені дані відносяться до обробки жорстких заготовок з габаритами не більше 1м., для габаритних заготовок та заготовок зі зниженою жорсткістю гарантована точність обробки на I квалітет гірше.
3. При фрезеруванні торцевими фрезами точність обробки вища на один квалітет, ніж при обробці циліндричними фрезами за інших рівних умов.
4. Тонке фрезерування здійснюють лише торцевими або кінцевими фрезами.

10.4.1. Стругання та довбання.

Кінематика формоутворення забезпечується профілем інструменту та його лінійним переміщенням. Формотворчою лінією є ріжуча кромка інструменту, а напрямною - лінійне переміщення інструменту. На рисунку 10.60 наведено схему стругання поверхні. Різець 2 переміщаючись зі швидкістю *V* знімає стружку 1 шириною, яка відповідає ширині різальної кромки інструменту, на заготовці 4. Після одиничного проходу різця він повертається у вихідне положення,

а стіл переміщається в поперечному напрямку на величину S , яка трохи менше ширини ріжучої кромки. Таким чином, площа 3 формується за кілька проходів різця. Метод не продуктивний через значні витрати часу на допоміжні ходи повернення інструменту та обмежень на ширину ріжучої кромки. Заготовки обробляються на поздовжньо-стругальних та поперечно-стругальних верстатах залежно від габаритів заготовки та оброблюваної поверхні.

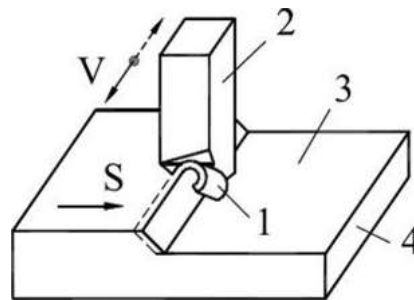


Рис. 10.60. Стругання заготовок.

Кінематика формоутворення поверхні при довбанні аналогічна струганню з тією відмінністю, що рух інструменту здійснюється у вертикальній площині (рис.10.61).

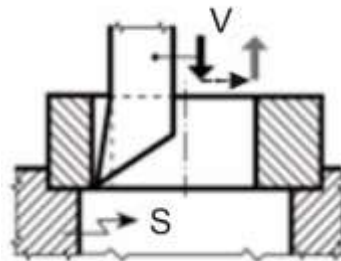


Рис. 10.61. Довбання заготовок.

При обробці плоских поверхонь довбання застосовується зазвичай для формування коротких внутрішніх відкритих пазів з відносною доступністю інструменту до зони обробки. Найбільш поширеним є метод довбання, коли глибина паза не може бути сформована за один робочий хід. В цьому випадку після кожного робочого ходу інструменту зі швидкістю V і повернення його в початкове положення здійснюється радіальна подача столу S з заготовкою на величину

припуску, що знімається (рис. 10.61). При обробці широких пазів чорнова поверхня формується різцем, ширина різальної кромки якого менше ширини паза, за кілька проходів у одному положенні заготовки, а потім у наступному положенні (зазвичай $2 \div 3$) завдяки поперечній подачі столу. Остаточоно паз на всю ширину формується широким різцем з невеликим припуском, що знімається.

10.4.2. Фрезерування.

Фрезерування застосовується для отримання поверхонь, профіль яких утворений різною комбінацією плоских, рідше криволінійних елементів. Кінематика формоутворення забезпечується траєкторією переміщення різальної кромки в результаті обертання фрези та її лінійного переміщення (або переміщення заготовки). Ріжучі кромки можуть розташовуватися як на периферії фрези, так і на її торці. Обробка виконується на різних горизонтально-фрезерних, вертикально-фрезерних і багатоцільових верстатах (рис. 10.62).



Рис. 10.62. Процес фрезерування та різні типи фрез.

Циліндричне фрезерування.

Циліндричне фрезерування для відкритих плоских поверхонь здійснюється зазвичай із попутним або зустрічним режимом обробки. Відсутність ріжучих

кромки на торці фрези не дозволяє обробити суміжні площини, тому рекомендована обробка фрезами з шириною більше, ніж ширина площини, що обробляється $B_{фр} > B$ (рис. 10.63,а).

Попутне фрезерування має на увазі збіг напрямку обертання інструменту та подачі столу із заготовкою (рис. 10.63,в). Цей метод підвищує стійкість інструменту та зменшує параметри шорсткості. Однак для його здійснення потрібний спеціальний пристрій, що компенсує зазор механізму подачі. Тому на верстатах із звичайною гайкою ходового гвинта обробку ведуть переважно із зустрічним фрезеруванням (рис. 10.63,б). Глибина припуску коливається в межах $2 \div 5$ мм при чорновому і $1 \div 1,5$ мм при чистовому фрезеруванні. При обробці досить широких плоских поверхонь використовують набори циліндричних фрез, іноді з різноспрямованими зубами для зменшення осьової складової сили різання. Зменшення шорсткості поверхні забезпечується такими умовами: діаметр прагне до мінімуму, число зубів до максимуму. Найбільш поширеною є конструкція фрез із гвинтовими зубами, що значно знижує ударні навантаження при вході ріжучого зуба в зону обробки.

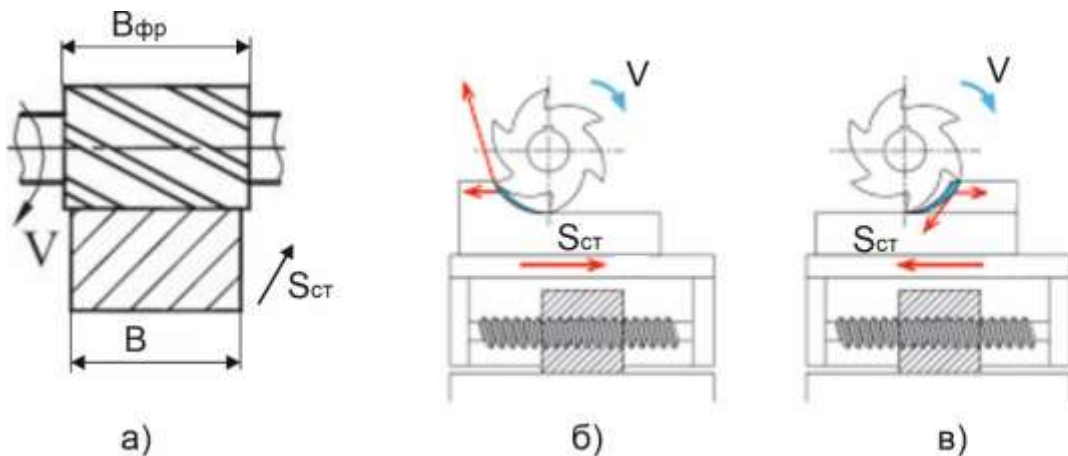


Рис. 10.63. Фрезерування циліндричними фрезами.

Торцеве фрезерування.

Фреза здійснює обертання зі швидкістю різання V . Рух подачі здійснюється столом у горизонтальній (рис. 10.64,а,в,г) або вертикальній площині (рис.

10.64,б) в залежності від обладнання та схеми установки фрези, що застосовується. Умови оптимальної обробки відкритих поверхонь $D_{фр} \geq 1,2B$. Глибина припуску що знімається при чорновому фрезеруванні залежить від висоти робочого профілю зуба h та може досягати до 10мм, зазвичай у межах 2÷5мм. При чистовому фрезеруванні 0,5÷1мм. При обробці напіввідкритих поверхонь формується уступ заввишки h , як слід ріжучої кромки зуба фрези (рис. 10.64,г).

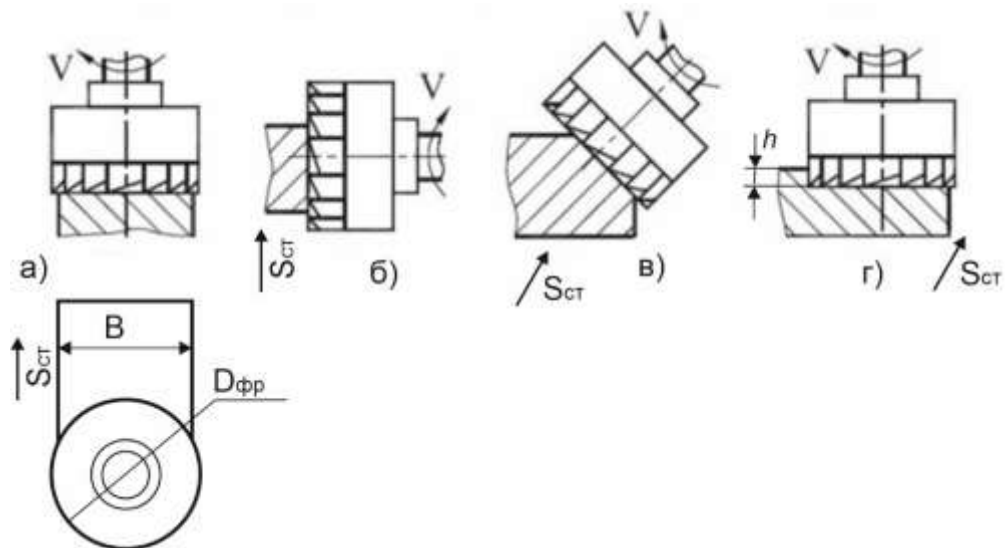


Рис. 10.64. Фрезерування торцевими фрезами.

Основним методом обробки пазів та уступів є фрезерування кінцевими та дисковими фрезами.

Фрезерування дисковими фрезами.

Дисковими фрезами обробляються відкриті або напіввідкриті пази (рідка закриті) та уступи. Зазвичай обробка здійснюється дисковими односторонніми або двосторонніми фрезами, із вставними ножами або монолітними.

На рисунку 10.65,а наведено схему обробки відкритої площини дисковою фрезою. Можлива також обробка уступів, тристоронніх пазів (рис. 10.65,б), фасонних пазів (рис. 10.65,в). Обробка кількох уступів на одній деталі здійснюється зазвичай набором дискових фрез одне- і двостороннього різання (рис. 10.65,д). Для забезпечення точності взаємного положення пазів та уступів набори фрез рекомендується зберігати та експлуатувати зібраними на оправках,

причому складання такого набору має здійснюватися за шаблоном поза верста-
ТОМ.

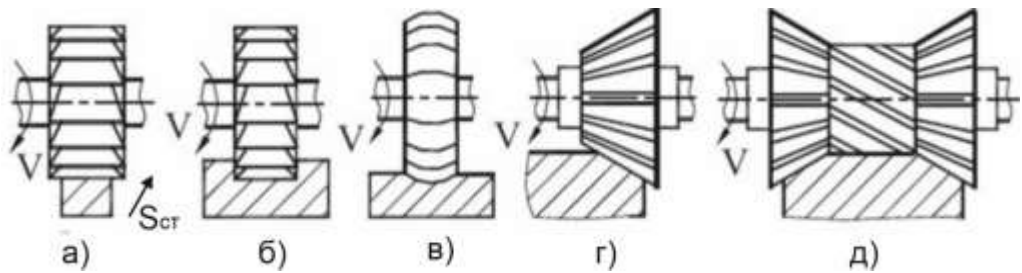


Рис. 10.65. Схеми фрезерування дисковими фрезами.

Фрезерування кінцевими фрезами.

Кінцевими фрезами обробка здійснюється згідно з рисунком 10.66. У процесі обробки можуть брати участь бічні та торцеві профілі зубців кінцевої фрези. Можливе формування відкритої чи напіввідкритої площини бічним профілем (рис. 10.66,а), а вузькі – торцевим профілем зубів фрези (рис. 10.66,б). При обробці уступів (рис. 10.66,в) та тристоронніх пазів (рис. 10.66,г) різання здійснюється бічними та торцевими профілями зубів.

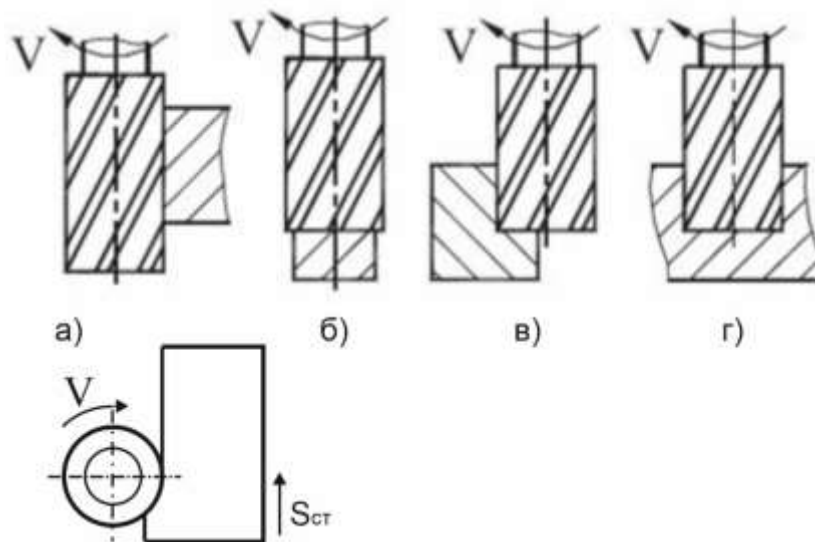


Рис. 10.66. Схеми фрезерування кінцевими фрезами.

У всіх наведених вище схемах головний рух різання V забезпечується обертанням інструменту, а рух подачі поздовжнім переміщенням столу із заготовкою в напрямку інструменту $S_{ст}$.

Особливу увагу в машинобудуванні приділено питанням формування шпонкових пазів, як одного з найпоширеніших уніфікованих елементів кріплення на валах. На практиці пази шпонки на валах обробляються різними методами фрезерування в залежності від типу шпонкового паза.

Напіввідкриті пази для призматичних шпонок обробляються дисковими фрезами з горизонтальною подачею столу (рис. 10.67,а). Закриті шпонкові пази для призматичних шпонок утворюється з використанням спеціальної двозубої шпонкової кінцевої фрези за один прохід з вертикальною подачею врізання і горизонтальною подачею формування паза на всю довжину при невеликій глибині паза h (рис. 10.67,а). Глибокі пази формуються маятниковою чи човниковою подачею за кілька циклів врізання та горизонтального переміщення інструменту (рис. 10.67,в). Сегментні пази шпонки обробляються спеціальними дисковими фрезами при вертикальній подачі столу (рис. 10.67,г).

Розглянуті вище методи рівноправні з погляду отримання поверхні (обробка дисковими фрезами трохи продуктивніше).

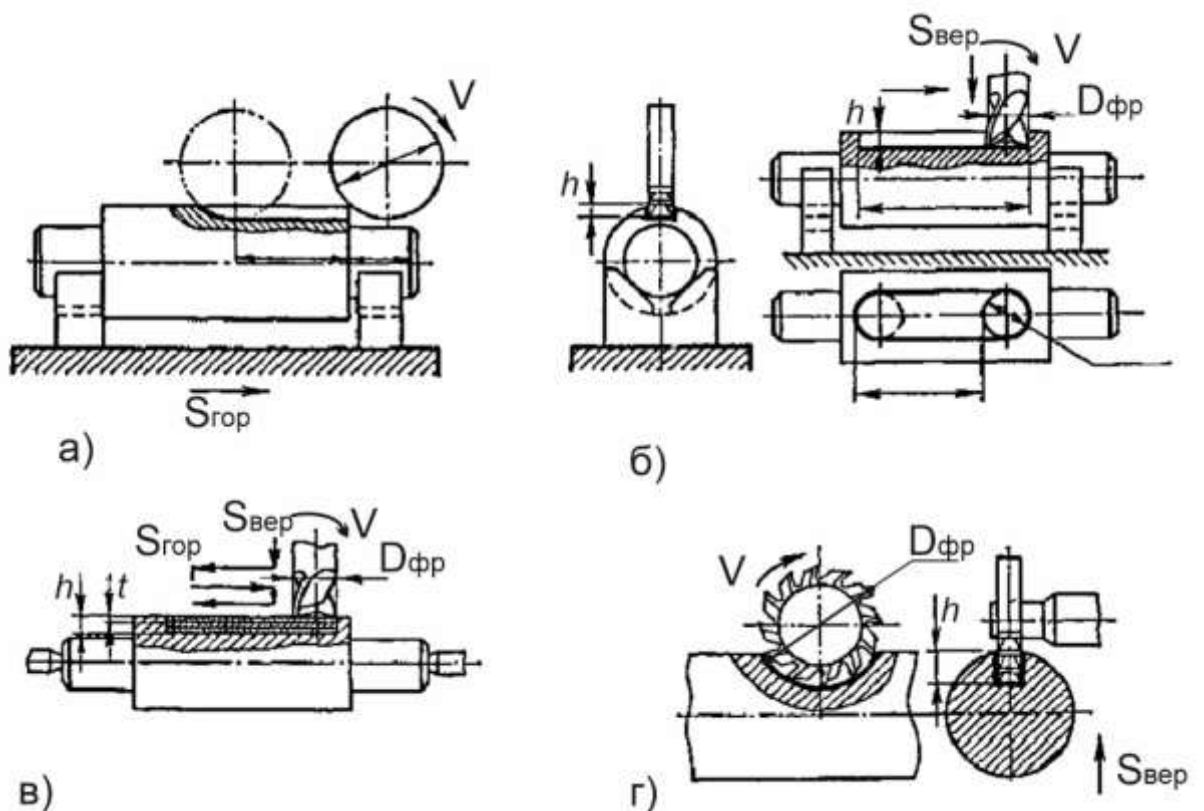


Рис. 10 67. Схеми фрезерування шпонкових пазів.

Обробка складніших закритих пазів здійснюється з використанням спеціальних фрез. Т - образні пази обробляються за два етапи (рис. 10.68,а). спочатку фрезерується паз необхідної ширини, а потім тристоронньою дисковою фрезою, у якої ріжучі зуби розташовані по периферії та обом торцям, виконується остаточна обробка паза. Аналогічно за два етапи виконується обробка профілю паза типу «ластівчин хвіст» (рис. 10.68,б). В цьому випадку остаточна обробка профілю паза здійснюється кутовою фрезою, у якої ріжучою є бічна поверхня та нижній торець.

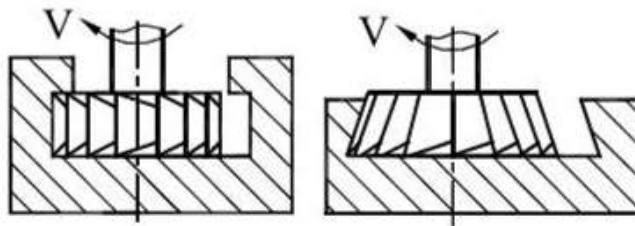


Рис. 10.68. Схеми фрезерування пазів закритого профілю.

Контурне фрезерування.

У сучасному машинобудуванні, з масштабним впровадженням верстатів з ЧПУ, все більш широке поширення набуває застосування деталей зі складними криволінійними поверхнями. В першу чергу це деталі для складного формоутворювального оснащення, елементи гідро- та пневмоапаратури, корпуси авіаційної та космічної техніки, лопатки турбін та ін. Одним із методів отримання таких поверхонь є контурне фрезерування кінцевими фрезами із завданням траєкторії руху інструменту на багатокординатних верстатах з ЧПУ. У цьому випадку траєкторія головного руху різання визначається обертанням інструменту, а рух подачі, яка формує профіль поверхні, визначається лінійними переміщеннями столу по всіх координатах і поворотом шпиндельної головки (рис. 10.69).

При обробці тривимірних криволінійних поверхонь досить часто застосовують так звану рядкову обробку, при якій в одній площині виконується рух

інструменту по контуру поверхні, що обробляється (одночасно по двох координатах Y і Z), потім проводиться переміщення (зсув) третьою координатою (X) і знову рух контуром (рис. 10.70).

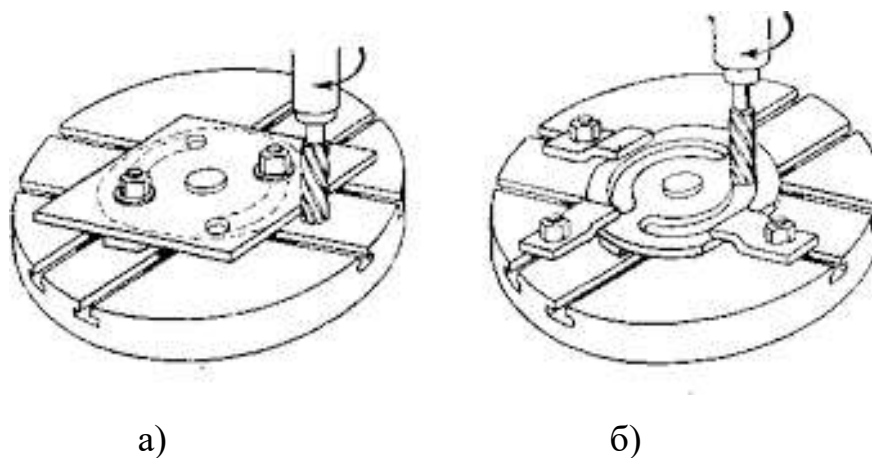


Рис. 10.69. Приклад контурного фрезерування: а – зовнішньої криволінійної поверхні бічною поверхнею фрези; б – внутрішньої криволінійної поверхні бічною поверхнею та торцем фрези.

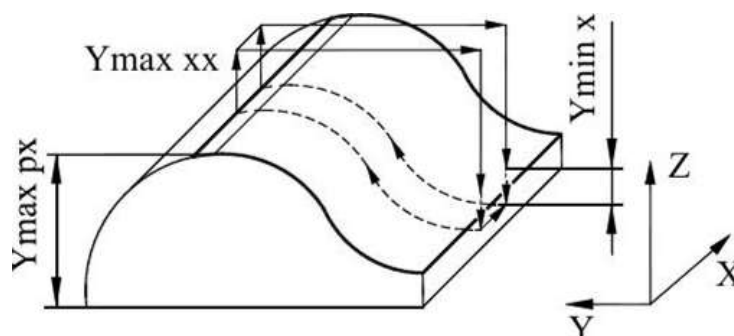


Рис. 10.70. Траєкторія фрезерування криволінійної поверхні.

Як ріжучий інструмент чистової та остаточної обробки таких поверхонь застосовують спеціальні кінцеві циліндричні та конічні фрези зі сферичним торцем (рис. 10.71). Це дозволяє значно покращити якість поверхні за рахунок зменшення зони контакту інструменту з поверхнею, хоч і веде до збільшення тривалості обробки. Однак, за рахунок незначної величини припуску, що знімається, цей недолік може бути компенсований збільшенням швидкості різання.



Рис. 10.71. Приклад кінцевої конічної фрези зі сферичним торцем .

Високошвидкісна фрезерна обробка.

В даний час все більшого поширення набуває високошвидкісна обробка (ВШО), яка дозволяє значно скоротити час формування складнопрофільних поверхонь.

Розвитку цього методу послужили високі досягнення інформаційних технологій, і, зокрема, створення високотехнологічних наукомістких CAD/CAM-систем. Впровадженню методу високошвидкісної обробки сприяли теоретичні передумови теорії різання:

1. При підвищенні швидкості різання відбувається перерозподіл тепла, що утворюється при різанні, у бік тепла, що несе стружка. Частка тепла, що передається заготовці, знижується настільки, що заготовка практично не нагрівається. Саме це дозволяє проводити обробку навіть **загартованих** сталей, не побоюючись відпустки поверхневого шару.

2. При аналізі залежності сили різання від швидкості різання було зазначено, що у певному інтервалі швидкостей різання спостерігається значний спад сил різання (такі залежності називають кривими Соломона, рис. 10.72).

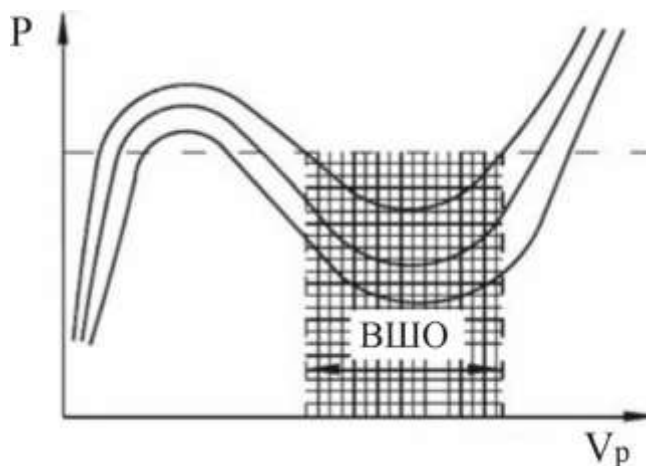


Рис. 10.72. Криві Соломона. Залежність сил різання від швидкості різання.

Проведені дослідження показали, що високошвидкісна обробка можлива на верстатах з ЧПУ за певних умов, а саме:

- висока жорсткість системи ВПЗІ;
- невеликі перерізи зрізу (невеликій припуск);
- малі динамічні навантаження при зміні напрямку руху інструмента;
- рівномірне навантаження на інструмент під час циклу обробки заготовки.

Для забезпечення умов високошвидкісної обробки проектується спеціальні фрезерні верстати з ЧПУ з частотою обертання шпинделя до 60÷80 тис. оборотів за хвилину, а також спеціальні пристрої, які здатні реалізувати нові кінематичні схеми високошвидкісної обробки, та різальний інструмент, який здатний працювати в нових умовах (нові типи твердосплавного інструменту з багат шаровим покриттям).

Застосування високошвидкісного фрезерування дозволяє спростити управління процесом досягнення розміру та якості поверхні, забезпечити обробку тонкостінних деталей. Використовуючи цей метод, є можливість вести лезову обробку загартованих сталей. При цьому можна забезпечити якість поверхні, що можна порівняти з остаточною абразивною або електроерозійною обробкою, тобто, у багатьох випадках абразивну або електроерозійну обробку можна виключити з технологічного процесу і виконати всю обробку на одному верстаті, що значно знижує технологічну собівартість. При цьому високошвидкісна обробка забезпечує таку якість поверхні, що дозволяє виключити фінішні операції, наприклад, ручного полірування.

Високошвидкісне різання роблять з малою подачею в зоні невеликих сил різання, тому основними факторами, що впливають на процес різання, є биття інструменту і вібрації, що виникають при цьому. Для зменшення можливих вібрацій слід вибирати фрези із закругленою ріжучою кромкою (див. рис. 10.71).

Використання високошвидкісної обробки зажадало перегляду багатьох позицій підготовки процесу формоутворення поверхні з метою гарантованого забезпечення мінімальних динамічних навантажень на інструмент протягом усього процесу різання. В першу чергу необхідно побудувати траєкторію руху інструменту таким чином, щоб завжди було рівномірне знімання металу (постійна товщина різання). У цьому випадку застосовують CAD /CAM-системи зі спеціальними модулями, що реалізують особливості побудови траєкторії руху інструменту для високошвидкісної обробки. Найчастіше при високошвидкісній обробці перевага надається спіральним стратегіям, коли інструмент, одного разу врізавшись, зберігає безперервний і рівномірний контакт інструменту з заготовкою, одним заходом і виходом з зони обробки.

Більш широкі можливості мають CAD/CAM-системи та верстати з ЧПУ, що підтримують 5-координатну обробку. У цьому випадку є набір можливостей управління вектором руху фрези. Інструмент можна поставити за нормаллю до поверхні або боком. При фрезеруванні боком можна управляти кутом відхилення фрези від поверхні, та ін.

Крім явних переваг, використання високошвидкісної обробки пов'язане з певними труднощами:

- купівля дорогого інструменту та обладнання для високошвидкісної обробки з швидкодіючими пристроями ЧПУ;
- необхідність CAD/CAM-систем, що дозволяють виконувати підготовку виробництва для високошвидкісної обробки;
- підготовка кваліфікованих кадрів для виконання операцій високошвидкісної механічної обробки;
- наявність достатнього портфеля замовлень.

Базування заготовок під час фрезерної обробки.

Загальні підходи до базування заготовок зберігаються й у фрезерної обробки. Якщо заготовка має симетричну циліндричну форму і її передбачається застискати в патроні, то для цього випадку всі підходи до базування аналогічні, як і для токарної обробки. Заготовка позбавляється з використанням циліндричної

поверхні або 2-х (якщо коротка), або 4-х (якщо довга) ступенів свободи. По торцю відповідно або 3-х або 1-го ступеня свободи. Якщо деталь асиметрична, додається 6-а точка. Наприклад, при фрезеруванні паза в короткій циліндричній заготовці з обробленими отворами, паз необхідно орієнтувати щодо цих отворів (рис. 10.73). Розмір m витримується від циліндра більшого діаметра, тому базування проводиться за великим діаметром. Бічні стінки паза з найменшою похибкою будуть паралельні до основи, позбавленої 3-х ступенів свободи.

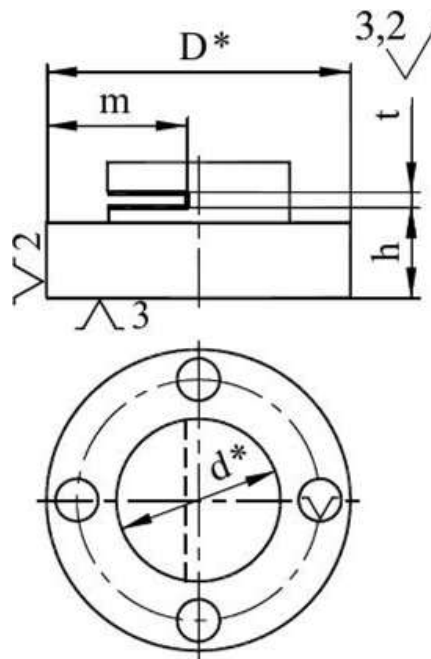


Рис. 10.73. Базування циліндричної заготовки.

При обробці корпусних заготовок зазвичай застосовується одна з трьох схем базування:

- по 3 сторонах;
- по опорній площині, центрального отвору та нецентрального отвору або бокової сторони;
- по опорній площині та двох нецентральных отворів.

Найбільш простий у реалізації спосіб - базування по 3-х плоских поверхнях. Зазвичай на опорній площині заготовка позбавляється 3-х ступенів свободи, по більш протяжному боці 2-х ступенів, по суміжному боці ще одного ступеня свободи. Цей спосіб базування часто застосовується при отриманні пазів, уступів,

колодязів, пов'язаних розмірами або допусками взаємного розташування поверхонь з базовими поверхнями. Базування на опорній площині, центральному отворі та нецентральному отворі або боці застосовується у разі, коли розміри або допуски взаємного розташування пов'язують центральний отвір з іншими елементами деталі (отворами, пазами, лисками, уступами та ін.).

Зазвичай на опорній площині заготовку позбавляють 3-х ступенів свободи; по центральному отвору - 2-х (короткий циліндричний палець); в нецентральному отворі встановлюють короткий зрізаний палець (один ступінь свободи). Якщо одного ступеня свободи заготовку позбавляють не з нецентрального отвору, а збоку, то вона повинна запобігати обертанню заготовки щодо центрального отвору.

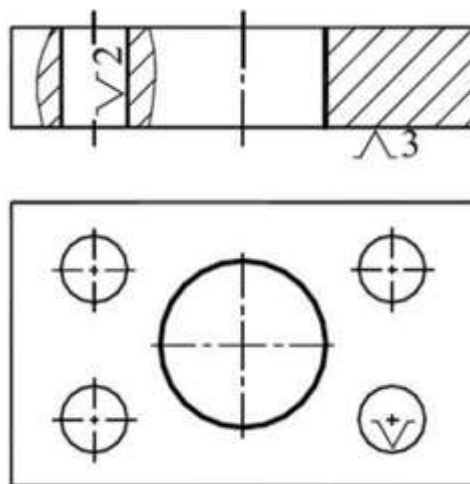


Рис. 10.74. Базування по двох отворах

Базування за двома нецентральними отворами застосовують при обробці деталей типу корпус редуктора. Ці два отвори обробляють із вищою точністю, ніж інші. Заготовку позбавляють на опорній площі 3-х ступенів свободи, по одному з отворів - 2-х ступенів (короткий циліндричний палець), по іншому отвору - одного ступеня (зрізаний ромбічний короткий палець) (рис. 10.74).

10.4.3. Шліфування плоских поверхонь.

Шліфування плоских поверхонь проводиться для отримання великої точності та показників шорсткості поверхні, коли неможливе досягти цього фрезеруванням, протягуванням або струганням.

Шліфування плоских та фасонних поверхонь проводиться або торцевою частиною кола, або периферією кола.

Шліфування периферією кола здійснюється за рахунок обертання V шліфувального кола та лінійного переміщення столу з заготовкою S_{np} . Для забезпечення якісного поверхневого шару обробку виконують не на всю глибину відразу, а поступово за рахунок вертикального переміщення кола в напрямку заготовки в кінці кожного циклу обробки по всій ширині $B_{зг}$. Якщо ширина кола менше ширини оброблюваної поверхні $B_{зг}$, то обробку здійснюють за кілька поздовжніх проходів столу, переміщуючи коло в кінці кожного проходу в поперечному напрямку за рахунок подачі S_n (рис. 10.75,а). Профіль фасонної поверхні забезпечується профілем периферії кола та формується відразу на всю ширину за кілька поздовжніх проходів столу (рис. 10.75,б).

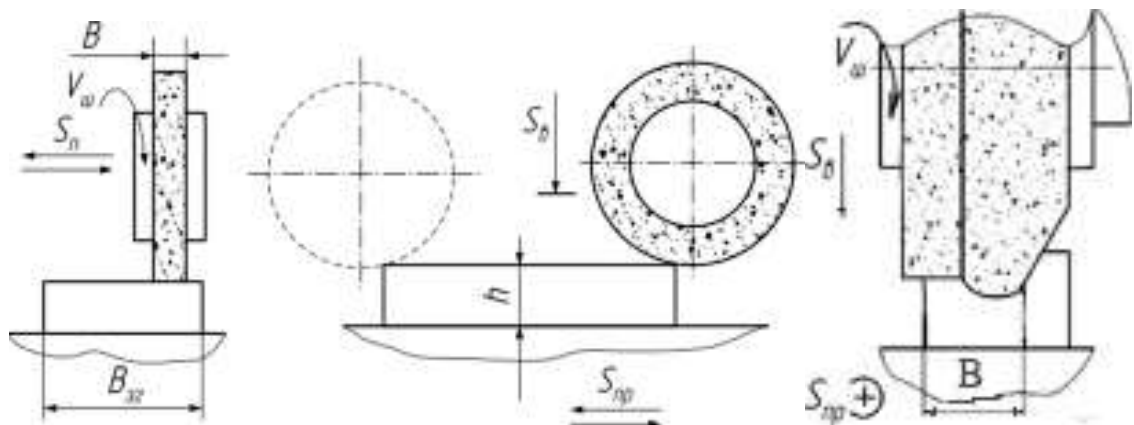


Рис. 10.75. Схема плоского шліфування периферією кола:

а – площини; б – фасонної поверхні.

При шліфуванні торцевою частиною застосовують кола чашкової або тарілчастої форми. При такій формі кола зношується тільки та частина його, яка знаходиться у дотику до оброблюваної поверхні, і тому відпадає необхідність правити всю поверхню кола. Цикл переміщень при формуванні площини на всю

ширину B аналогічний шліфування периферією кола. При обробці торцем шліфувального кола на поверхні деталі можуть залишатися сліди, які утворюються через неперпендикулярність установки шліфувального кола щодо площини столу із заготовкою. Такі сліди допускаються при грубому, обдирному шліфуванні (рис. 10.76,г).

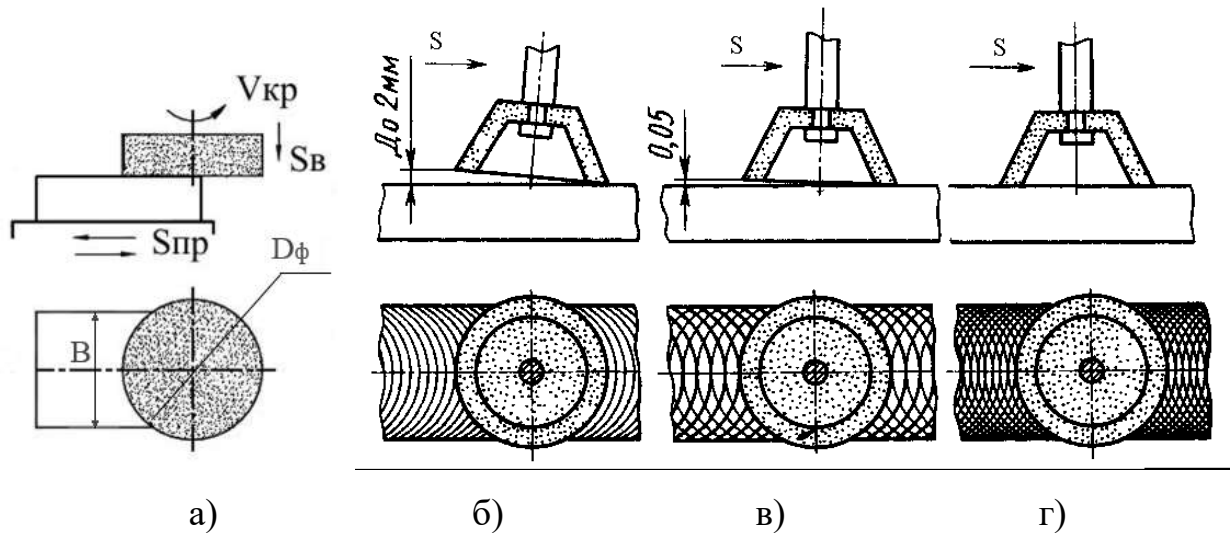


Рис. 10.76. Схема плоского шліфування торцем кола (а) та сліди абразивних подряпин під час шліфування: б – з великим нахилом кола; в – з малим нахилом кола; г – без нахилу кола (прецизійне шліфування).

Найбільш універсальним є шліфування на верстатах з прямокутним столом, де переважно обробляються деталі подовженої форми, поверхні з високими вимогами площинності, деталі з буртами, пазами, канавками, нестійкі деталі з недостатньо розвиненою базовою поверхнею та, нарешті, деталі, що потребують обробки фасонних поверхонь.

Шліфування відкритої плоскої поверхні - найчастіший випадок плоского шліфування без обмеження ширини шліфувального кола.

Шліфування паралельних плоских поверхонь, розташованих під різним кутом - кілька плоских паралельних поверхонь можуть шліфуватися послідовно (рис. 10.77,а), змінюючи кожного разу кут нахилу поверхні, що шліфується, або шпинделя шліфувального кола (на спеціалізованих верстатах).

Шліфування плоскої поверхні, обмеженої буртами – для отримання точних поверхонь слід ретельно регулювати межі зворотно-поступальних ходів, паралельних буртам. Для покращення площинності прилеглих бічних поверхонь можна застосовувати метод піднутрення торців кола (правкою) у поєднанні з виходжуванням (рис. 10.77,б).

Шліфування одиночних або паралельно розташованих поздовжніх пазів - при піднутрішній (правці) кола можна шліфувати дно пазів або шліфувати весь профіль паза при відповідному профілюванні кола. Можна шліфувати кілька пазів, паралельно розташованих на однаковій чи різній відстані один від одного (рис. 10.77,в).

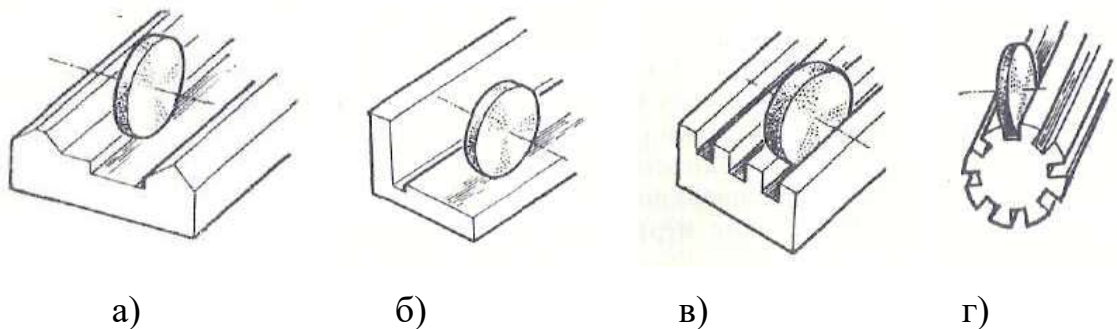


Рис. 10.77. Плоске шліфування: а – плоских поверхонь під різними кутами; б – плоских поверхонь, які обмежені буртами; в - паралельно розташованих пазів; г - шліцевих поверхонь.

Шліфування пазів, канавок, шліців, розташованих по колу паралельно осі деталі, що обробляється - шліфувана деталь встановлюється на поворотне пристосування з періодичним індексуванням (поворотом) навколо осі деталі. Шліфування пазів може виконуватися двома методами: врізанням до повної обробки одного паза або багатопрохідним круговим шліфуванням поворотом валу на один паз після кожного подвійного ходу кола (рис. 10.77,г).

Шліфування пазів на торцевих поверхнях циліндричної деталі - пристрій індексування деталі навколо вертикальної осі встановлюється на поздовжньому столі верстата. Різний профіль пазів забезпечується фасонною правкою кола. Можливий врізний або круговий багатопрохідний метод шліфування пазів

Плоске шліфування застосовується у серійному виробництві на великих промислових підприємствах, зважаючи на ряд його безумовних переваг у порівнянні з іншими відомими методами:

- можливість виконання тонкої остаточної обробки, при якій знімається мінімальна кількість матеріалу з поверхні, що обробляється;
- універсальність методу, який дає можливість надати виробу будь-яку форму;
- робота здійснюється на спеціальних верстатах, що прискорює роботу та гарантує безпеку працівника.

У масовому виробництві широко використовується метод безперервного шліфування (рис. 10.78), коли заготовки встановлюються по периферії поворотного столу на завантажувальній позиції, а стіл, обертаючись зі швидкістю S , безперервно переміщує заготовки в зону обробки (в зону обертання шліфувального кола V). У цьому випадку шліфувальне коло виводиться із зони обробки тільки для правки.

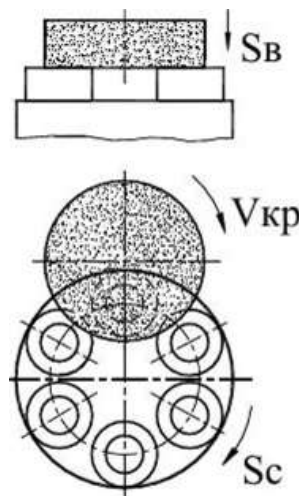


Рис. 10.78. Безперервне шліфування торцем кола.

Таким чином, плоске шліфування є досить варіативним методом обробки поверхонь, який використовується в широкому спектрі шліфувальних та полірувальних робіт, пов'язаних як з масовим виробництвом, так і роботою з одиничними унікальними виробами.

Заготовка, що обробляється, встановлюється і закріплюється в лещатах, на магнітній плиті, в поворотних пристосуваннях, в центрах.

Найчастіше заготовка закріплюється на магнітній плиті. Для шліфування конічних та торцевих поверхонь на магнітну плиту встановлюють додатково синусні пристосування, призми, підставки або лекальні лещата, в яких закріплюють заготовку.

Принцип дії електромагнітної плити заснований на властивості залізного осердя намагнічуватися і притягувати до себе сталевий предмет, якщо навити навколо цього осердя дріт і пропустити постійний струм. Для посилення магнітної дії сердечник згинається у формі підкови. Декілька підковоподібних сердечників встановлюються в ряд усередині плити, полюси цих магнітів виводять у верхню частину плити, ретельно ізолюють немагнітним матеріалом, щоб магнітний потік не розсіювався в плиті, а прямував безпосередньо в оброблювану заготовку.

Крім електромагнітних плит застосовують магнітні плити із постійними магнітами. Верхня частина магнітної плити зроблена із залізних пластин з немагнітними прошарками між ними. Сильні постійні магніти можна переміщати рукояткою, замикаючи їх на залізні пластини або на заготовку, що закріплюється.

При виборі методу затискання заготовки потрібно враховувати переваги та недоліки магнітного затиску. До недоліків слід віднести:

- наявність залишкового магнетизму, що вимагає розмагнічування після обробки;
- нагрівання електромагнітної плити під час роботи, що призводить до зниження точності обробки;
- небезпека деформування тонких деталей під час затискання магнітом;
- неможливість кріплення деталей із немагнітних матеріалів;
- небезпека ослаблення затиску (при зміні параметрів в електромережі) та виривання заготовки при обертанні кола.

Для усунення нагрівання застосовують комбіновані плити з імпульсними магнітами. Така плита працює як постійний магніт із періодичним включенням електромагніту, що збільшує силу притиску та усуває нагрівання.

Важливою перевагою електромагнітних плит є:

- простота, універсальність та швидкодія затиску;
- зусилля притиску регулюється залежно від товщини та площі контактної поверхні заготовки, можливість регулювання особливо важлива при шліфуванні тонких заготовок, де надмірне зусилля притиску призведе до деформації заготовки;
- є пристрій для розмагнічування заготовки, що дозволяє легко знімати її з плити.

10.4.4. Протягування.

Формотворчою лінією є ріжуча кромка інструменту, а напрямною є взаємне переміщення заготовки та протяжки, горизонтальне або вертикальне в залежності від обладнання, що застосовується. При обробці «чорних» поверхонь поковок і виливків доцільніше застосовувати не звичайні плоскі протяжки (рис.10.79,а), а прогресивні (рис.10.79,б,в,г). Прогресивні протяжки мають більшу стійкість і дозволяють знімати той же припуск, що і звичайні, при меншій довжині протяжки. Протягування зовнішніх плоских поверхонь (як і фасонних) завдяки високій продуктивності та низькій собівартості обробки знаходить все більше застосування у багатосерійному та масовому виробництві. Цей метод економічно вигідний, незважаючи на високу собівартість обладнання та інструменту.

Для обробки зовнішнім протягуванням широких плоских поверхонь встановлюють кілька протяжок поряд. Припуск на протягування плоских поверхонь зазвичай становить $2 \div 4$ мм - для чорнової обробки; $0,25 \div 1$ мм - після фрезерування. Протягуванням забезпечується шорсткість поверхні $Ra=2,5 \div 0,32$ мкм.

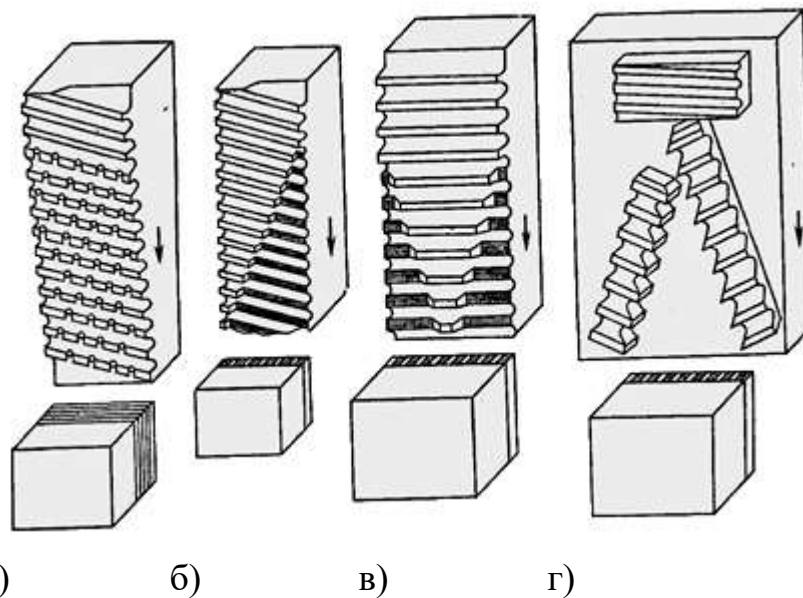


Рис. 10.79. Схеми плоских протяжок: а – звичайні; б, в, г – прогресивні.



Рис. 10.80. Конструкція звичайної протяжки для обробки шпонкових пазів.

Протягування зовнішніх поверхонь проводять в основному на вертикально-протяжних верстатах. У процесі обробки кожен ріжучий зуб протяжки знімає шар металу, що становить частину припуску, а зуби, що калібрують, зачищають поверхню, при цьому вони довго не втрачають своєї ріжучої здатності і форми.

Зовнішнє протягування плоских поверхонь здійснюється за різними схемами:

1. На зовнішньопротяжному верстаті деталь закріплена нерухомо, а протяжка здійснює зворотно-поступальний рух, знімаючи певний шар припуску. Здійснюється обробка лише однієї заготовки, після чого цикл повторюється. Для протягування використовують вертикальнопротяжні та горизонтальнопротяжні верстати.

2. Безперервне протягування (рис. 10.81). Протяжка 2 закріплюється нерухомо (іноді застосовуються складові багатосекційні протяжки), а заготовки 1 спеціальним транспортером подаються в зону обробки зі швидкістю V . При цьому протяжка розраховується таким чином, щоб забезпечити знімання припуску t . Готова деталь 3 знімається з транспортера після виходу із зони обробки. Процес протягування здійснюється безперервно до зношування інструменту.

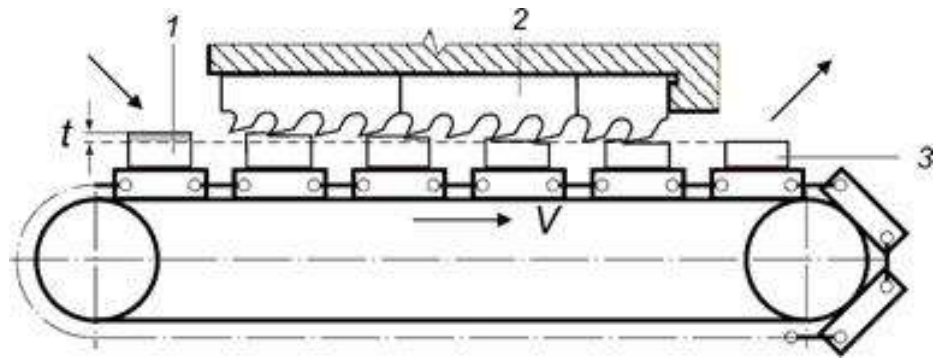


Рис. 10.81 Схема безперервного плоского протягування.

10.4.5. Остаточна обробка плоских поверхонь.

Тонке фрезерування плоских і фасонних поверхонь здійснюється тільки кінцевими фрезами за тими ж принципами та кінематикою, що і звичайне фрезерування зі спеціальними високошвидкісними режимами обробки, траєкторією переміщення інструменту та невеликим припуском (див.10.4.2).

Чистове шліфування плоских поверхонь звичайно проводиться дрібнозернистими, переважно цілісними шліфувальними колами за спеціальними чистовими режимами різання та використання рясного поливу ЗОТС.

При використанні таких шліфувальних кіл вдається зменшити кількість абразивних зерен, що одночасно беруть участь у процесі шліфування, тому рівень виділення енергії і, відповідно, нагрівання поверхні та її деформації максимально знижується. Це робить метод корисним при виконанні високоточного остаточного шліфування та полірування крихких та тонких виробів.

Шабрування

Шабрування - це технологічна операція, що дозволяє виконувати обробку поверхонь металевих деталей з високим ступенем точності та якості. Цілком не випадково фахівці вважають таку операцію однією з найскладніших і трудомістких, оскільки вона практично не піддається автоматизації, а її виконання вимагає від робітника відповідних навичок та достатнього досвіду роботи.

Шабрування поверхонь - це фінішна слюсарна операція, сенс якої полягає в тому, щоб, використовуючи спеціальний інструмент, званий шабер, зіскрібати з деталі тонкий шар матеріалу. Товщина матеріалу варіюється в інтервалі від 5 до 70мкм.

При шабрени метал поступово зрізається з ділянок, що стикаються (при пробі на фарбу) з поверхнею, до якої ця деталь стикається в процесі роботи. Шабруванням можна отримати високу точність: площинність та прямолінійність до 2мкм на довжині 1000 мм та до 30 плям на площі 25×25мм. Чавун шабрують у суху, без використання ЗОТС. При шабрени сталі або інших металів застосовують мильну емульсію, тощо.

Особливості операції та інструменти.

Операція шабрування поверхонь деталей, що мають плоску форму, — найпоширеніша технологічна операція, алгоритм виконання якої вже добре відпрацьований протягом кількох десятиліть. Таким способом, зокрема, виконують обробку елементів направляючих станин, та других взаємно контактуючих плоских поверхонь верстатів будь-якого іншого типу.

Інструмент, за допомогою якого виконується операція шабрування, може переміщатися вручну на себе або від себе. Практично всі фахівці слюсарної справи підтверджують, що продуктивнішим шабрування виходить у тому випадку, якщо інструмент рухається «на себе» (рис.10.82). Дуже важливим моментом для виконання якісної обробки є правильна підготовка поверхні, яка буде оброблятися. Невід'ємним елементом даного технологічного процесу є фарба, необхідна більш якісного виконання шабрування. Така фарба, що є сумішшю

машинного масла з суриком, блакитом або синькою, спочатку наноситься на повірочну плиту, з якої потім за допомогою кругових рухів переноситься на поверхню оброблюваної деталі. За допомогою нанесеної таким чином фарби фахівець виявляє на поверхні деталі ділянки, що найбільш виступають, та підлягають шабренню в першу чергу.



Рис. 10.82. Процес ручного шабрування.

Контроль якості виконаного шабрування здійснюється за допомогою спеціальної рамки із прозорим віконцем, розміри якого становлять 25 на 25 мм (дюйм на дюйм). У такому вікні, якщо операція шабрування виконана якісно, має явно прорихуватися 12÷16 плям фарби, рівномірно розподілених по всій його площі.

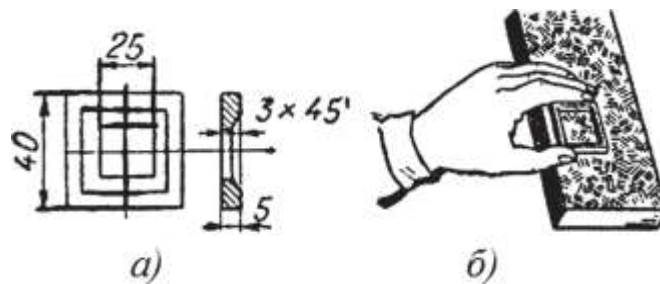


Рис. 10.83. Контрольна рамка (а) та процес контролю якості поверхні після шабрування.

Для сучасного машинобудування характерно застосування спеціальних шабрувальних пристосувань, які здійснюють швидкі зворотно-поступальні

рухи шабера, тобто процес шабрування дещо механізується, хоча і вимагає високої кваліфікації робітника. Найчастіше операція шабрування використовується в ремонтному виробництві при ремонті та відновленні плоских поверхонь і напрямних верстатів та інших машин з лінійним рухом вузлів.

Останнім часом шабрувальні роботи успішно замінюють тонким струганням різцями з широкою ріжучою кромкою або фрезеруванням однозубою фрезою з глибиною різання $30\div 100\text{мкм}$ і подачами $1,0\div 2,0\text{мм/об}$ при швидкостях різання $180\div 250\text{м/хв}$. У цьому досягається шорсткість поверхні $Ra=2,5\div 1,25\text{мкм}$.

Запитання для самоконтролю:

1. *Які методи отримання плоских поверхонь, пазів та уступів застосовують у машинобудуванні?*
2. *Які методи фрезерування існують? Їх переваги та недоліки.*
3. *Як виконується фрезерування циліндричними фрезами?*
4. *Як виконується операція стругання? Її переваги та недоліки.*
5. *Як виконується операція довбання? Її переваги та недоліки.*
6. *Як виконується операція фрезерування дисковими фрезами?*
7. *Як виконується операція фрезерування торцевими фрезами?*
8. *Як виконується операція фрезерування кінцевими фрезами?*
9. *Які методи обробки закритих пазів застосовують у машинобудуванні?*
10. *Як здійснюється формоутворення шпонкових пазів для призматичних шпонок?*
11. *Як здійснюється формування шпонкових пазів для сегментних шпонок?*
12. *Як здійснюється шліфування площини торцем кола?*
13. *Як здійснюється шліфування площини периферією кола?*
14. *Як здійснюється чистова обробка кінцевими фрезами?*
15. *Які методи встановлення заготовки при шліфуванні площини найчастіше застосовують у машинобудуванні?*
16. *Як здійснюється протягування пазів?*
17. *Як здійснюється протягування плоских поверхонь у масовому виробництві?*
18. *У чому суть процесу шабрування площини?*
19. *Які методи контролю якості поверхні застосовують при шабренні?*

10.5. Обробка зубів та зубчастих коліс.

У машинобудуванні для передачі руху обертання чи перетворення його у поступальний використовують різні види зубчастих зачеплень з різноманітними геометричними параметрами, розташуванням, формою і профілем зубів (рис. 10.84). За конструкцією колеса поділяються на:

- циліндричні з прямим, косим, шевронним профілем зуба;
- конічні з прямим, косим, гіпоїдним профілем зуба.

За типом зачеплення: евольвентний; циклоїдальний; гіперболоїдний; сферичний; Новікова та ін. Найбільш поширеним є евольвентний профіль зубчастого зачеплення.

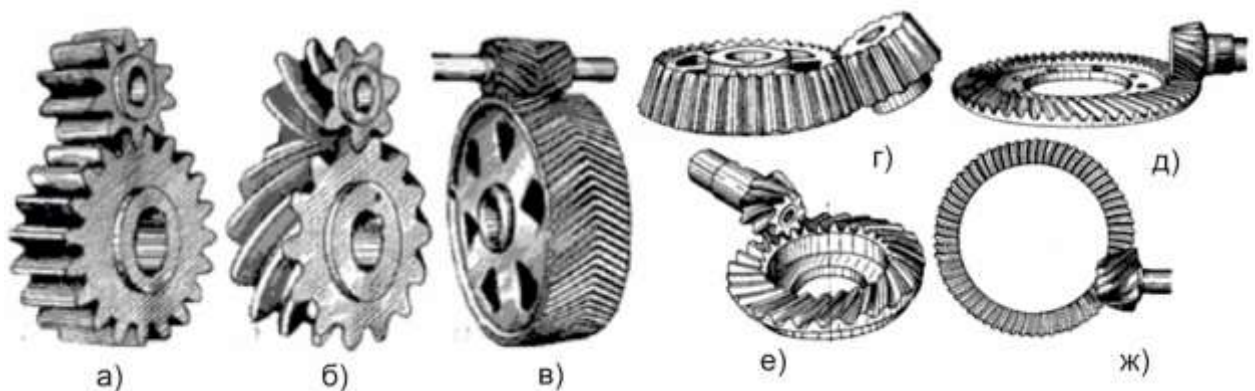


Рис. 10.84. Основні види зубчастих зачеплень: а – циліндричне прямозубе; б - циліндричне косозубчасте; в – шевронне; г - конічне прямозубчасте; д - конічне косозубчасте; е – конічне криволінійне; ж – гіпоїдне.

Таке різноманіття варіантів виконання конструкцій коліс накладає певні умови та формує різноманітність методів отримання профілю зубчастого колеса з необхідною точністю подальшого зачеплення.

Точність зубчастих коліс характеризується похибками ряду елементів, що визначають геометричні розміри, розташування зубчастого вінця на колесі, положення осей коліс, що входять до зачеплення та інше. Наприклад, для прямозубого зубчастого колеса налічується 22 таких елемента, і кожен з них впливає на характер зачеплення зубчастих коліс. Для забезпечення точності зачеплення

зубчастих коліс похибки виготовлення цих елементів обмежуються допусками або відхиленнями, що призначаються з урахуванням конкретних умов виготовлення та вимог експлуатації. У стандартах встановлено 12 ступенів точності зубчастих коліс та передач. Нормований модуль лежить у межах $m = 1 \dots 55$ мм. Діаметр зовнішнього кола може досягати 6300 мм. Перший і другий ступінь точності є найбільш точними та перспективними і не використовуються в даний час. Одинадцятий та дванадцятий ступінь точності використовується у невідповідних передачах відкритих вантажних механізмів. Найбільш широко у машинобудуванні використовуються колеса з 5 по 9 ступень точності залежно від галузі застосування виробу.

У машинобудуванні застосовується два основні методи формоутворення зубів: копіювання та обкатки.

10.5.1. Обробка методом копіювання.

Метод копіювання характеризується тим, що при отриманні профілю зубів інструмент копіює поверхню западин між двома зубами (рис. 10.85). Профіль ріжучої кромки є формоутворюючою, а рух подач напрямної. Заготовка в даному випадку встановлюється на столі 4 у спеціальне пристосування з поворотне-ділильною головкою 3. Западини зубів утворюються по черзі. Після закінчення обробки однієї западини заготовка повертається на кут, що відповідає кроку зуба, та обробляється наступна западина. Недоліком даного методу є низька продуктивність і похибка кроку, що накопичується при обробці коліс з великою кількістю зубів. За методом копіювання побудовано операції зубофрезерування модульними дисковими та кінцевими фрезами, дещо рідше виконується обробка стругальними модульними різцями або протягуванням.

Метод копіювання застосовується в індивідуальному та дрібносерійному виробництві, оскільки обробка може виконуватися на універсальному обладнанні за допомогою універсального різального інструменту.

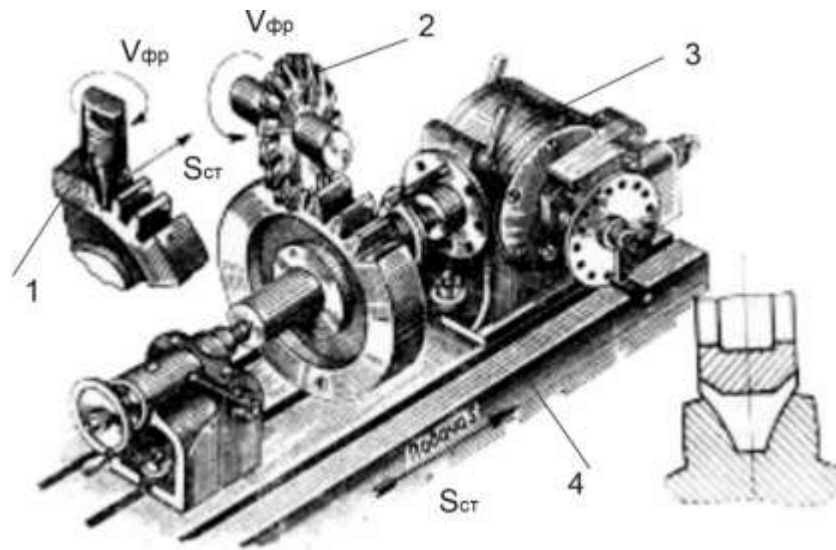


Рис. 10.85. Схема обробки циліндричних зубчастих коліс методом копіювання:
 1 – модульною кінцевою фрезою; 2 – модульною дисковою фрезою;
 3 – поворотна ділильна головка; 4 – стіл.

10.5.2. Обробка методом обкатки.

Метод обкатки найпоширеніший у машинобудуванні. Він набагато продуктивніше методу копіювання і дозволяє отримати 6-8 ступінь точності зубчастих коліс. Формоутворюючою лінією в цьому випадку є траєкторія обкату ріжучого інструменту (зубчаста рейка або колесо), а направляючою - рух подачі інструменту або заготовки в зону обробки.

Розглянемо методи обкатки докладніше.

Зубостругання циліндричних коліс.

Зубостругання різцями здійснюється на спеціальних зубострогальних верстатах з одиничним розподілом заготовки. У процесі обробки заготовка 3 здійснює обертальний рух, а супорт з встановленими різцями 1 і 2 зворотно поступальний рух уздовж осі заготовки з одночасним переміщенням перпендикулярному напрямку. При цьому імітується обкатування заготовки по рейці 4, так як кожен різець імітує різальним профілем западину зубів рейки. Після закінчення повного формування профілю зуба здійснюється процес одиничного поділу (поворот заготовки на величину кута $\alpha=360/z$), та процес повторюється.

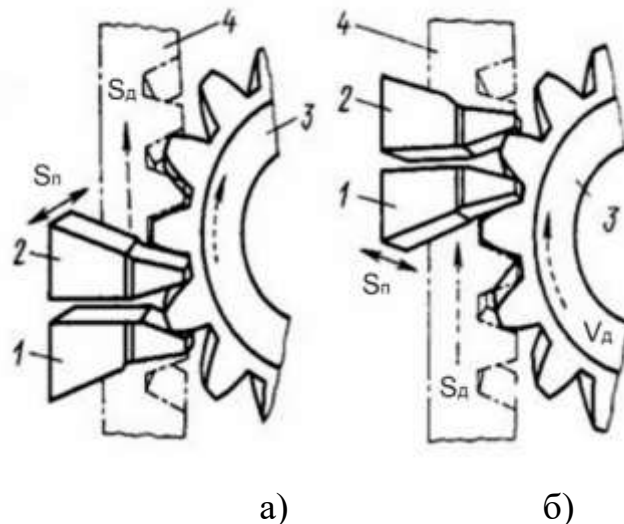


Рис. 10.86. Схема розташування зубострогальних різців:
а – на початку різання; б - наприкінці різання.

Зубофрезерування черв'ячною фрезою.

Даний метод побудований на імітації зубів зачеплення між колесом та нескінченною рейкою (фрезерування черв'ячними фрезами).

Конструкція черв'ячної фрези імітує профіль нескінченної рейки при обертанні навколо осі. Існує кілька варіантів зубофрезерування зубчастих коліс черв'ячною фрезою.

Метод осьової подачі ріжучого інструменту наведено рисунку 10.87,а.

Застосовується при обробці циліндричних коліс із прямими та косими зубами, шліцевих валів, тощо.

Заготовка 1 встановлюється на оправку зубофрезерного верстата та закріплюється. Фреза 2 та стіл із встановленою заготовкою здійснюють обертання, імітуючи зачеплення колеса та рейки. Обробка проводиться за рахунок подачі фрези 3 паралельно осі оброблюваного колеса. Після виходу фрези із зачеплення з колесом, вона виводиться із зони обробки циклограмою 4. За один хід фрези обробляються всі зубці колеса.

Недоліком даного методу є значна величина врізання черв'ячної фрези 1, яку можна скоротити за рахунок використання фрез мінімального діаметра та обробкою пакету заготовок. Цей метод є найпоширенішим.

Час врізування можна скоротити з допомогою застосування радіально-осьової подачі черв'ячної фрези (рис. 10.87б). Спочатку фреза (стіл с заготовкою) радіально переміщається (5) до отримання повної висоти зуба. Після цього включається осьова подача 3, а радіальна відключається. Після виходу фрези із зачеплення з колесом, вона виводиться із зони обробки циклограмою 4. Даний метод реалізується на спеціальних зубофрезерних верстатах стандартними черв'ячними фрезами. При використанні радіальної подачі різко зростає навантаження на зуби фрези. Тому радіальну подачу приймають рівною, 30 – 50% осьової. Даний метод ефективний при фрезеруванні косозубих зубчастих коліс з великим кутом нахилу зубів та при роботі фрезами великого діаметра.

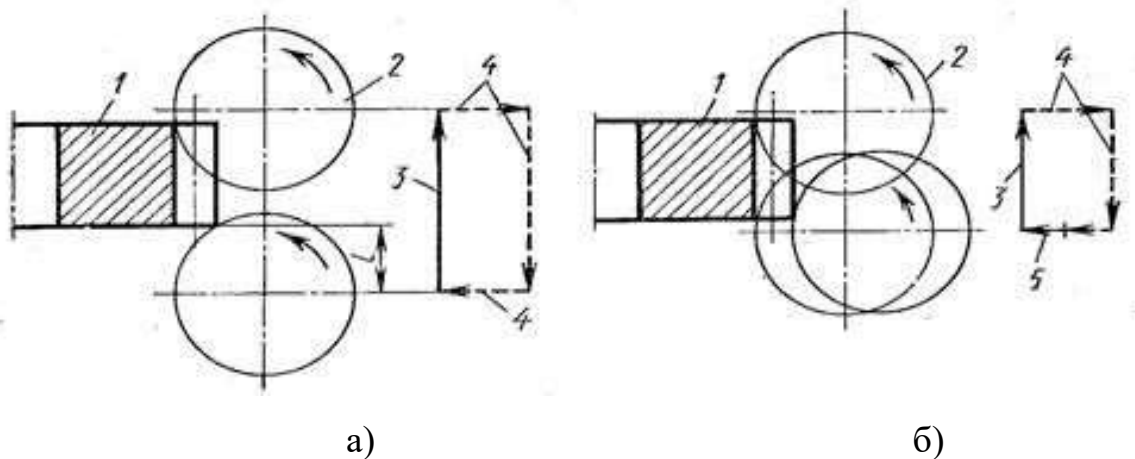


Рис. 10.87. Схема нарізування зубів черв'ячною фрезою: а – з осьовою подачею; б - з радіально-осьовою подачею.

Зубодовбання.

При довбанні зубів методом обкатки круглими довбаками точність обробки вища, ніж при зубофрезеруванні. Метод обкатки круглими довбаками (рис. 10.88,а) більш універсальний ніж зубофрезерування черв'ячними фрезами. На відміну від зубофрезерування, можна обробляти колеса внутрішнього зачеплення (рис. 10.88,б), а також спеціальні типи зубчастих коліс, блокові зубчасті колеса, зубчасті рейки, шевронні колеса, зубчасті сектори. Для таких елементів – зубодовбання є єдино можливим методом.

Вузькі зубчасті колеса з невеликою висотою вінця більш продуктивне обробляти зубодовбанням.

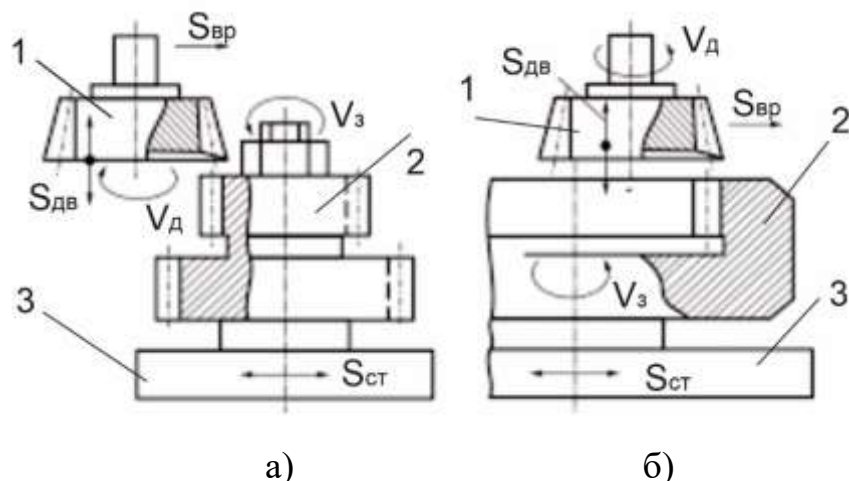


Рис. 10.88. Схема нарізування зубів довбаком: а - блоку коліс; б – колеса внутрішнього зачеплення.

Процес довбання полягає в наступному: довбак 1, виконаний у формі зубчастого колеса, здійснює процес обробки щодо заготовки 2, яка встановлена на столі 3. При цьому процес різання здійснюється за рахунок зворотно-поступальних рухів довбака $S_{дв}$ вздовж усієї осі. Спочатку стіл із встановленою заготовкою здійснює радіальну подачу $S_{вр}$ на оправку з довбаком для забезпечення врізання. Процес врізання здійснюється протягом повороту столу з заготовкою на кут α , величина якого визначається в першу чергу модулем колеса, що нарізується. При досягненні повної висоти зуба врізна подача припиняється і здійснюється лише обробка. Тобто, процес повного циклу обробки колеса, що нарізується, складає поворот заготовки на кут $\beta = 360^\circ + \alpha$.

Для запобігання затирання зубів довбака по задній поверхні під час зворотного ходу передбачається «відскок» столу с заготовкою $S_{ст}$.

Для забезпечення процесу різання необхідно забезпечити зазори L для виходу інструменту із зони обробки.

Блокові зубчасті колеса можуть бути оброблені в основному зубодовбанням, тому що довбаку не потрібна така величина технологічного зазору для виходу інструменту, яка потрібна черв'ячній фрезі. Тому при проектуванні блокових зубчастих коліс необхідно призначити величину L достатньої для здійснення зубодовбання (3÷5мм) в залежності від ширини колеса і модуля зубів.

Зубодовбання косозубих коліс відрізняється від нарізання прямозубих тим, що в процесі зворотно-поступального руху довбак отримує додатковий поворот від копіра з гвинтовими напрямними. При нарізанні косозубих коліс зовнішнього зачеплення довбак має бути косозубим з тим самим кутом нахилу, що і колесо, але з протилежним напрямком зубів.

Зубодовбання шевронних коліс здійснюється на горизонтальних верстатах двома спареними довбаками з правим і лівим нахилом зуба. Довбаки працюють по змінно. Якщо один робить обробку до середини зубчастого вінця, то інший переміщається назад і навпаки. Для обробки шевронних коліс без розділової канавки необхідно використовувати довбання зі спеціальним заточуванням інструменту.

Нарізання коліс внутрішнього зачеплення може здійснюватися лише зубодовбанням. Процес внутрішнього зубодовбання повинен враховувати те, що при радіальному переміщенні довбак не повинен зрізати куточки вершин зубів колеса. Звичайне число зубів довбака приймається рівним або трохи меншим числа зубів колеса, що сполучається ($Z_{min}=10$). Стандартні довбаки не завжди можна використовувати для внутрішнього довбання. При нарізанні косозубих коліс внутрішнього зачеплення напрямок кута нахилу лінії зуба колеса і довбання збігаються. Довбак та заготовка обертається в одному напрямку.

Для всіх видів зубодовбання кількість робочих ходів визначається:

- 1) модулем;
- 2) необхідною якістю поверхні;
- 3) матеріалом заготовки.

Зазвичай зубчасті колеса з модулем до 3мм нарізають за один чорновий та чистовий проходи. Від 3 до 6мм – 2 чорнових та 1 чистовий. Більше 6мм – 3 чорнових та 2 чистових.

При багатопрхідної обробки повна глибина зуба ділиться на число переходів та більш ранні переходи виконуються з більшою глибиною різання ніж наступні. З погляду ступеню точності колеса, що він вище, то більше число переходів необхідне для його забезпечення незалежно від модуля.

Обробка конічних коліс.

Залежно від профілю зуба застосовують різні види обробки конічних коліс:

- зубостругання різцями;
- фрезерування черв'ячною конусною фрезою;
- нарізування зубів різцевою головкою

Процес зубостругання різцями прямозубих коліс здійснюється аналогічно зубоструганню різцями циліндричних зубчастих коліс і наведено на рисунку 10.89. Відмінність тільки в напрямку руху подачі S_n , яка здійснюється не паралельно осі обертання колеса, а паралельно осі зуба, що нарізається.

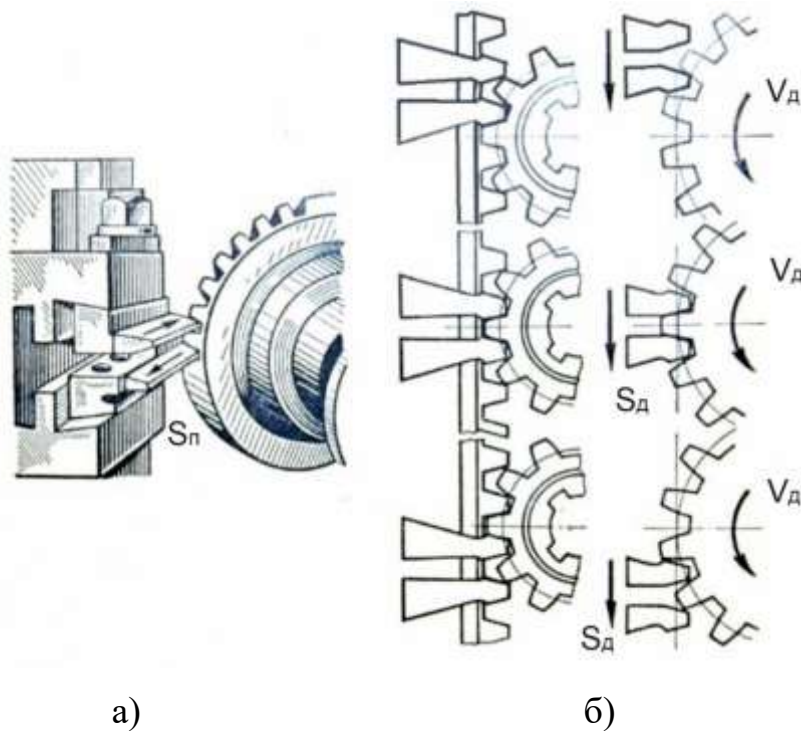


Рис. 10.89. Схема стругання зубів конічного колеса: а – на початку різання; б – наприкінці різання.

Схему фрезерування черв'ячною конусною фрезою для кругової форми зубчастого профілю наведено на рисунку 10.90,а. Заготовка 1 обертається зі швидкістю V_z , а фреза 3 зі швидкістю V_f та імітують зубчасте зачеплення двох конічних коліс 2. Ріжучі зуби фрези здійснюють кругові рухи і формують необхідний профіль зубів на заготовці.

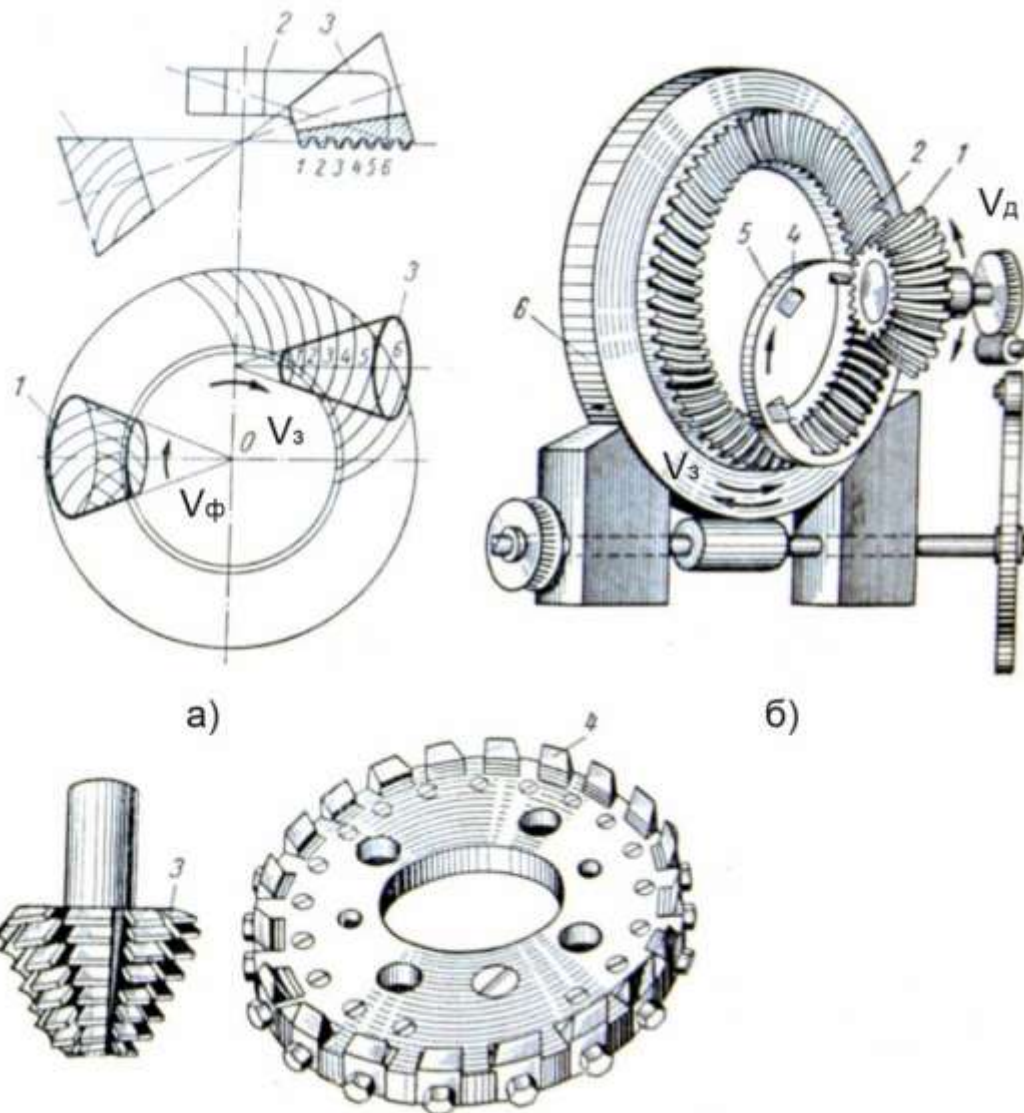


Рис. 10.90. Схема нарізування зубів конічних зубчастих коліс із криволінійними зубами: а – черв'ячною конічною фрезою; б - різцевою головкою.

Схема нарізування кругових зубів різцевою головкою наведено рисунку 10.90,б. Різці 4 встановлюються в різцевій головці 5 з певним кутовим та радіальним кроком. Обертаючись, різцева головка 5 формує кругову западину зубів колеса радіусом, що відповідає радіусу різцевої головки. У процесі обробки заготовка та різцева головка здійснюють обертальні рухи $V_з$ та $V_д$, які забезпечують процес обкату між інструментом та заготовкою.

10.5.3. Зубозакруглення.

Закруглення торцевої поверхні зубів застосовується для забезпечення входу в зачеплення та підвищення терміну служби зубчастих коліс та муфт, що перемикаються на ходу.

При зубозакругленні в більшості випадків обробляються два сусідні зуби з внутрішнього (пальцеві фрези різної форми, рис. 10.91,а) або з зовнішнього боку (чашкові фрези, рис. 10.91,б). Після подачі фрези, що обертається, на задану глибину закруглення здійснюється її відведення і одиничний поділ зубчастого колеса. Обробка повторюється для наступної пари зубів.

Пальцева фреза обробляє дві сусідні поверхні западини зуба. Метод має велику універсальність, можливе отримання різних за профілем форм закруглення. Метод широко використовується в одиничному та серійному виробництві.

Найбільш ефективним засобом зубозакруглення є метод обробки фасонними чашковими фрезами з одиничним поділом (рис. 10.91,г). Цей метод має більш високу продуктивність, а чашкові фрези мають більшу стійкість.

Обробка ведеться внутрішніми зубами чашкової фрези, причому обробляються протилежні торцеві поверхні двох сусідніх зубів. Обробка зазвичай ведеться фрезами з криволінійними ріжучими кромками; при використанні фрез з прямолінійними ріжучими кромками забезпечуються закруглення гострих кутів типу «дах будиночка».

У процесі зубонарізання на торцях колеса залишаються задирки та гострі кромки, які погіршують якість поверхні та знижують термін служби, тому для відповідальних коліс постійного зачеплення необхідно знімати фаски та видаляти задирки. Оптимальною є фаска у формі коми. Для зняття фасок використовують різні методи, проте найпоширенішим та найпродуктивнішим є електрохімічний метод зняття фасок, який буде розглянуто далі.

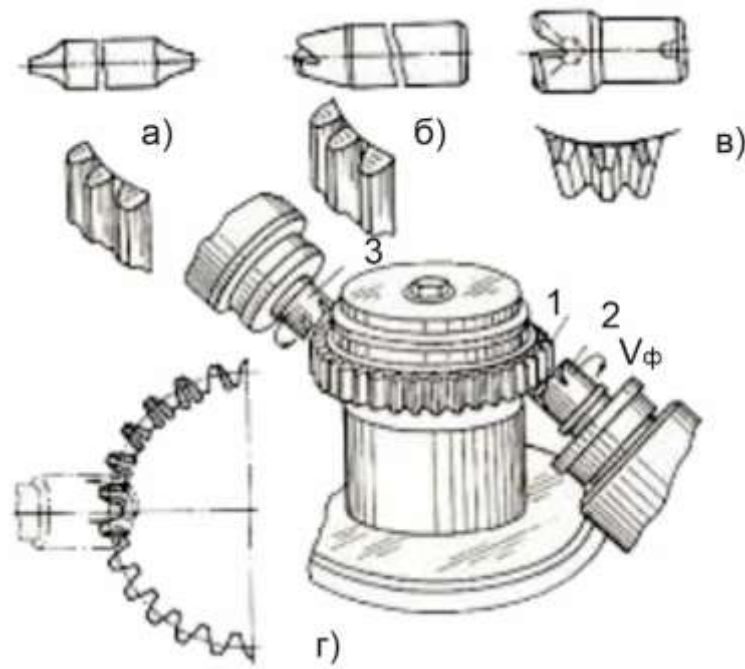


Рис. 10.91. Варіанти закруглення зубів: а, б – пальцевою фрезою; в – чашковою фрезою; г - схема зубозакруглення чашковою фрезою; 1 – заготовка; 2 – фреза.

10.5.4. Остаточні методи обробки зубчастих коліс.

Зубошевінгування.

Зубошевінгування є найбільш поширеним остаточним методом чистової обробки незагартованих зубчастих коліс із зовнішнім або внутрішнім зачепленням.

Шевінгування забезпечує:

- підвищення точності зубчастого зачеплення;
- зменшення шорсткості поверхні профілю зуба;
- зниження рівня шуму;
- збільшується термін експлуатації.

Досягається 6÷8 ступень точності зубчастих коліс та шорсткість $Ra=2\div0,8$ мкм. Точність зубчастих коліс у процесі шевінгування залежить від точності попередньої обробки зубів та коефіцієнта перекриття ($K \geq 1,6$).

Допускається поздовжня та профільна модифікація зубів. У процесі шевінгування шевер 1 і колесо 2, що обробляється, знаходиться в щільному зачепленні завдяки обертанню $V_{ш}$ та V_z . Осі їх обертання розташовані під кутом

схрещування α . На профілях зубів шевера розташовується дрібні зубці, грані яких утворюють ріжучі кромки. В результаті притиску шевера до колеса за рахунок подачі столу $S_{ст}$ з заготовкою та відносного ковзання шевера по колесу, ріжучі кромки на шевері при переміщенні поверхнею зуба колеса впроваджуються в неї і знімають тонку стружку (рис.10.92).

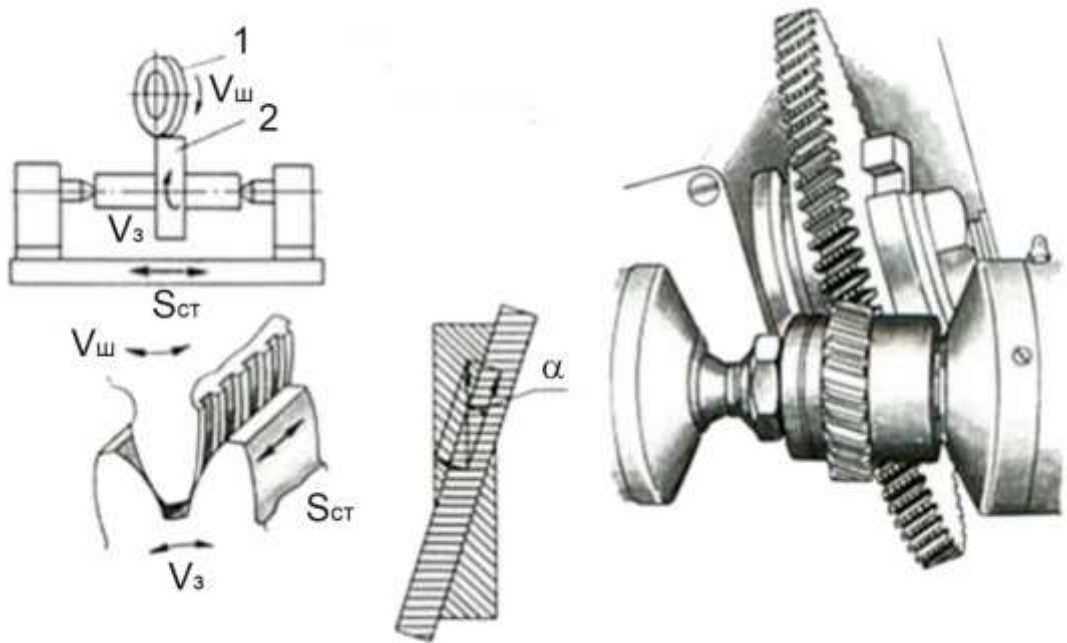


Рис. 10.92. Процес шевінгування.

Для здійснення знімання тонкої стружки із заготовки використовуються різні методи шевінгування: паралельне, діагональне, тангенціальне та врізне.

Паралельне.

Оброблюване колесо 2 здійснює зворотно - поступальний рух $S_{ст}$ паралельно своєї осі і в кінці кожного циклу переміщається вертикально в напрямку шеверу (рис. 10.93,а). Останній два ходи виконуються без радіальної подачі. Ширина шевера залежить від ширини зубчастого вінця B , тобто можна обробляти колеса практично будь-якої ширини. Застосовують зазвичай у дрібносерійному виробництві, а при $B > 50$ мм у багатосерійному та масовому.

Недолік: виконується обробка лише середнім перетином довжини зуба, звідси не рівномірне зношування інструменту.

Діагональне.

Оброблюване колесо 2 здійснює зворотно-поступальний рух під кутом осі свого обертання ϵ . Точка схрещування осей у процесі обробки переміщається по всій ширині шевера 1, що забезпечує рівномірне зношування його ріжучих граней (рис. 10.93,б). Ширина шевера залежить від ширини зубчастого вінця. Рекомендується застосовувати для коліс із шириною $B < 50$ мм у серійному та масовому виробництві.

Тангенціальне.

При тангенціальному шевінгуванні поздовжня подача відсутня. Ширина шевера 2 більша за ширину зубчастого вінця 1. Існує тільки подача на глибину L , перпендикулярно осі колеса (рис. 10.93,в). Для забезпечення різання замість поздовжньої подачі ріжучі зубці шевера зміщуються щодо торця по гвинтовій лінії. Найбільш продуктивний метод, але застосовуємо лише для вузьких коліс. Користуються в серійному виробництві та при обробці блокових коліс.

Врізне.

При врізному шевінгуванні осьова подача відсутня. Шейер 1 переміщається до колеса 2 тільки радіально (рис. 10.93,г). Ширина шевера більша за ширину колеса. Вся поверхня зуба колеса обробляється одночасно. Застосовується у масовому виробництві для вузьких коліс.

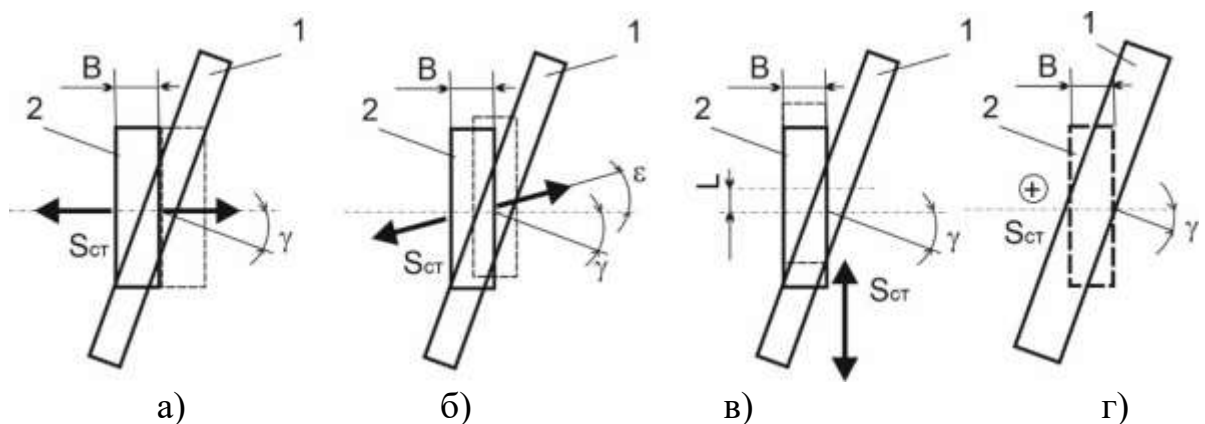


Рис. 10.93. Схеми шевінгування: а – паралельне; б – діагональне; в – тангенціальне; г – врізне.

Колеса внутрішнього зачеплення зазвичай шевенгуються на спеціальних верстатах аналогічно циклам із зовнішнім зачепленням.

10.5.5. Зубошліфування.

Застосовується в основному для отримання якісних попередньо загартованих зубчастих коліс, що мають високу зносостійкість. Ступінь точності обробленого колеса залежить від методу шліфування, технологічного стану обладнання та точності інструменту. Методи формоутворення профілю зубів аналогічні методам при лезовій обробці (копіювання та обкатки). Колеса 3 ÷ 4 ступеня точності доцільно виготовляти за такими технологіями:

фрезерування або довбання – термообробка – шліфування баз - попереднє шліфування профілю зуба – зубохонінгування.

Процес шліфування методом копіювання аналогічний процесу фрезерування модульною фрезою (рис. 10.94,а). Стіл із заготовкою переміщується у напрямку шліфувального кола з периферійним профілем, який повторює профіль западин між зубами та обертається зі швидкістю $V_{кр}$. Наприкінці кожного циклу стіл переміщується вертикально на величину припуску на переході $S_{вр}$. Після обробки на всю глибину западин виконується одиничний поділ заготовки і процес повторюється. Даний метод дозволяє досягти 3÷6 ступені точності зубчастого колеса. Недоліком цього метода є досить складна правка шліфувального кола для забезпечення точного профілю.

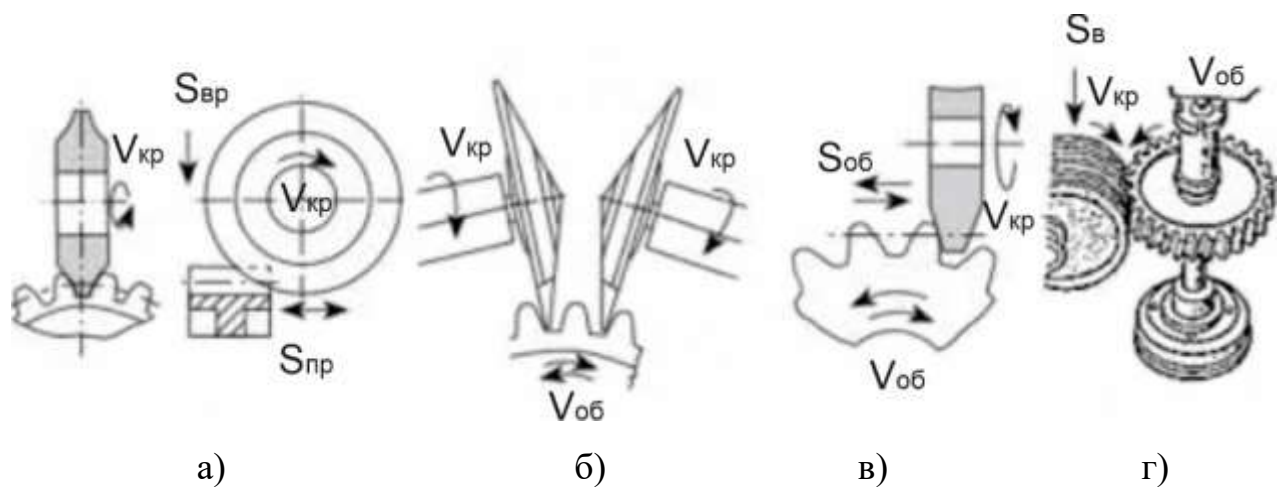


Рис. 10.94. Схеми шліфування зубчастих коліс: а – шляхом копіювання; б - двома шліфувальними колами; в – одним шліфувальним колом; г - черв'ячним шліфувальним колом.

Шліфування за методом обкату з одиничним розподілом здійснюється одним або двома колами. На рисунку 10.94,б представлена схема шліфування двома колами, торці яких імітують профіль двох зубів рейки. Обробляються бічні поверхні із зубів «через одного». На рисунку 10.94,в представлено схему шліфування одним колом, периферія якого імітує профіль зуба рейки. Обробляються бічні поверхні сусідніх зубів. В обох випадках обробка ведеться за рахунок поздовжнього переміщення столу з заготовкою, а рух обкату, який забезпечує обробку бічних поверхонь зуба по всій висоті, здійснюється одиничним поворотом заготовки *Voб* та поперечним переміщенням столу *Soб*. В обох схемах, після обробки западин на всю глибину, проводиться одиничний поділ заготовки і цикл обробки повторюється для наступної пари зубів. Цей метод дозволяє досягти 4÷6 ступені точності зубчастого колеса. На відміну від шліфування методом копіювання, правка навколо здійснюється набагато простіше, оскільки у процесі обробки беруть участь тільки плоскі поверхні шліфувального кола.

Шліфування за методом обкату черв'ячним шліфувальним колом (нескінченною рейкою) здійснюється за тими ж кінематичними схемами, що і фрезерування зубів черв'ячними фрезами (рис. 10.94,г). Даний метод дозволяє досягти 5÷6 ступені точності зубчастого колеса. Даний метод є найбільш продуктивним із усіх розглянутих вище методів шліфування зубчастих коліс.

10.5.6. Зубохонінгування.

Застосовується для чистової обробки загартованих зубчастих коліс зовнішнього та внутрішнього зачеплення. При зубохонінгуванні усуваються задирки, пошкодження поверхні зубів, зменшується шорсткість поверхні зубів, знижується рівень шуму, підвищується контактна міцність коліс.

Процес зубохонінгування полягає у спільному обкаті заготовки та інструменту – зубчастого колеса, виготовленого з епоксидної смоли або каучуку з додаванням абразивного порошку. Зовні процес зубохонінгування подібний до процесу шевінгування і здійснюється за тими ж кінематичними схемами.

При зубохонінгуванні знімається з поверхні зубів незначний шар, що дає можливість обробляти колеса після цементації і азотування без побоювання зменшити товщину загартованого до високої твердості шару. Тому спеціально припуски на зубохонінгування не залишають.

Абразивний зубчастий хон (рис. 10.95) складається з абразивного вінця 1, металевої ступиці 2 і еластичної прокладки 3, яка додає хону властивість податливості. Хонінгування прямозубих коліс проводиться косозубими хонами з кутом $10\text{—}20^\circ$, косозубих коліс — прямозубими хонами. Найбільшого поширення в промисловості набули хони, зубчасті вінці яких складаються з абразивного порошку різних матеріалів: електрокорунда нормального та електрокорунду білого, карбиду кремнію чорного та зеленого, монокорунду та зв'язки — найчастіше на основі епоксидних смол.

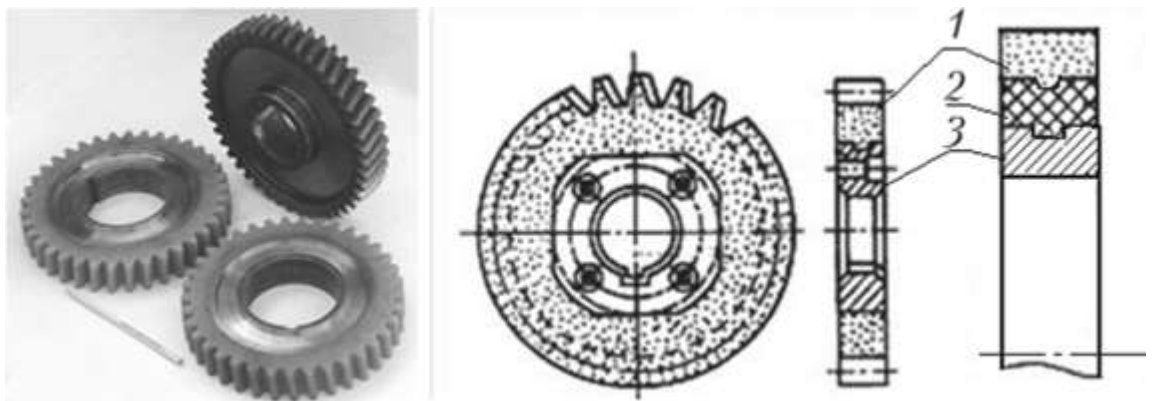


Рис. 10.95. Зубчастий хон.

Заготовці додається зворотно-поступальний рух подачі вздовж осі, напрямок обертання інструменту змінюється після кожного подвійного ходу заготовки. Для інтенсифікації процесу у ряді верстатів передбачено коливальний (осцилюючий) рух інструменту вздовж його осі. Так само, як і при шевінгуванні, для забезпечення контакту навантаження пари колесо-інструмент здійснюється в радіальному або окружному напрямках. Число зубів хона не повинно бути кратне числу зубів колеса, що обробляється.

Рекомендується при зубохонінгуванні використовувати припуск $10\div 30\text{мкм}$ на бік зуба. Тому спеціально припуски на зубохонінгування не залишають.

При зубохонінгуванні можливе лише зменшення похибок, які виникли під час попередньої обробки. Досягається $3\div 6$ ступінь точності зубчастого колеса та шорсткість $Ra=0,32\text{мкм}$, похибка евольвенти зачеплення усувається незначно. Температура в зоні контакту зубчастого хона із заготовкою невисока, тому на поверхнях зубів не утворюються припали та мікротріщини. Це зберігає твердість та структуру поверхневого шару зубів. Процес зубохонінгування рекомендується використовувати у багатосерійному та масовому виробництві відповідальних зубчастих коліс.

Запитання для самоконтролю:

- 1. Які види зубчастих зачеплень застосовують у машинобудуванні? Їхнє призначення.*
- 2. Які методи формоутворення профілю зубчастих коліс використовують у машинобудуванні?*
- 3. У чому полягає метод копіювання? Принципи формоутворення.*
- 4. У чому полягає метод зубостругання ?*
- 5. У чому полягає метод зубофрезерування ?*
- 6. У чому полягає метод зубостругання з одиничним поділом?*
- 7. У чому полягає метод зубостругання для конічних коліс?*
- 8. У чому полягає метод зубофрезерування циліндричних коліс?*
- 9. У чому полягає метод зубофрезерування конічних коліс?*
- 10. У чому полягає метод нарізування конічних зубів різцевими головками?*
- 11. У чому полягає метод зубодовбання циліндричних коліс?*
- 12. У чому полягає метод зубодовбання коліс внутрішнього зачеплення?*
- 13. У чому полягає метод зубошевінгування ?*
- 14. У чому полягає метод зубошліфування методом копіювання?*
- 15. У чому полягає метод зубошліфування за методом обкату та одного поділу колеса?*

- 16. У чому полягає метод зубошліфування методом обкату черв'ячним шліфувальним колом?*
- 17. Навіщо необхідно зубозакруглення зубчастих коліс? Якими способами здійснюється зубозакруглення ?*
- 18. Що таке зубохонінгування зубчастих коліс?*

10.6. Обробка різьбових та гвинтових поверхонь.

У машинобудуванні застосовується досить багато гвинтових поверхонь. Форма та геометричні параметри таких поверхонь визначаються їх призначенням під час експлуатації машини. Найбільш поширеними є з'єднальні або різьбові (метрична, дюймова, трубна, конічна) та силові (трикутна, прямокутна, трапецеїдальна, упорна, напівкругла) види гвинтових поверхонь. Перші призначені до виконання складальних робіт під час виробництва машин, другі, переважно, для забезпечення перетворення обертального руху на поступальний. В окремий вид можна віднести черв'ячні та шнекові гвинтові поверхні.

Метричне різьблення, найпоширеніша у нашій країні, визначається п'ятьма параметрами: середнім діаметром; зовнішнім діаметром; внутрішнім діаметром; кроком різьблення; кутом профілю різьблення.

Допуски призначаються тільки для двох параметрів зовнішнього різьблення - середнього та зовнішнього діаметрів і для двох параметрів внутрішнього різьблення - середнього та внутрішнього діаметрів. Для цих параметрів для метричного різьблення встановлено ступеня точності $3\div 10$, які наведені у таблиці 10.4.

Таблиця 10.4. - Ступінь точності зовнішніх та внутрішніх поверхонь різьблення.

Вид різьблення	Діаметр різьблення	Ступінь точності
Зовнішня	зовнішній d	4,6,8
	середній d_{cp}	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Внутрішня	середній D_{cp}	4, 5, 6, 7, 8, 9
	внутрішній D	4, 5, 6, 7, 8

На ступінь точності різьбової поверхні впливає квалітет поверхні заготовки та метод формування поверхні різьблення. Так, для отримання 6 ступеня точності зовнішньої різьби необхідно, щоб поверхня заготовки відповідала $10\div 11$ ква-

літету. Для 8 ступеня точності достатньо 12÷13 квалітетів. У таблиці 10.5 наведено середньо-економічні показники точності та шорсткості поверхні різьблення для різних методів обробки.

Таблиця 10.5. - Економічна точність та шорсткість обробки різьбових поверхонь за рівнем точності різьблення.

Спосіб обробки нарізання різьблення	Поле допуску		Шорсткість, R_a , мкм
	Зовнішні різьблення	Внутрішні різьблення	
Круглими плашками	8g	-	$R_a = 20 \div 1,25$
Мітчиками	-	6H	$R_a = 10 \div 2,5$
Дисковими фрезами	6g	-	$R_a = 10 \div 1,25$
Гребінчастими фрезами	6g	6H	$R_a = 10 \div 2,5$
Нарізання різцями	7g	7H	$R_a = 10 \div 2,5$
Різьбошліфування	6 g	6H	$R_a = 2,5 \div 0,63$

10.6.1. Обробка зовнішніх різьбових поверхонь.

Точіння різьбових поверхонь.

Різьбові поверхні різного профілю обробляються на токарних верстатах з використанням спеціальних різців, профіль яких копіює профіль западини відповідного типу різьблення (метрична, трубна, дюймова).

Обробка виконується аналогічно звичайному точінню з невеликою швидкістю різання та подачею, що відповідає кроку різьблення. Формотворчою є гвинтова лінія, як результат обертання заготовки, і лінійне переміщення інструменту вздовж осі різьблення як напрямна.

Для нарізування різних типів різьблення на токарно-гвинторізних верстатах заготовка 1 базується у патроні або центрах і обертається з невеликою швидкістю V_3 (рис. 10.96). Подача супорта 4 з встановленим різцем призначається рівною кроку різьблення $S=P$ та забезпечується ходовим гвинтом 3 (на відміну від токарної обробки, де подача здійснюється за рахунок ходового валу). Профіль різьби 2 відповідає профілю різальної частини різця.

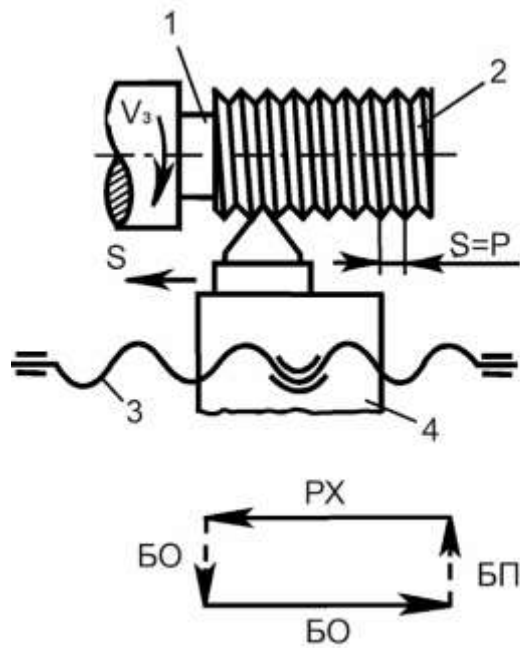


Рис. 10.96. Схема обробки та циклограма роботи при нарізанні зовнішньої різьби: 1 – заготовка; 2 – різьбова поверхня; 3 – ходовий гвинт; 4 – супорт із встановленим різцем.

При обробці різьблення з великою висотою западини проводиться обробка за кілька проходів, причому профіль різьблення копіює лише останній різець. На рисунку 10.97 наведено різні конструкції різців для нарізування різьблення. Для нарізування різьблення з великим кроком використовуються багатопрофільні різці або різцеві гребінки, які формують повну висоту профілю поступово.

На токарних верстатах можливе нарізування різьблення з використанням плашок. Плашка копіює профіль гайки, який відповідає різьбі, що нарізується. На рисунку 10.98 наведено конструкцію плашки та методи формування зовнішніх різьбових поверхонь на токарному верстаті з упором плашкоутримувача в станину (рис. 10.98,б), в супорт (рис. 10.98,в) і вручну (рис. 10.98,г) для нарізування різьблення з невеликим кроком. Ще один метод обробки плашками, коли вони встановлюються в задній бабці за допомогою спеціального патрона, що плаває в осьовому напрямку, або пристосування для забезпечення принципу самонарізування різьблення. Спочатку плашка з подачею S , яка менше кроку різьблення P ($S < P$ до 5%) подається до торця нарізаною різьбленням поверхні. У про-

цесі різання відбувається захоплення поверхні заготовки, і надалі, плашка переміщується з подачею, що дорівнює кроку різьби, тобто здійснюється процес самонарізання. Величина осевого переміщення плашки залежить від довжини різьби, що нарізується, і різниці між подачею і кроком різьблення. У деяких випадках в індивідуальному виробництві для неточного різьблення невеликого розміру подача плашки може здійснюватися вручну.

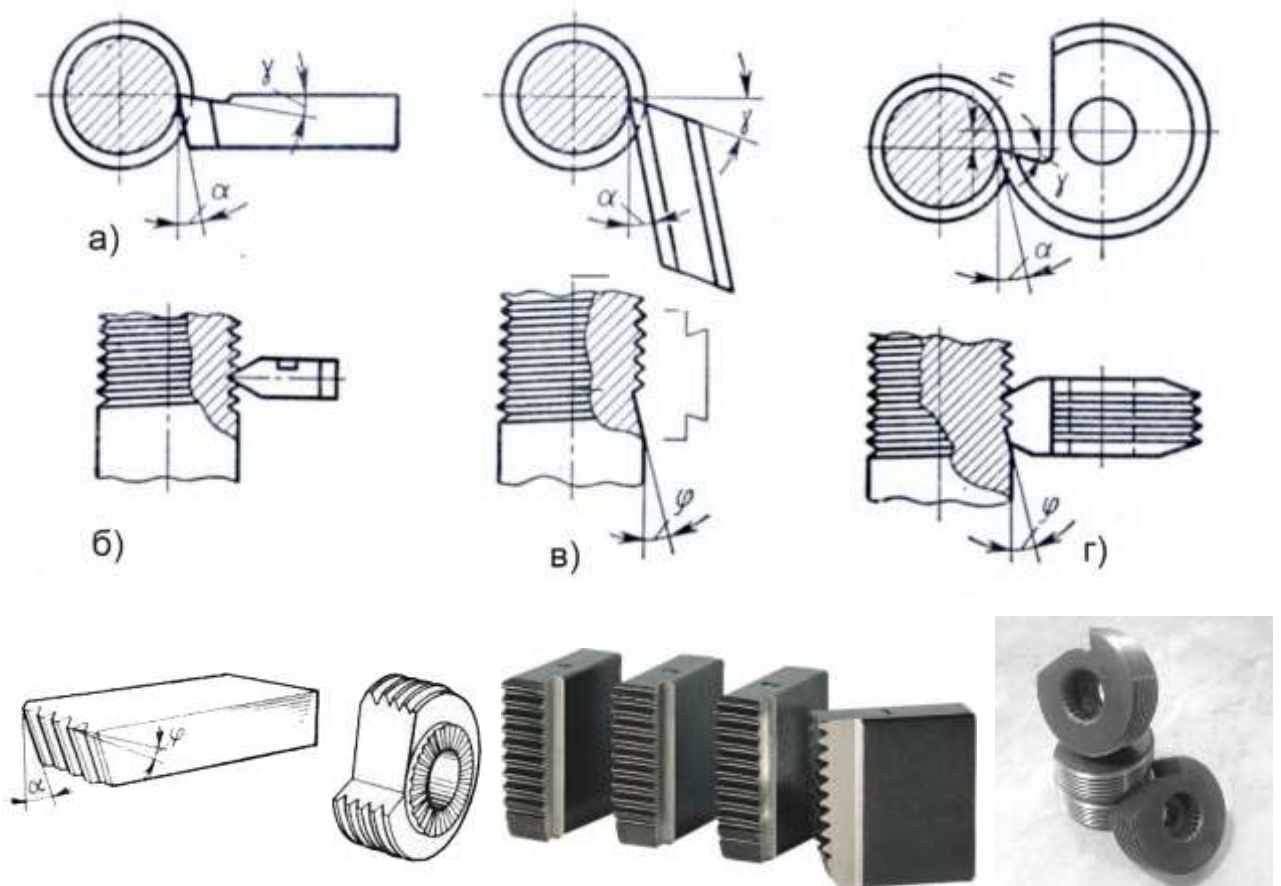


Рис.10.97. Різці для нарізування різьблення із зазначенням основних кутів:

- а – стрижневий; б – призматичний однопрофільний;
- в – призматичний багатпрофільний; г - круглий багатпрофільний;
- α – задній кут; γ – передній кут; φ – кут забірного конуса;
- h – висота осі різця під час встановлення.

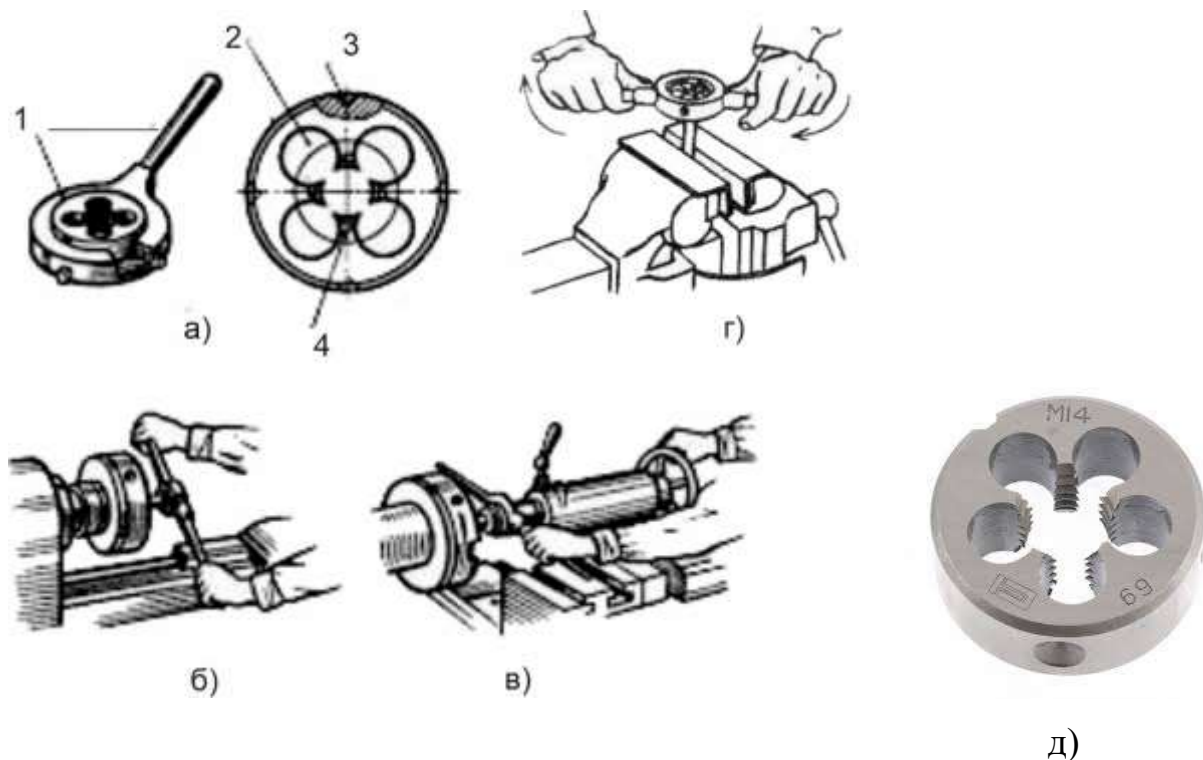


Рис. 10.98. Способи нарізування зовнішньої різьби з використанням плашок:
 а – плашка та її основні елементи; б - формування різьблення на токарному верстаті з упором плашкоутримувача у станину; в - нарізання різьблення на токарному верстаті з упором плашкоутримувача в супорт; г - нарізання різьблення вручну.

Запропоновані вище методи нарізування різьбових поверхонь мають невисоку продуктивність, а нарізання плашками вимагає реверсування обертання заготовки та додатковий час на згвинчування інструменту, тому застосовується в основному в індивідуальному, ремонтному та дрібносерійному виробництві. Більш продуктивним методом отримання зовнішніх різьбових поверхонь на верстатах з використанням різьбових головок є так зване вихрове нарізування різьблення. Як різальний інструмент використовуються спеціальні плоскі або круглі гребінки, які закріплюються в різцевих головках.

Цей спосіб полягає в наступному: заготовка обертається з частотою обертання V_3 набагато меншою, ніж різець, закріплений в різцевій головці, що обертається з частотою обертання V_2 в протилежному напрямку обертання заготовки. Причому вісь обертання різцевої головки O_1 не збігається з віссю обертання заготовки O на величину ϵ , і тоді виходить переривчасте різання, тому що різець

періодично (один раз за кожен оберт головки) приходиться у зіткнення з оброблюваною поверхнею. Площина, в якій обертається різець, нахилена до вертикальної площини під кутом підйому гвинтової лінії різьби. У головках закріплюють один, два чи чотири різці. Цим способом можна нарізати різьблення діаметром понад 50мм і забезпечити ступінь точності **6g**.

Даний метод використовується у багатосерійному та масовому виробництві при обробці стандартних кріпильних елементів, тощо.

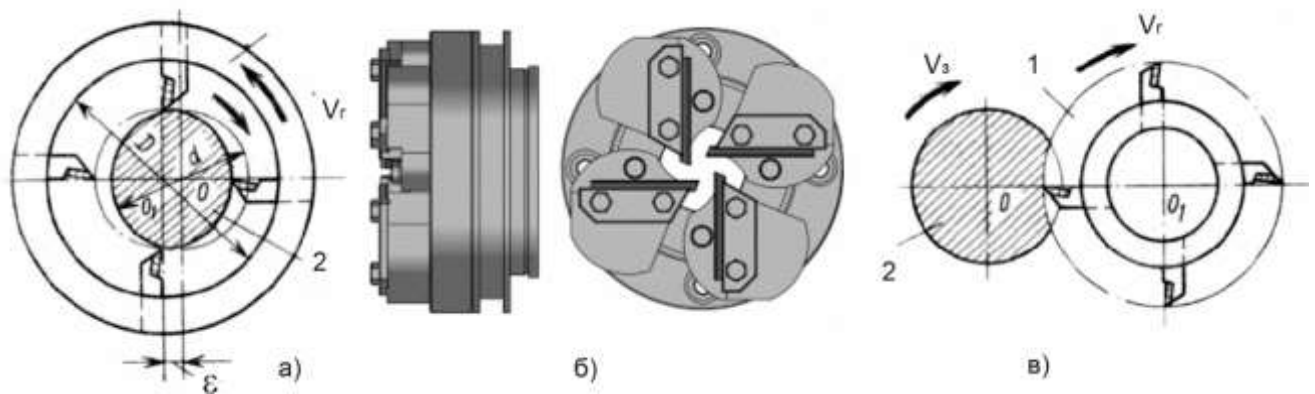


Рис. 10.99. Схеми чотирирізцевої головки: а – для внутрішнього торкання; б-зовнішній вигляд головки; в – для зовнішнього торкання.

Фрезерування різьбових поверхонь.

Ще одним високопродуктивним методом обробки різьбових поверхонь є фрезерування різьблення спеціальними гребінчастими фрезами. Основний рух різання, що забезпечує необхідну швидкість різання, здійснює фреза, що обертається, осьова подача фрези S_z та обертання заготовки, що визначають окружну подачу. Вони пов'язані таким чином, що утворюють заданий кут підйому різьби; за один оберт заготовки фреза переміщається на один крок різьблення.

Схема утворення різьблення гребінчастою фрезою представлена на рисунку 10.100. За один з чвертю оборот заготовки (чверть обороту на доопрацювання ділянки різьблення, що утворився при врізанні інструменту на глибину різьблення) виходить задане різьблення. Фрезерування різьблення можна здійснювати як за напрямом, так і проти обертання фрези. Вибір одного з цих методів визначається умовами різання при фрезеруванні.



Рис. 10.100. Схема нарізування різьблення гребінчастою фрезою та загальний вигляд фрези.

Накочування різьбової поверхні.

Дрібні різьбові поверхні можуть оброблятися методом накатки. Накочування різьблення - процес отримання різьблення в результаті пластичної деформації заготовки різьбонакатним інструментом. Способи накочування засновані на використанні пластичних властивостей матеріалу заготовки і полягають в одночасному або послідовному перенесенні профілю з накатного інструменту на заготовку. Профіль різьби, що накочується, утворюється за рахунок вдавлювання інструменту в матеріал заготовки і видавлювання частини матеріалу у западини інструменту. Накочування різьблення є ефективним та продуктивним методом обробки, який отримав широке застосування у багатосерійному виробництві. Накатані різьблення в порівнянні з нарізаними внаслідок ущільнення поверхневого шару мають більшу втомну міцність і довговічність.

Накочування зовнішнього різьблення на деталях виконують двома плоскими різьбовими плашками; різьбовими роликками; різьбовим роликом та нерухомою сегментною плашкою (рис. 10.101). Накатні роликки є циліндричні тіла, на зовнішній поверхні яких утворено різьблення. При роботі вони передають відбиток своєї зовнішньої поверхні на поверхню заготовки, що накатується, тому кут підйому різьблення на роликках повинен дорівнювати куту підйому різьблення деталі, а напрям витків різьблення роликків має бути протилежним напрямку витків деталі, тобто для накочування деталі з правим різьбленням ролик повинен мати ліве різьблення. Профіль різьблення ролика повинен відповідати профілю різьблення деталі.

При накочуванні різьблення можливі концентратори напруги, сколи та інші види дефектів. Накочування різьблення відбувається на заготовках з негативним припуском, тобто використовуються стрижні меншого розміру.

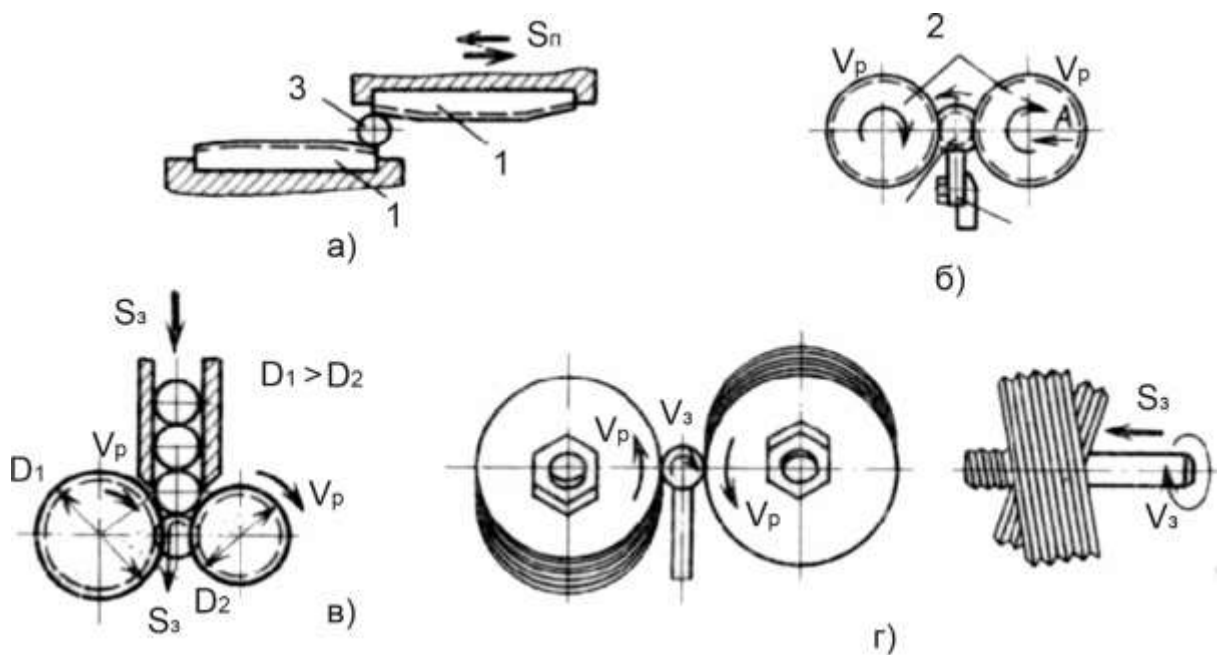


Рис. 10.101. Схема накочування різьблення: а – плоскими плашками; б, в – двома роликками з радіальною подачею; г – двома роликками з тангенційною подачею.

10.6.2. Обробка внутрішніх різьбових поверхонь.

Внутрішні різьбові поверхні невеликого діаметру обробляють з використанням мітчиків на свердлильних, токарних верстатах або вручну (рис.10.102). Схема обробки та методи обробки аналогічні обробці плашками, тобто може бути використаний ефект самонарізування.

Для забезпечення точності кроку різьблення, як і при обробці плашками, використовується кріплення мітчика, що плаває в осьовому напрямку, в спеціальних різьбових патронах ($S < P$).

Невеликі різьблення можна обробляти вручну за тією ж схемою, що й нарізування різьблення плашками (див. рис.10.98). Даний метод не має високої продуктивності, однак є єдиним при обробці внутрішньої різьби малого діаметра. При обробці різьблення більшого діаметра використовуються комплекти мітчиків, які формують різьбовий профіль поступово.

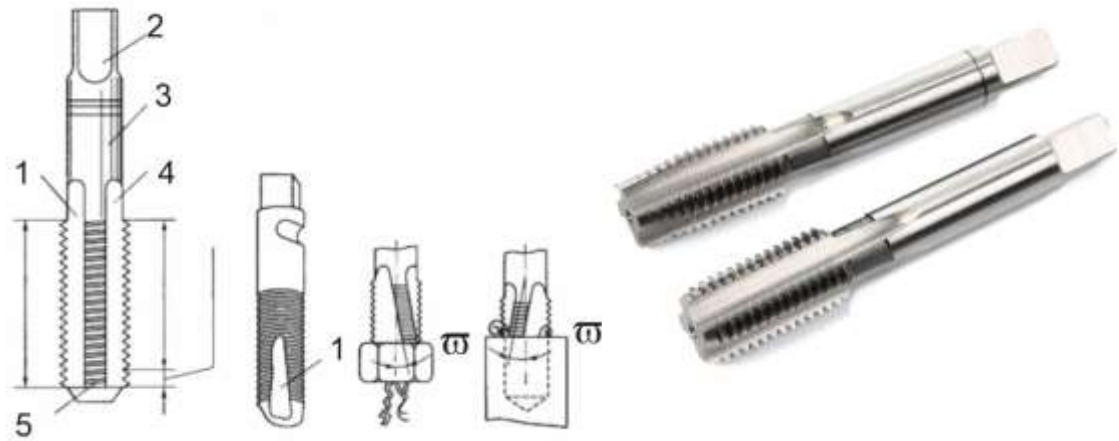


Рис. 10.102. Конструкція мітчика:

1 – виток нитки різьблення; 2 – квадрат для закріплення мітчика;
3 – хвостовик; 4 – канавка для відведення стружки; 5 – забірна частина.

Різьбові поверхні великого діаметру майже ніколи не обробляються мітчиками. У одиничному виробництві різьбові поверхні великого діаметра обробляються на токарних або розточувальних верстатах з використанням різців або спеціальних різцевих головок, які оснащені різьбовими гребінками (вихрове нарізування, яке забезпечує більш продуктивний процес обробки) або нарізання різьбленими фрезами (обробка по контуру).

Кінематика формоутворення при обробці внутрішнього різьблення різцями аналогічна нарізуванню зовнішнього різьблення (рис. 10.103), при цьому профіль різальної частини різця відповідає профілю різьблення.

Обробка внутрішніх різьбових поверхонь вихровим методом з використанням різцевих головок здійснюється за тими ж принципами формоутворення, що і зовнішніх різьбових поверхонь (рис.10.104). Внутрішнє різьблення частіше нарізують різьбонарізними головками із призматичними гребінцями, ріжучі кромки яких розташовуються на одному діаметрі і мають забірний конус. Гребінки зміщені в комплекті відносно одна одної відповідно до кута підйому гвинтової лінії різьби, що нарізається. Число гребінок у комплекті залежить від розміру головки. Забезпечення обертання шпинделя із встановленим профільними різцями здійснюється у спеціальному пристосуванні або за рахунок конструкції

державки різця, що створює необхідний ексцентриситет обертання різця при встановленні державки у борштанзі або шпинделі розточувального верстата.

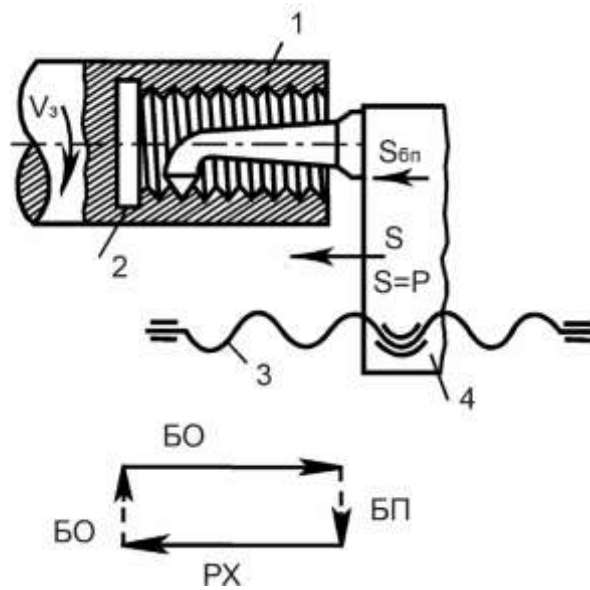


Рис. 10.103. Схема обробки та циклограма роботи при нарізуванні внутрішнього різьблення: 1 – заготовка; 2 – різьбова поверхня; 3 – ходовий гвинт; 4 – супорт із встановленим різцем.

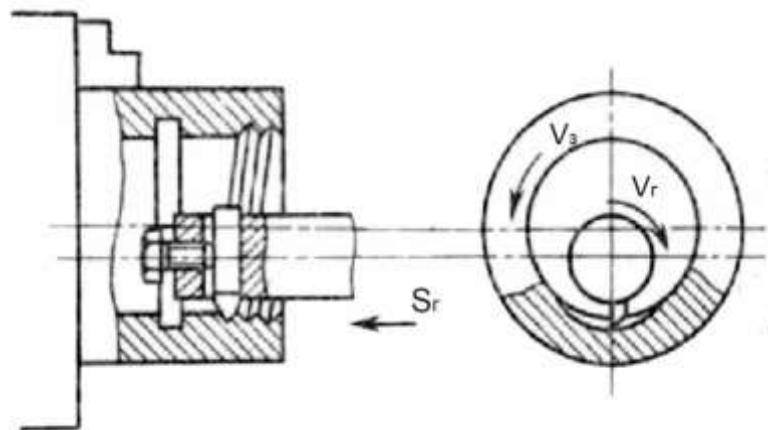


Рис.10.104. Схема обробки внутрішнього різьблення вихровим способом.

Останнім часом завдяки широкому розповсюдженню багатопрофільних верстатів з ЧПУ все частіше використовується фрезерування внутрішнього різьблення кінцевими або гребінчастими фрезами.

У цьому випадку різьблення утворюється за рахунок контуру різьбової частини фрези. Контур безперервно нарізує різьблення, рухаючись по спіралі

вздовж стінки отвору. При фрезеруванні різьблення в глухих отворах слід проводити фрезерування знизу-вгору (супутнє фрезерування, напрямок обертання фрези протилежно обертанню обкату), а для наскрізних - зверху вниз (зустрічне фрезерування, напрямок обертання фрези збігається з напрямком обкату). Схему фрезерування внутрішньої різьби кінцевими фрезами наведено на рисунку 10.105.

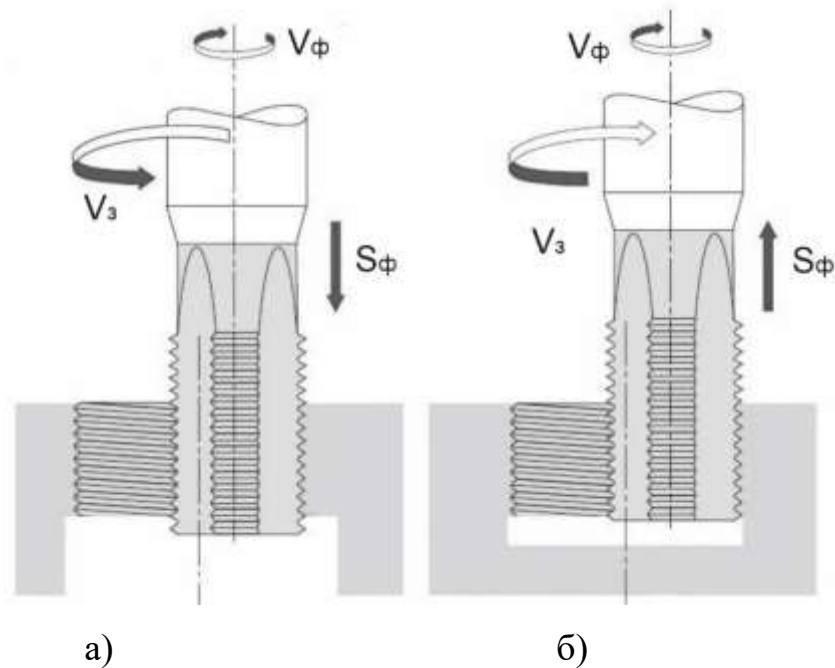


Рис. 10.105. Схема фрезерування правого внутрішнього різьблення:
а - зустрічне фрезерування; б – попутне фрезерування

Фреза та оброблювана деталь отримують обертальний рух. Крім того, фреза повільно переміщається вздовж осі - за один оберт заготовки пересувається на крок різьблення і в поперечному напрямку - на повну глибину різьблення, після чого поперечне переміщення її автоматично вимикається. Для нарізання різьблення по всій заданій довжині деталі досить зробити один оборот. Але якщо врахувати підведення, врізання і відведення фрези, весь цикл нарізання різьби здійснюється за $1\frac{1}{4}$ обороту заготовки.

10.6.3. Обробка гвинтових поверхонь.

Гвинтові поверхні силового профілю мають велику глибину і тому зазвичай застосовуються методи обробки, здатні витримувати великі навантаження у процесі різання. Дуже часто використовується метод формування гвинтової поверхні точінням на токарних верстатах набором різців, кожен з яких формує чорновий профіль гвинтової поверхні за винятком останнього (рис. 10.106), який формує остаточний профіль, а також спеціальними багаторізцевими гребінцями.

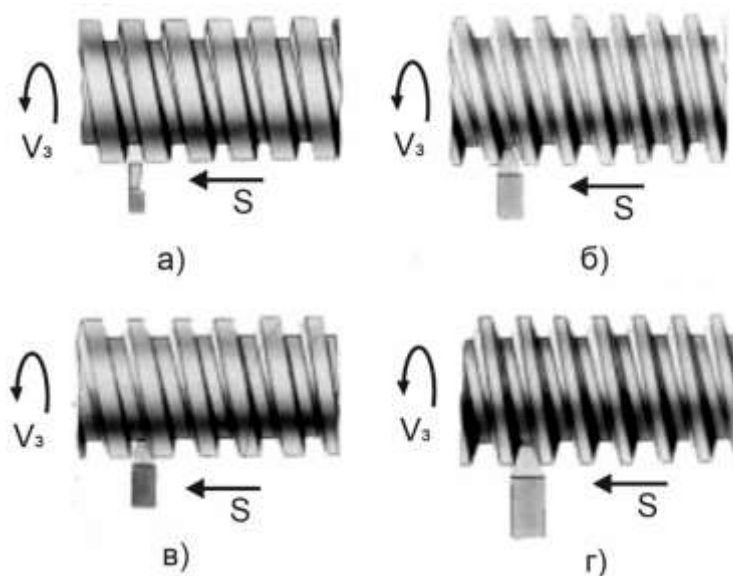


Рис. 10.106. Схема нарізування зовнішньої трапецеїдальної гвинтової поверхні чотирма різцями: а – прорізання западини; б - нарізування лівої сторони профілю; в – нарізування правої сторони профілю; г – остаточна обробка профілю.

Більш продуктивний метод фрезерування профілю різьблення спеціальними кутовими фрезами. Фреза встановлюється під кутом у горизонтальній площині, щоб забезпечити точний профіль гвинтової поверхні в нормальному перерізі (рис. 10.107,а). При обробці несиметричними кутовими фрезами для зменшення зусиль на шпиндель у процесі обробки фреза встановлюється на певний кут і у вертикальній площині (рис. 10.107,б,в). Можлива також обробка з допо-

могою спеціальних кінцевих фасонних фрез (рис. 10.107,г). Набагато рідше використовують спеціальні торцеві фрези зі спеціальною установкою (рис. 10.107,д).

Гребінчасті фрези також використовуються досить рідко (зазвичай невисокого профілю) при обробці гвинтових поверхонь силового профілю через необхідність зняття значного припуску, що ускладнює конструкцію різального інструменту і його подальшу експлуатацію.

Внутрішні гвинтові поверхні обробляють на верстатах з використанням набору різців або за кілька проходів для гвинтових поверхонь неглибокого профілю (рис. 10.108)

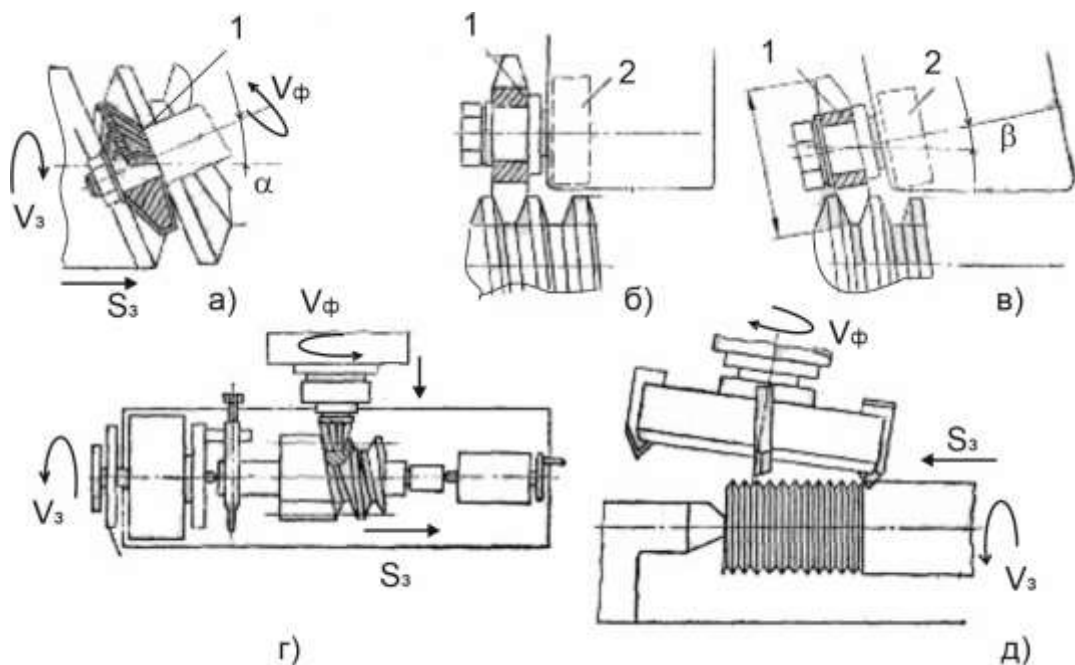


Рис. 10.107. Схема фрезерування гвинтової поверхні:
а,б,в - дисковою профільною фрезою; г – пальцевою фрезою;
г – спеціальною торцевою фрезою; 1 – фреза; 2 – підшипник.

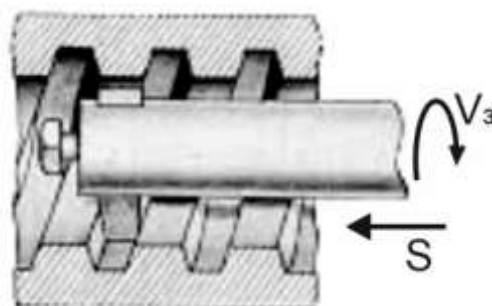


Рис. 10.108. Схема обробки внутрішньої прямокутної гвинтової поверхні різцями.

10.6.4. Остаточна обробка різьбових поверхонь.

Найчастіше для остаточної обробки різьбових поверхонь використовується шліфування нитковим колом (рис. 10.109,а). Кінематика формоутворення та способи встановлення кола на різьбошліфувальному верстаті аналогічні нарізанню гвинтової поверхні дисковими фрезами (див. рис. 10.107). Коло встановлене під кутом α до осі обертання заготовки обертається зі швидкістю V_k , а заготовка, що обертається зі швидкістю V_z , подається в поздовжньому напрямку S_{np} для забезпечення обкатування по всьому профілю різьби. Напрямок обертання кола та заготовки збігаються.

Більш продуктивним є метод з використанням кількох ниток різьблення на шліфувальному колі. При цьому залежно від довжини різьбової поверхні та розташування ниток (по гвинтовій поверхні або кругове) вибирається кінематика формоутворення.

Для коротких різьбових поверхонь у разі використання гвинтового розташування ниток здійснюється подача шліфувального кола в напрямку заготовки. А при використанні кругового розташування ниток здійснюється подача кола в напрямку заготовки, а стіл із заготовкою подається поздовжньо на шліфувальне коло на величину кроку різьблення для імітації процесу накручування, що забезпечує формування не гладкої циліндричної поверхні, а всебічну обробку профілю різьблення. Напрямок обертання кола та заготовки збігаються (рис. 10.109,б).

Довгі різьбові поверхні обробляються тільки за рахунок поздовжньої подачі та обертання заготовки і багатониткового шліфувального кола з гвинтовим розташуванням ниток (рис.10.109,в). Шліфувальне коло у цьому разі має певний забірний профіль (рис.10.109,г) задля забезпечення плавності входу кола до зони різання.

Внутрішні різьбові поверхні обробляються за тими ж схемами.

У гвинтових поверхонь силових різьблень зазвичай шліфують бічні грані. При цьому обробка ведеться зазвичай торцем кола окремо лівої та окремо правої

сторони профілю різьблення. Винятком є обробка кулькових ходових гвинтів, де обробка ведеться по всьому сферичному профілю гвинтової поверхні за рахунок профілю кола. Установка кола стосовно заготовки здійснюється за тими самими правилами, що й установка різьборізних фрез.

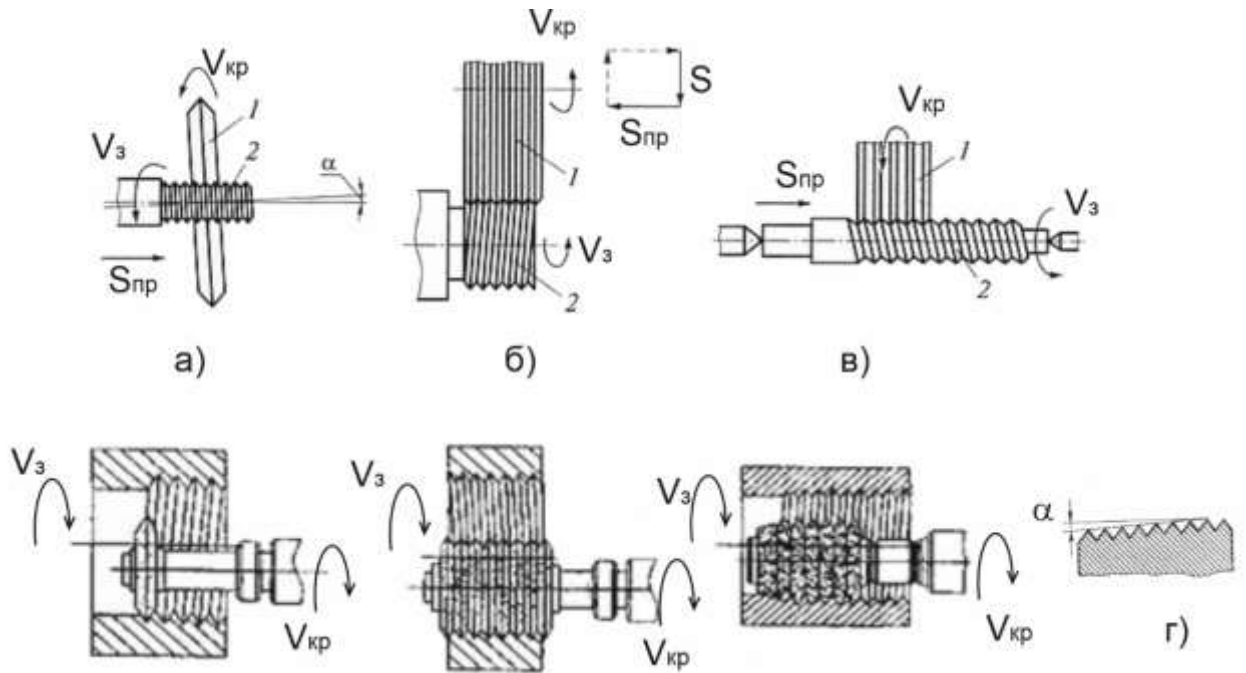


Рис. 10.109. Схема шліфування різьбових поверхонь: а – нитковим шліфувальним колом; б – багатонитковим шліфувальним колом коротких поверхонь; в – багатонитковим шліфувальним колом довгих поверхонь; г – форма периферії багатониткового шліфувального кола.

Запитання для самоконтролю:

- 1. Які види гвинтових поверхонь використовують у машинобудуванні?
Їхнє призначення.*
- 2. Як виконується обробка різьблення при нарізанні різцем?*
- 3. Як виконується обробка різьблення при нарізуванні гребінцем?*
- 4. Як виконується обробка різьблення при нарізуванні гребінчастою фрезою?*
- 5. Як здійснюється обробка різьблення при нарізанні плашкою?*
- 6. Як виконується обробка різьблення при нарізанні різьборізною головою?*
- 7. Як виконується обробка при накочуванні різьбової поверхні?*
- 8. Як здійснюється обробка гвинтової поверхні при нарізанні дисковою фрезою?*
- 9. Як виконується обробка різьблення при нарізанні мітчиком?*
- 10. Як виконується обробка при вихровому нарізанні різьблення?*
- 11. Як виконується шліфування зовнішніх гвинтових поверхонь?*
- 12. Як виконується шліфування внутрішніх гвинтових поверхонь?*

11. Електрофізичні та електрохімічні методи обробки

До електрофізичних та електрохімічних методів обробки відносяться методи зміни форми, розмірів, шорсткості та інших властивостей оброблюваних поверхонь заготовок, що відбуваються під впливом електричного струму, електромагнітного поля, електронного та плазмового струменя, акустичних хвиль, тощо. В основі цих методів лежить використання різних фізико-хімічних процесів енергетичного впливу на заготовку з метою отримання на деталі поверхонь з необхідними характеристиками. Відмінною особливістю цих методів є висока енергонасиченість (табл.11.1.), безконтактний характер процесу формоутворення (заготовка та інструмент розділені проміжком, поверхня заготовки змінюється без механічного зіткнення з іншими тілами, крім технологічного середовища).

Таблиця 11.1 - Питома енергоємність методів формоутворення.

Процес обробки	Дж/м ³
Точіння	$(1,74 \div 2,5) 10^9$
Шліфування	$(5,5 \div 7) 10^{10}$
Електрохімічна обробка	$(3,34 \div 4,4) 10^{11}$
Електронно-променева обробка	$(2,44 \div 5,8) 10^{12}$
Світлопроменева обробка	$(2,847) 10^{13}$

11.1. Електроерозійна обробка.

Електроерозійна обробка заснована на руйнуванні електродів (електроерозія) при проходженні між ними імпульсів електричного струму. Руйнування відбувається за рахунок утворення лунки на його поверхні при дії одиничного електронного розряду.

Електроерозійна (електрофізична) обробка застосовується для обробки особливо міцних і важкооброблюваних матеріалів (кувальних штамів та

пресформ невеликих габаритів з твердих сплавів і сталей; дрібних сіток, гребінок; отворів з криволінійною віссю; пазів та щілин малої ширини (наприклад, розрізання пазів) та ін.

Даний вид обробки має 4 різновиди: електроіскрову, електроімпульсну, анодно-механічну та електроконтактну.

Електроіскрова обробка заснована на дії короткочасних іскрових розрядів між електродом та заготовкою, поміщеною у ванні з діелектричною рідиною. Цей спосіб найчастіше застосовується для прошивання отвору невеликого діаметру (рис. 11.1), зокрема профільного. Електрод має профіль, який відповідає профілю отвору (рис. 11.1). Діаметр отворів, що обробляються, $0,25 \div 2,0$ мм. Похибка розміру трохи більше $10 \mu\text{м}$.

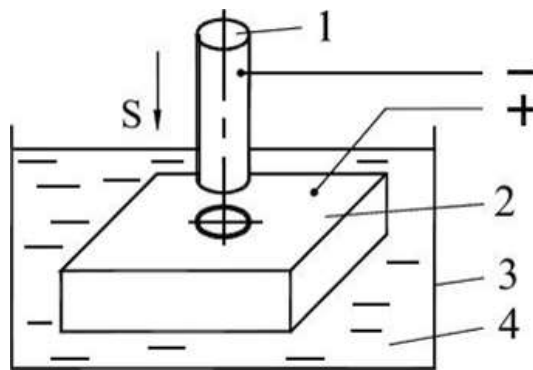


Рис. 11.1. Прошивання отвору: 1 – електрод; 2 – заготовка; 3 – ванна; 4 – діелектрик (робоча рідина)

Електроімпульсна обробка відрізняється від електроіскрової тим, що на електроди подається послідовність імпульсів. За рахунок цього знімання металу збільшується до 15 см/хв . Досяжна точність – $9 \div 11$ квалітет, шорсткість дещо гірша, ніж у випадку електроіскрової обробки.

Електроконтактна обробка реалізується механічним методом генерації імпульсів, тобто в зоні контакту двох струмопровідних поверхонь виділяється тепло через підвищений електричний опір. Даний вид обробки може протікати як у повітрі (більш швидкісний процес обробки, але утворюється дефектний

шар значної товщини), так і в рідкому середовищі (товщина дефектного шару менша).

11.2. Електрохімічна обробка.

Електрохімічна обробка (рис. 11.2) заснована на використанні процесів електролізу, тобто на анодному розчиненні металу, та з прокачуванням електроліту між заготовкою і електродом (інструментом). За допомогою електрохімічної обробки можна обробляти будь-які метали та їх сплави, іноді застосовується для зняття задирок і заокруглення гострих кромek у відповідальних деталях. Електрохімічна обробка відрізняється від електроерозійної активним розчином у робочій ванні. Залежно від механізму процесу руйнування металу та способу видалення продуктів реакції з робочої зони розрізняють два види: електрохімікогідралічна обробка (анодне різання); електрохімікомеханічна обробка.

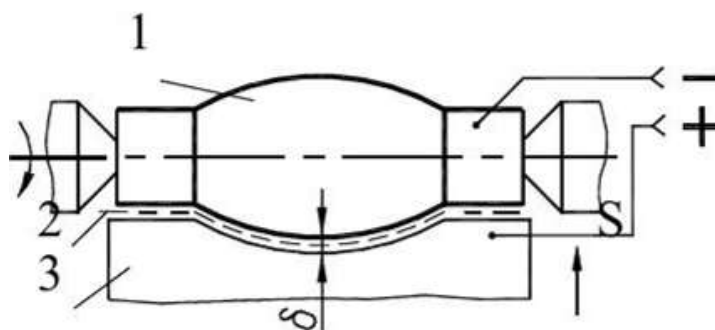


Рис. 11.2. Схема електрохімічної обробки: 1 – заготовка; 2 – електроліт; 3 – електрод; δ - зазор між деталлю та електродом.

Електрохімікогідралічна обробка є процесом спрямованого анодного розчинення струмопровідного матеріалу в середовищі проточного електроліту, який видаляє продукти процесу обробки. Прокачуванням електроліту попереджається осадження металу на інструменті-катоді. Цим збільшується термін служби електроду. Процес електрохімічної обробки є саморегулюючим. За рахунок збільшення зазору δ при зупинці подачі електроду зменшується струм між електродом і заготовкою та зменшується швидкість розчинення металу.

Для виготовлення електрода-інструменту використовують латунь, мідь, титан, нержавіючу сталь, які не піддаються корозії в електроліті. Як електроліт застосовують розчини солі NaCl та інші розчини з різними домішками.

Переваги:

- відсутність механічного контакту між інструментом та заготовкою;
- можливість обробки нежорстких деталей;
- практично відсутній знос інструменту;
- виключення наклепу та залишкової напруги в поверхневому шарі;
- мала величина дефектного шару, що дорівнює $0,05 \div 0,2$ мм;
- відсутність впливу на швидкість обробки параметрів твердості, крихкості, в'язкості;
- можливість обробки металів та сплавів будь-якої міцності;
- безшумність роботи;
- відсутність необхідності у висококваліфікованих операторах.

Недоліки:

- необхідність вживання спеціальних заходів для усунення корозії вузлів верстата;
- шкідливість умов праці;
- можливість розтравлення поверхневого шару по межах зерен металу.

Точність при електрохімічній обробці сягає $7 \div 10$ квалітету. Шорсткість може досягати $Ra=0,08 \div 0,02$ мкм за певних технологічних режимах.

На рисунку 11.3 наведено приклад електрохімічної прошивки отвору. Прошивання отворів проводиться діаметром $0,75 \div 5$ мм та глибиною до 500 мм. Профільний інструмент для прошивки отворів використовується такий самий, як і при ерозійній обробці. Точність прошивки 50 мкм. Непрямолінійність осі 0,1 мм на 100 мм довжини. Електрод покрито ізолятором на певну довжину. Розчинення металу провадиться на ділянці **A**, яку не покрито ізолятором. На ділянці **B** розчинення металу не відбувається.

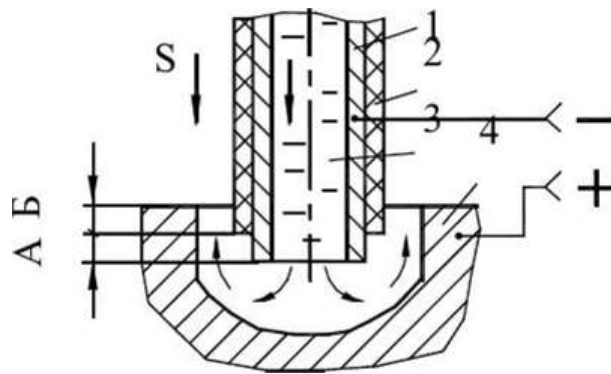


Рис. 11.3. Електрохімічна прошивка: 1 – електрод; 2 – ізолятор; 3 – електроліт; 4 – заготовка.

Електрохіміко механічна обробка характеризується тим, що продукти анодного розчинення видаляються із зони обробки механічним шляхом за допомогою абразиву та виносяться далі з потоком електроліту. Іноді цей процес називають електроалмазним шліфуванням або електрохімічним шліфуванням. У цьому випадку близько 90% матеріалу заготовки видаляється за рахунок електрохімічного розчинення, а 10% (в основному, елементи заготовки, які виступають вище зазору) зрізаються алмазними зернами.

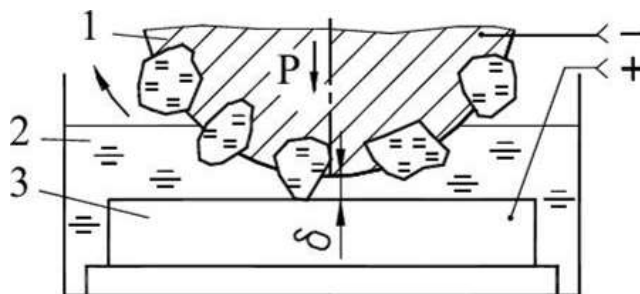


Рис. 11.4. Схема електроалмазного шліфування.

Даний метод широко застосовується при шліфуванні інструментів із швидкорізальної сталі типу P18, P9, P6M5 та ін., а також при обробці твердосплавного інструменту. Це дозволяє підвищити стійкість інструменту в $1,2 \div 1,5$ разів, що пояснюється відсутністю нагрівання зони обробки при електроалмазному шліфуванні. Точність обробки відповідає 6÷8 квалітету, шорсткість $Ra=0,16 \div 0,32$ мкм.

11.3. Ультразвукова обробка.

Ультразвукові коливання є пружними хвилями, які поширюються в будь-якому матеріальному середовищі (гази, рідини, тверді тіла). Ультразвукова розмірна обробка є досить складним фізико-хімічним процесом, який складається з декількох елементів:

- руйнування оброблюваної поверхні в результаті високої контактної напруги;
- руйнування (дроблення) абразивних зерен;
- абразивна (ріжуча) дія зерен;
- руйнування в результаті вимивальної та хімічної дії технологічної рідини, що несе абразив.

Область застосування ультразвукової розмірної обробки у машинобудуванні досить велика: доведення матриць обробки металів тиском; гравірування деталей; обробка твердих і крихких матеріалів (скло, кремній, дорогоцінне каміння, тощо).

В основі методу лежить використання пружних механічних коливань інструменту 2 (за рахунок перетворювача 1), коли в робочу зону між торцем інструменту 2 і заготовкою 4 подається абразивна суспензія 3. Вібруючий інструмент 2 надає енергію дрібним частинкам абразивного порошку, що знаходиться в суспензії, які і роблять ударні дії на поверхню заготовки 4 (рис. 11.5).

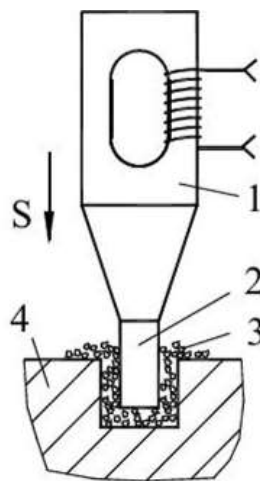


Рис. 11.5. Схема ультразвукової обробки: 1 – перетворювач; 2 – інструмент;
3 – абразив; 4 - заготовка

Ультразвукові коливання, накладені на металорізальний інструмент, інтенсифікують процес різання. При цьому прискорюється як сам процес різання, так і покращується якість обробленої поверхні. Приклади типової ультразвукової обробки різних поверхонь наведено на рисунку 11.6.

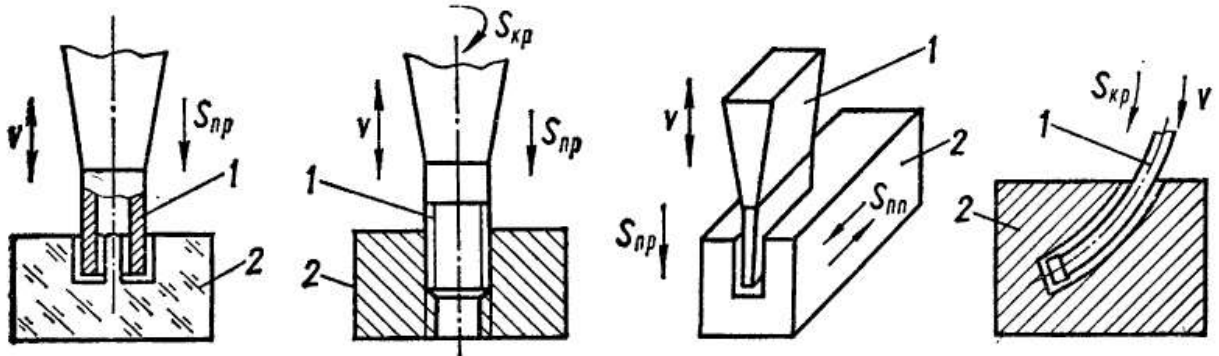


Рис. 11.6. Приклади типової ультразвукової обробки: а – кільцева канавка; б – різьблення; в – паз; г – отвір із криволінійною віссю; V -коливання інструменту під дією ультразвуку (головний рух різання); $S_{кр}$ - кругова подача інструмента; S_{np} - поздовжня подача; S_{nn} – поперечна подача; 1 – інструмент, 2 – заготовка.

Ультразвукова обробка має ряд переваг, особливо при обробці дуже твердих матеріалів:

- можливість використання в якості заготовок як струмопровідних, так і неструмопровідних матеріалів;
- немає місцевого нагріву заготовки у зоні обробки;
- висока продуктивність обробки твердих та крихких матеріалів порівняно з іншими методами.

Точність обробки досягає 10-20мкм, шорсткість поверхні $Ra=0,8-0,16$ мкм (залежно від типу абразивних зерен).

11.4. Променеві процеси обробки.

Під променевими розуміють процеси розмірного видалення матеріалу плавленням і випаровуванням його в зоні обробки під впливом енергії променистих потоків або високоенергетичних струменів. До променевих методів належать:

електронопроменева обробка;
обробка плазмовим струменем;
фотонопроменева (лазерна) обробка.

11.4.1. Електронно-променева обробка.

Основними видами електронно-променевої обробки є процеси, пов'язані з виділенням теплоти у зоні взаємодії потоку електронів великої кінетичної енергії із заготовкою. Ці процеси забезпечують плавлення та подальше випаровування матеріалу заготовки в зоні обробки (рис. 11.7). При нагріванні у вакуумі тугоплавкого металу 1 (вольфраму або танталу) пропусканням через нього електричного струму між анодом 1 і катодом 2 з поверхні металу емітуються електрони з відносно невеликою кінетичною енергією. Під впливом магнітного поля лінзи 3 електронний промінь значно збільшує свою кінетичну енергію. Надалі промінь за рахунок системи 4, що відхиляє, забезпечує попадання електронів на необхідні ділянки заготовки 5, встановленої на столі 6. (рис. 11.7). Робоча напруга між катодом та анодом 30÷150 кВ. Електронно-променева обробка поширена в мікроелектроніці та приладобудуванні.

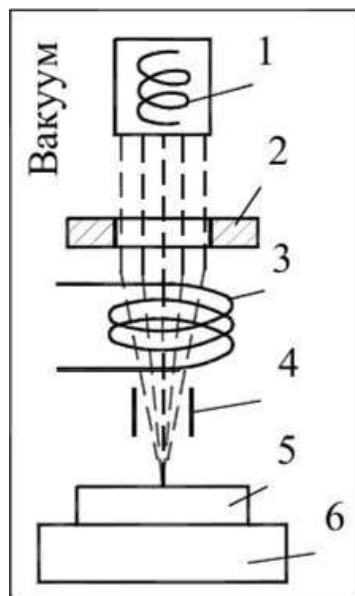


Рис. 11.7. Схема електронно-променевої обробки: 1 – катод; 2 – анод;
3 – магнітна лінза; 4 - система, що відхиляє; 5 – деталь; 6 – стіл.

Основні технологічні операції електронно-променевої обробки:

- виготовлення отворів, пазів, каналів, фільтер мікронних розмірів у важкооброблюваних матеріалах;

- випаровування (випаровування у вакуумі, розмірна електронно-променева обробка, різання заготовок з напівпровідникових матеріалів та феритів, прошивання в них отворів);

- термообробка без зміни агрегатного стану речовини.

Похибка розмірів при розмірній обробці вбирається у діапазоні $\pm 5\text{мкм}$, шорсткість $Ra=1,25\text{мкм}$. Прошивкою одержують до 500 отворів на колі діаметром 30 мм, при товщині кола $1\div 3\text{мм}$.

Переваги електронно-променевої обробки:

- можливість за рахунок фокусування променя плавно змінювати в широкіх межах питому енергію в зоні нагріву;
- велика потужність (від десятків ват до одиниць мегават);
- простота просторового керування променю;
- наявність вакууму, як робочого середовища;
- можливість отримання малорозмірної (прецизійної) зони впливу електронного променя на оброблюваний матеріал.

Недоліки електронно-променевої технології:

- необхідність забезпечення високого вакууму;
- складність виготовлення та експлуатації електронно-променевого обладнання.

11.4.2. Плазмова обробка.

Плазмовою обробкою називають технологічний процес, при якому для видалення шару матеріалу використовується струмінь іонізованого газу (плазми). Плазмою називають особливий стан речовини, в якому поряд з нейтральними та збудженими атомами, є іонізовані атоми та електрони (цей стан називають четвертим станом речовини). Найбільш простим способом переведення газу у стан плазми є збудження в ньому електричних розрядів. При пла-

змовій обробці іонізований газ утворюється при нагріванні будь-якого робочого газу за умов дугового розряду. Для отримання високотемпературної плазми тиск підвищують стисненням дугового розряду. Таким чином, плазмова обробка - це обробка матеріалів низькотемпературною плазмою, що генерується дуговими або низькочастотними плазмотронами (рис. 11.8).

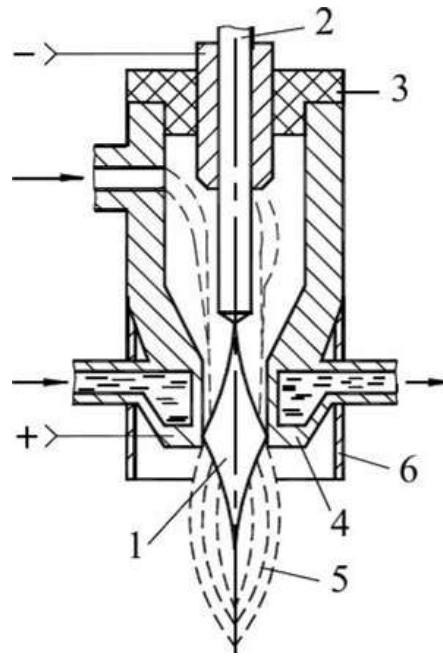


Рис. 11.8. Схема роботи плазмотрону: 1 – плазмова дуга; 2 – електрод;
3 – ізолятор; 4 – сопло; 5 - плазмовий струмінь.

Плазмова обробка знаходить широке застосування у промисловості внаслідок своєї технологічності процесу обробки заготовок. При плазмовій обробці змінюється форма, розміри, структура матеріалу, що обробляється, а також стан його поверхневого шару. В основному застосовуються такі види технологічних процесів плазмової обробки:

- різання металів;
- плазмове нагрівання;
- плавлення металу;
- зварювання;
- наплавлення;
- напилення.

Плазмова дуга добре ріже корозійностійкі та хромонікелеві сталі, мідь, алюміній та інші метали та сплави, що не піддаються кисневому різанню. Висока продуктивність плазмового різання дозволяє застосовувати її у потокових безперервних виробничих процесах.

Властивість плазмової дуги глибоко проникати у метал використовується для зварювання металів. Сприятлива форма ванни, що утворилася, дозволяє зварювати досить товстий матеріал (до 10÷15мм) без спеціального оброблення кромки. Зварювання плазмовою дугою відрізняється високою продуктивністю та, завдяки стабільності горіння дуги, гарною якістю. Мало енергетична плазмова дуга зручна для зварювання тонких листів (0,05мм).

Плазмова обробка часто застосовується для відновлення (наплавлення до 3мм) зношених деталей транспортних засобів, наприклад, колінчастих і розподільчих валів автомобілів.

Плазмове покриття відрізняється зниженою теплопровідністю та добре протистоїть термічним ударам.

Плазмова обробка в розмір застосовується тільки в тих випадках, коли для зовнішніх поверхонь важко або неможливо застосувати звичайну обробку різанням, тому що в результаті обробки формується шар з великою термічною зоною впливу на якість поверхні.

11.4.3. Лазерна обробка.

Лазерна технологія - це обробка та зварювання матеріалів випромінюванням лазера. Лазер - джерело електромагнітного випромінювання видимого, інфрачервоного та ультрафіолетового діапазонів (рис. 11.9). Лазерне випромінювання, завдяки монохроматичності і когерентності (збіг фаз знову виникає і вже поширюється у просторі випромінювання), може бути сфокусовано в пляму діаметром, порівнянним з довжиною хвилі випромінювання. При цьому досягається гігантська концентрація випромінювання, необхідна для ефективної обробки металів.

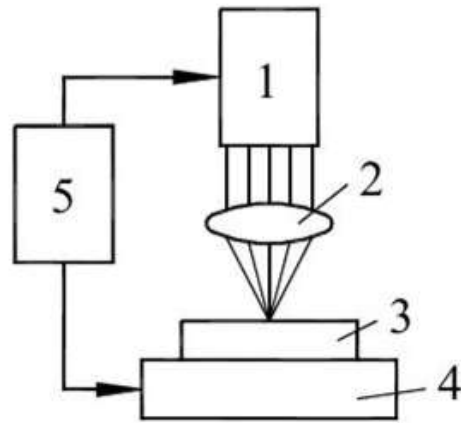


Рис. 11.9. Схема лазерної установки: 1 – лазер, 2 – оптична система, 3 – деталь, 4 – стіл, 5 – система управління.

Залежно від інтенсивності випромінювання лазера можна як розплавляти частинки металу, так і випаровувати їх. Ця властивість використовується в потужних лазерах для різання, свердління, загартування та зварювання різних матеріалів без виникнення в них механічної напруги, яка неминуча при звичайній обробці. Обробляються заготовки із матеріалів будь-якої твердості, металів, алмазів, рубінів, тощо.

Основні технологічні операції лазерної обробки:

- поверхнева термообробка;
- лазерне легування;
- утворення поверхневої термічної напруги (лазерне скрайбування);
- локальний переплав;
- зварювання металевих та неметалевих матеріалів;
- різання матеріалів;
- розмірне оброблення матеріалів.

Лазерна прошивка застосовується для отримання отворів діаметром від декількох мікрометрів до десятків міліметрів і глибиною до 15мм насамперед у надтвердих, надміцних та крихких матеріалах з продуктивністю до 300 отворів за хвилину (для неглибоких дрібних отворів). Точність виготовлення отворів досить висока.

Лазерне зварювання дозволяє отримати високоякісні з'єднання деталей із корозійностійкої сталі, нікелю, молібдену, а також зварювати високотеплопровідні метали, такі як срібло, мідь та інші. Швидкість зварювання досягає кількох метрів за хвилину, причому зварний шов не поступається по міцності металу, що зварюється. Зона, що зазнала теплового впливу, має дуже маленькі розміри, що в окремих випадках має вирішальне значення. Лазерне зварювання в окремих випадках замінює зварювання електронним променем, неможливим при залишковій намагніченості феромагнітних сталей через відхилення електронного променя. Лазерне зварювання замінює електроконтактне при зварюванні матеріалів з фізичними властивостями, що різко відрізняються (насамперед електричним опором).

За допомогою лазерного випромінювання виконується і поверхнева термообробка (зміцнення) деяких деталей, що працюють на зношування, наприклад, шестерень, розподільних валів, тощо.

Аморфізація поверхні (скловання) - один з різновидів лазерної обробки - полягає в отриманні поверхневого шару металу (на глибині декількох мікрометрів) з хаотичним розташуванням атомів відносно один одного. Аморфізація виходить при швидкому охолодженні, коли атоми не встигають перегрупуватися в кристалічну фазу і застигають за збереженням безладного розташування. Аморфізація поверхні підвищує міцність матеріалу, збільшує корозійну стійкість матеріалу, усуває пори, тріщини, зменшує шорсткість поверхні.

Широке застосування знаходять лазери для розкрою та профільного різання різних матеріалів: дерева, фанери, пластиків, паперу, текстильних матеріалів, металів, скла, кераміки та ін. Швидкість різання останніх двох матеріалів до 10м/хв за товщини матеріалу 1÷5мм. Для збільшення продуктивності процесу вводять активні або інертні гази (газолазерне різання). При потужності випромінювача в кілька сотень ват можна здійснювати різання листового матеріалу значної товщини. Точність лазерного різання металу в межах 80÷100мкм. Ще одна перевага лазерного різання - це практично безвідходне

виробництво, воно не дає стружки та інших побічних ефектів. Це також сприяє економічності та зручній роботі.

На основі лазерної техніки створюються автоматизовані лазерні технологічні комплекси, які можна поєднати з іншими видами обробки: штампуванням, механообробкою, тощо.

11.5. Комбіновані методи обробки.

Анодно-механічна обробка.

Найчастіше застосовується варіант з металевим електродом-інструментом для операцій заточування ріжучого інструменту та різних варіантів розрізання матеріалів, що важко обробляються. Даний вид обробки заснований на використанні комбінованого процесу електрохімічного та електроерозійного впливу на заготовку електрода-інструменту, що рухається. На рисунку 11.10 показано схему анодно-механічної обробки. Заготовка 4, яка є анодом і закріплена на робочому столі 1, знаходиться в середовищі електроліту 2. Металевому інструменту-катоду 3 повідомляється обертальний рух. В результаті анодного розчинення на поверхні заготовки утворюється пасивна плівка, яка видаляється за рахунок механічного руху інструменту-електроду. При чистових режимах обробки досягається шорсткість поверхні $Ra < 1$ мкм.

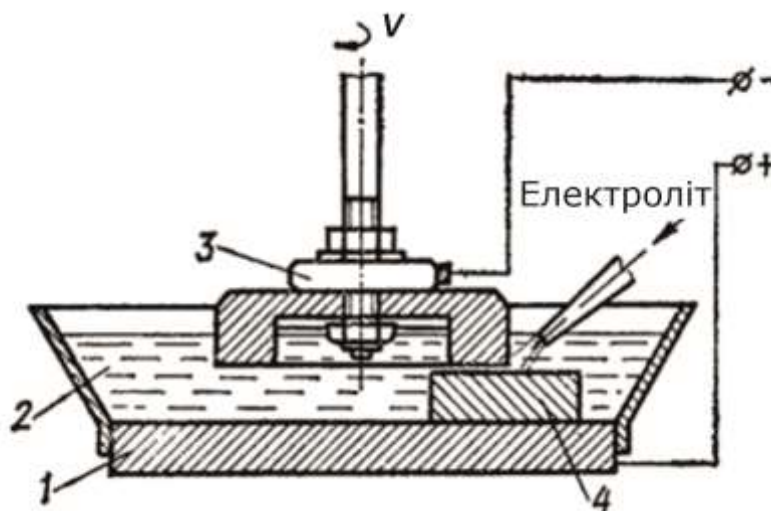


Рис. 11.10. Схема анодно-механічної обробки.

Електроерозійно-хімічна обробка.

Сутність даного методу в тому, що в одній операції поєднуються локальне ерозійне руйнування матеріалу за допомогою графітованого інструменту-електроду та анодне розчинення матеріалу в проточному електроліті по всій площі поверхні, що обробляється. Найбільш ефективно використовується при прорізанні вузьких пазів та щілин тонкостінних заготовок. Метод забезпечує шорсткість поверхні $Ra=1,25\div 2,5\mu\text{м}$.

На рисунку 11.11 наведено схему електроерозійнохімічної обробки. Заготовка 1 встановлюється у ванну 3 з електролітом 2, графітований інструмент-електрод 4 закріплюється в шпинделі 5 і здійснює зворотно-поступальні рухи. Між заготовкою та електродом встановлюється зазор 6. Тобто обробка здійснюється одночасно і за рахунок руйнування електродів при проходженні між ними імпульсів електричного струму, і за рахунок анодного розчинення металу.

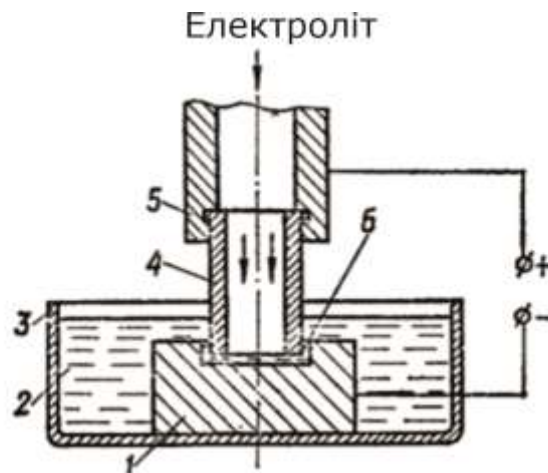


Рис. 11.11. Схема електроерозійно-хімічної обробки.

Комбінація цих методів дозволяє:

- підвищити продуктивність обробки за рахунок видалення пасивної плівки на аноді завдяки електричному розряду;
- підвищити якість поверхні, що формується, за рахунок швидкості оновлення робочої зони і, отже, зменшення величини зазору;
- підвищити продуктивність обробки за рахунок збільшення потужності струму без небезпеки шлакування .

Такий комбінований метод дозволяє підвищити продуктивність у $5\div 7$ разів у порівнянні із застосуванням кожного процесу окремо.

Ультразвукова електрохімічна обробка.

Сутність даного методу полягає в тому, що для формоутворення поверхні деталі використовується анодне розчинення з одночасним руйнуванням матеріалу, що обробляється, під дією ультразвукового інструменту в абразивному середовищі. При чистових режимах обробки досягається допуск розмірів поверхні, в межах 100мкм , а шорсткість поверхні $Ra=1,0\div 1,25\text{мкм}$.

На рисунку 11.12 наведено схему ультразвукової електрохімічної обробки. Ультразвуковий інструмент 2 виступає як катод, а заготовка 3, поміщена в середу електроліту, як анод. Електролітом є абразивна суспензія, яка прокачується через інструмент.

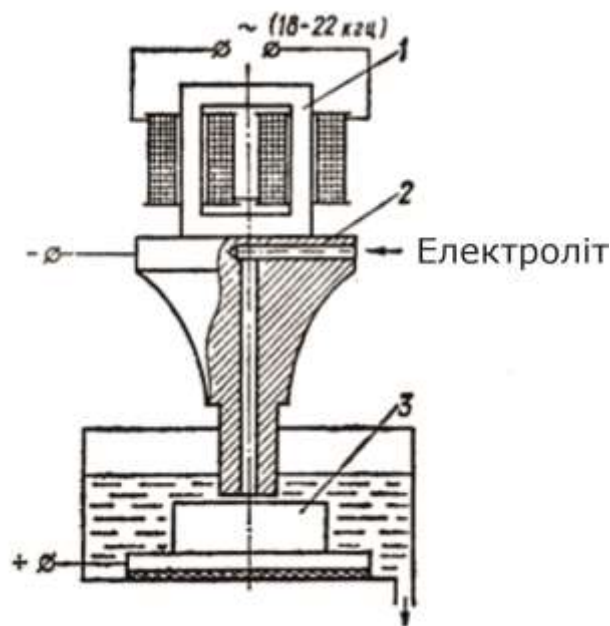


Рис. 11.12. Схема ультразвукової електрохімічної обробки.

При проходженні постійного електричного струму поверхня оброблюваної деталі піддається анодному розчиненню, інтенсивність якого прямо пропорційна щільності струму і обернено пропорційна величині міжелектродного зазору.

Одночасно від ультразвукового інструменту 2 надходять коливання ультразвукової частоти. Коливальні рухи інструменту в умовах абразивної суспензії - суспензії зерен абразиву в електроліті - призводять до механічного руйнування матеріалу заготовки і до часткового видалення плівки, що пасивує. Абразивна суспензія-електроліт, що прокачується через міжелектродний зазор, видаляє продукти анодного розчинення та ультразвукової обробки з робочої зони. В результаті відбувається копіювання форми ультразвукового інструменту-катода в матеріалі заготовці анода.

Цей метод характеризується вищою продуктивністю, ніж кожен окремо, можливістю використання як струмопровідних, так і неструмопровідних матеріалів для заготовок, а також порівняльною простотою устаткування.

11.6. Прототайпінг та 3D друк у машинобудуванні.

При проектуванні виробів у одиничному та дрібносерійному виробництві часто виникає проблема швидкого виготовлення його макета чи одиничного зразка з метою оцінки зовнішнього вигляду, габаритів, дизайну. Іноді запускається кілька різних за конструкцією макетів, з яких вибирається найкращий варіант. Якщо виріб (деталь) має складну конфігурацію, то для виготовлення макета, так само, як і для деталі, необхідне дороге оснащення.

Тому на практиці все частіше застосовуються технології швидкого прототипування (виготовлення) деталі із матеріалу-замінника (папір, пластик тощо), а також виробництво самих деталей дрібними партіями з необхідного матеріалу. Існує кілька різновидів таких технологій. Найчастіше цього можна досягти на, так званих, 3D пристроях друку, тому, як правило, технології прототипування вимагають спеціального математичного забезпечення для 3D моделювання та візуалізації. Нерідко від грамотного створення виробів у цифровому вигляді залежить подальший процес виробництва. Однією з переваг такої технології є можливість симуляції на комп'ютері роботи майбутнього виробу в умовах реальних статичних, кінематичних та динамічних навантажень. Зазвичай перед друком реальної деталі виготовляється пластиковий прототип,

щоб виявити помилки та недоліки проектування, оскільки друк пластиком значно дешевший. Сучасні CAD/CAM системи оснащуються спеціальною утилітою підготовки для виведення на 3D пристрій друку розробленої в системі 3D моделі деталі.

Існує кілька варіантів технологій 3D друку :

FDM 3D друк – адитивна технологія, при якій розплавлений 3D пластик подається через екструдер і відбувається пошарова побудова тривимірного об'єкта. Це найдешевший спосіб 3D-друку макетів, прототипів, предметів декору, логотипів, відновлення деталей машин та ін.

У **SLA/LFS** 3D друку відбувається пошарова полімеризація фотополімеру (смоли) лазерним променем високої точності. Це дорожча технологія, але якість і функціональність виробів, що отримуються, значно вищі. SLA 3D друк застосовують в інженерії, ювелірній справі, медицині, стоматології, дрібносерійному виробництві для виготовлення прес-форм для лиття пластику, виготовлення штампів, в дизайні та прототипуванні.

У **SLS** 3D друку високопотужний лазер послідовно спікає порошок у готові деталі складної форми, без використання підтримки елементів. Це просунута технологія, за допомогою якої виробляють функціональні прототипи, а також дрібні та середні тиражі готових виробів, у тому числі з біосумісних матеріалів, які застосовуються в медицині, стоматології, тощо.

У **DMLS** друку застосовується технологія адитивного виробництва металевих виробів, відома як пряме лазерне спікання металів: тонкий шар металу у вигляді дрібного порошку подається на нагрівальний стіл у той час, як потужний вуглекислотний лазер спікає частинки металевого порошку між собою та з попереднім шаром.

На відміну від традиційної техніки виготовлення металевих конструкцій, заснованої на різанні, фрезеруванні та штампуванні, при 3D-друку з металу деталі створюються пошарово, за допомогою наплавлення матеріалу під дією лазерного променя, який переміщується зі швидкістю S та буквально вимальовує форму кожного шару до повної готовності об'єкту (рис. 11.13).

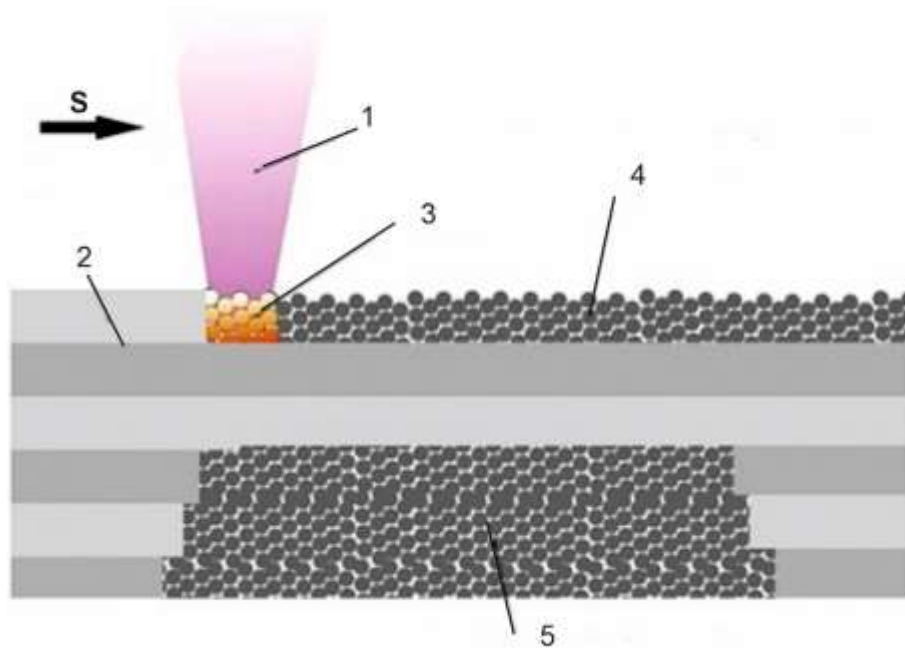


Рис. 11.13. Схема прямого лазерного спікання при 3D-друку:

- 1 – лазерний промінь; 2 – оброблений порошок; 3 – лазерне спікання;
4 - ще не оброблений порошок; 5 – не оброблений порошок.

Розвиток галузі об'ємного друку дозволяє використовувати в роботі все більший перелік матеріалів, які застосовуються для створення деталей у машинобудуванні. Спочатку це були відносно нескладні об'ємні деталі із пластику, а зараз є можливість друкувати на спеціальних принтерах деталі із різних пластиків, металів та сплавів.

Високоточна нержавіюча сталь застосовується для виготовлення функціональних прототипів та невеликих деталей за методом SLM 3D друкування металом з точністю розмірів у всіх площинах до 20мкм.

Сталь використовується для виготовлення вимогливих до міцності деталей високої зносостійкості. У процесі друку використовується сталевий порошок марки 420 (класифікація ISO), який змішується з бронзою в пропорціях 70% на 30% для забезпечення гарного спікання.

Алюміній застосовується для виготовлення невеликих високоточних деталей за методом SLM 3D друку. Використовуються сплави AlSi12, AlSi10Mg та інші (класифікація за ISO).

Титан використовується для виготовлення деталей у різних галузях промисловості, у тому числі аерокосмічної, автомобільної, військової, для створення медичних протезів, ортопедичних та зубних імплантатів та навіть ювелірних виробів. Сучасні 3D технології дозволяють друкувати деталі з титану товщиною шарів 0,25мм з мінімальною товщиною стінок 0,4мм. Під час друку виходять сірі, трохи тьмяні, нешліфовані металеві деталі. Для отримання бажаного традиційного блиску, властивого металу, деталі можна піддати подальшій ручній обробці (поліруванню, рис. 11.14,а).

На рисунку 11.14,б наведено зразки металевих деталей, одержаних з використанням 3D друку .



Рис. 11.14. Приклади металевих деталей, одержаних з використанням 3D друку : а – з титану (до та після полірування); б – сталеві.

Проте варто відзначити, що через особливості спікання металів і конструкції пристроїв друку на даний момент моделі з титану не для всіх розмірів можуть бути надруковані. Однак друк окремих частин складального виробу, корпусу мобільного телефону або клапану для двигуна цілком під силу. Так як титан є одним з найбільш доступних міцних металів, печатка з його допомогою промислових прототипів, створення яких традиційними методами веде до невиправдано великих витрат або взагалі неможливо, використання розглянутої технології відкриває широкі перспективи швидкого і доступного промислового створення затребуваної продукції. Разом з потужними функціональними можливостями сучасного програмного забезпечення — CAD/CAM та

можливістю створювати нові геометричні елементи, які не могли б бути створені іншим чином, галузі, що широко застосовують складні металеві вироби — особливо космічна та авіакосмічна промисловість, охорона здоров'я — переживають справжню революцію у виробництві, завдяки можливостям 3D-друку.

Запитання для самоконтролю

- 1. Які методи обробки належать до електрофізичних та електрохімічних?*
- 2. Які відмінні риси електрофізичних та електрохімічних методів?*
- 3. На чому ґрунтується електрохімічна обробка?*
- 4. Яка сфера застосування електрохімічної обробки?*
- 5. Якою є фізична сутність електроімпульсного методу обробки?*
- 6. У яких випадках доцільно застосовувати електроімпульсну обробку?*
- 7. На чому ґрунтується електронно-променева обробка?*
- 8. Яка сфера застосування плазмової обробки?*
- 9. На чому ґрунтується прототайпінг 3D виробів?*
- 10. Яка сутність магнітоімпульсного формоутворення?*

12. Контроль якості та випробування виробів у машинобудуванні

Виготовлення будь-якого виду та типу виробу у всіх галузях машинобудівного виробництва від моменту отримання заготовок, напівфабрикатів, матеріалів, комплектуючих і до моменту відправки готового виробу замовнику супроводжується контрольними операціями.

Контроль це низка методів та дій, призначених для проведення заходів перевірки відповідності властивостей, параметрів та характеристик матеріалів, напівфабрикатів і готових виробів стандартам та технічним умовам (ТУ) на всіх етапах виготовлення виробів (розробка, виробництво, випробування). Основне призначення виробничого контролю - забезпечення якості продукції, що випускається.

Рівень властивостей, яким має задовольняти продукція, оформлений у її технічної характеристики. Для того щоб забезпечити властивості виробів, які закладені в них, при проектуванні формують вимоги до геометричних параметрів, структури та властивостей окремих деталей та складальних одиниць. Таким чином, на всіх стадіях виготовлення, приймання, випробування та експлуатації виробів необхідно перевіряти властивості сировини, вихідних матеріалів, напівфабрикатів; геометричні параметри, властивості та структуру деталей; параметри технічної характеристики готової продукції, тобто здійснювати виробничий контроль.

Сутність процесу контролю є визначення того, чи знаходиться значення контрольованого параметра між гранично допустимими його значеннями чи ні. Результати контролю використовують для вилучення непридатних матеріалів та виробів із технологічного процесу або припинення експлуатації дефектних виробів; розсортування деталей на різні групи якості або подальшого використання; керування технологічним процесом.

У процесі виготовлення виробів використовують такі види контролю: вхідний для комплектуючих виробів; поопераційний, у процесі регулювання та

налаштування технології ; а також у процесі приймальних випробувань. Обсяг та зміст вхідного контролю визначається конструкцією машинобудівного виробу та ТУ. Поопераційний контроль призначає технолог на підставі складального креслення та ТУ. Інструменти контролю або вибирають із наявних універсальних, або проектують спеціальні. Приймальні випробування проводять на повністю виготовленому виробі. За наявності специфікованих вузлів, блоків та ТУ на них приймальні випробування проводять послідовно: спочатку вузли, потім блоки, потім виріб.

До контрольованих параметрів відносяться:

- фізико-хіміко-механічні властивості та хімічний склад вихідних матеріалів;
- структура та внутрішні дефекти матеріалу виробів як у ході технологічного процесу, так і у готових виробах;
- геометричні параметри та дефекти поверхні деталей на стадії виготовлення та у готовому виробі;
- динамічні характеристики та технічний стан деталей, вузлів та конструкцій у процесі виготовлення та експлуатації;
- технічні параметри та властивості готових виробів у процесі приймання, випробувань та експлуатації.

12.1. Види контролю.

Основним завданням технічного контролю в машинобудуванні є своєчасне отримання повного обсягу інформації про якість продукції, хід виробничого процесу та стан застосовуваного обладнання. Це дозволяє вчасно усувати всі відхилення, що можуть вплинути на виробничий процес.

Об'єктами технічного контролю у машинобудуванні вважаються:

- будь -які матеріали, що використовуються на різних етапах виробництва;
- готові вироби та деталі;
- усі інструменти, що застосовуються у виробничому процесі;

- технологічні процеси виробництва;
- режими обробки.

Види контролю класифікують залежно від призначення, способів проведення, контрольованих параметрів та інших ознак.

При вхідному контролі перевіряють властивості сировини, вихідних матеріалів, якість заготовок, напівфабрикатів та покупних виробів.

При поопераційному контролі перевіряють параметри, властивості та дефекти деталей, складальних одиниць та виробів у ході виконання технологічного процесу.

Завданням приймального контролю є контроль виробів на кінцевих етапах технологічного процесу.

При інспекційному контролі контролюють стан та технічні характеристики виробів у процесі експлуатації.

Якщо контроль проводять без впливу на процес виробництва, має місце так званий *пасивний контроль*.

При *активному контролі* перевірку виробів або технологічного процесу здійснюють у процесі виготовлення та використовують для керування виробництвом.

Залежно від того, порушується цілісність виробів після контролю чи ні, розрізняють методи контролю, що руйнують і неруйнують.

Суцільний контроль передбачає 100% перевірку виробів. Якщо перевірці піддають частину виробів із партій, має місце статистичний чи нестатистичний (вибірковий) контроль.

Залежно від контрольованих параметрів розрізняють контроль геометричних характеристик, поверхневих дефектів, хімічного складу, фізико-механічних властивостей, тощо.

Під час візуального контролю перевірка ведеться неозброєним оком.

12.2. Контроль геометричних параметрів.

Цей вид контролю здійснюється шляхом вимірів, тобто з виразом параметра у числовій формі, або порівнянням його з мірою або вимірювальними поверхнями приладів, налаштованих у міру.

Об'єктами контролю є: вихідні матеріали, заготовки, деталі, складальні одиниці та готові вироби на різних стадіях виготовлення, приймання та випробування.

Контрольовані параметри:

- лінійні розміри – довжини, висоти, глибини, зазори, відстані, діаметри, тощо;
- кутові розміри – кути між плоскими поверхнями, осями, похилою та горизонтальною площиною, конусами, тощо;
- геометричні параметри складних поверхонь – розташування точок або ділянок щодо заданих баз та один до одного;
- геометричні характеристики зубчастих та черв'ячних зачеплень, різьбових, шліцевих та шпонкових з'єднань;
- відхилення форми та розташування поверхонь – від циліндричності, площинності, паралельності, перпендикулярності, тощо.

Існують такі методи контролю геометричних параметрів:

- безпосередньої оцінки – значення параметра визначається безпосередньо з відлікового пристрою приладу;
- порівняння – значення розміру визначається порівнянням з величиною, що відтворюється мірою;
- контактний – проведення вимірювань кінцевими та штриховими заходами, калібрами, шаблонами, вимірювальними приладами з твердими вимірювальними поверхнями (рис. 12.1);
- безконтактний – проведення контролю за оптичними методами - фотометрією, дифракцією, інтерферометрією, проекцією, тощо; а також лазерними, голографічними, радіохвильовими, акустичними.

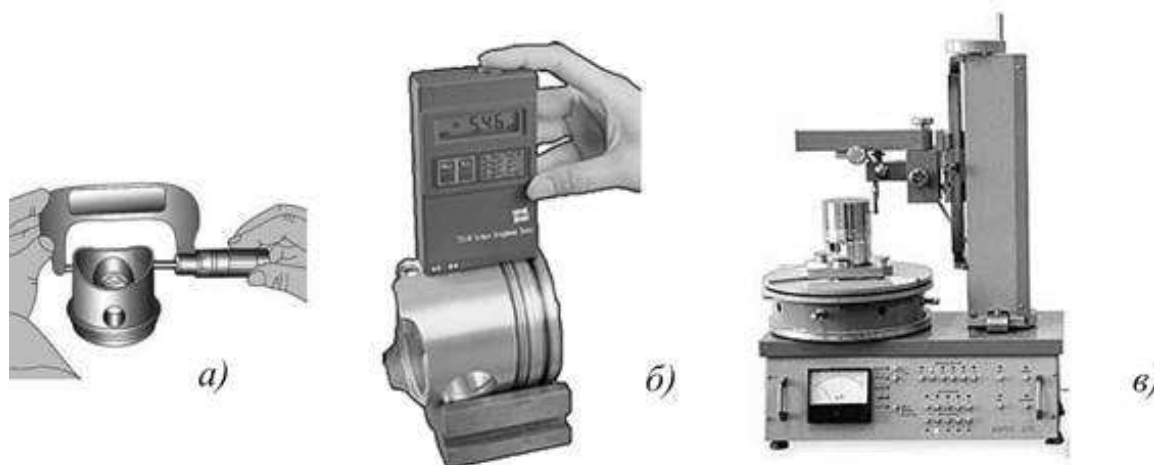


Рис. 12.1. Методи контролю геометричних параметрів: а – діаметрального розміру мікрометром; б – шорсткості поверхні профілометром; в – точності форми за допомогою контактної вимірювальної приладу.

У процесі виготовлення виробів необхідно контролювати відповідність дійсного значення цих параметрів значенням, встановленим у кресленнях та технічній документації. Більшість геометричних параметрів є числові значення лінійних і кутових величин або оцінюється через них. Ці числові значення називаються розмірами, а процес контролю – розмірним контролем.

Таким чином, метою розмірного контролю є зіставлення дійсних геометричних параметрів виробів, виражених через розміри, значенню цих параметрів, які визначені при проектуванні виробу.

Розмірний контроль завершується визначенням придатності виробу або формування сигналу керування, який використовують для відбракування або керування технологічним процесом.

Якщо процесі контролю значення розміру виражають у числовому вигляді, то це називають виміром. Визначення числового значення розміру проводять за допомогою мір та вимірювальних приладів.

Для вимірювань застосовують кінцеві та штрихові вимірювальні елементи.

Кінцеві вимірювальні елементи виконані у вигляді плоскопаралельних пластин, пластин (для щупів), призматичних тіл (для кутових заходів). Кожна

така міра відповідає одному певному значенню розміру. На практиці використовують набори вимірювальних елементів, що дозволяють скласти будь-який лінійний чи кутовий розмір.

Штрихові вимірювальні елементи (лінійки, рулетки, кутоміри та ін.) мають шкали з нанесеними на них поділами, що відповідають певним одиницям вимірювання.

Розмір визначають суміщенням вимірювальних поверхонь кінцевої міри з поверхнями виробу, що становлять контрольований розмір, або накладання штрихової міри на виріб. Спеціальні інструменти (калібри, шаблони, косинці та ін.) відтворюють одне значення розмірів чи кілька і призначені переважно контролю придатності виробу без визначення чисельного значення розміру. Найчастіше виміри здійснюють за допомогою вимірювальних приладів.

Вимірювальні прилади – це засоби вимірювання, призначені для формування чисельного показання розміру чи сигналу вимірювальної інформації, доступного для безпосереднього сприйняття спостерігачем. Поверхні, що утворюють розмір, поєднують із вимірювальними поверхнями приладів або візирними марками окулярів. Тривимірний індикатор положення (див.рис.12.1,в) призначений для встановлення на верстатах, апаратах, установках, наприклад, для вимірювання глибини свердління, завдання упорів, позиціонування хрестових столів, супортів токарних верстатів. Він показує положення елемента виробу по трьох осях.

Вимірювальні поверхні приладів можна налаштовувати за допомогою вимірювальних елементів на певний розмір, з яким порівнюється контрольований геометричний параметр. За цією схемою проводять контроль методом порівняння.

Існують безконтактні методи контролю, що використовують реєстрацію параметрів оптичного, радіохвильового та акустичного випромінювання, які реагують на відстань між поверхнями, що вимірюються. Переваги безконтактних методів у тому, що:

- є можливість проведення вимірювань безпосередньо в процесі обробки, без внесення негативних збурень до нього та управління якістю обробки;
- більш висока точність вимірів.

У теперішній час для контролю складних просторових і корпусних деталей використовуються автоматичні контрольні-вимірювальні станції, які дозволяють контролювати практично всі геометричні параметри без переустановлення деталі. Це дозволяє виключити похибки перебазування деталі у процесі вимірювання різними технічними засобами.

12.3. Контроль внутрішніх дефектів.

Проводиться для виявлення внутрішніх дефектів у матеріалах.

Сутність контролю полягає у просвічуванні контрольованого об'єкта полями та випромінюванням різної природи; реєстрації минулих чи відбитих сигналів; перетворення їх у видимі зображення дефектів або електричні сигнали; визначення виду дефекту, його розміру та розташування в контрольованому об'єкті; запис результатів контролю на постійний носій (архівування); розбракування виробів; використання результатів контролю для керування технологічними процесами виготовлення виробів.

Для виявлення внутрішніх дефектів використовують руйнівні та неруйнівні методи контролю. У руйнівних методах дефекти спостерігають і вимірюють безпосередньо на зламах та розрізах контрольованого об'єкта. У неруйнівних використовують проникні поля та випромінювання, що взаємодіють з матеріалом контрольованого об'єкта. Внутрішні дефекти, змінюючи фізичні характеристики матеріалу, цим змінюватимуть деякі параметри минулого чи відбитого випромінювання (поля). Перетворюючи проникну або відбиту частину випромінювання у видимі зображення або електричні сигнали, визначають вид дефекту, його розміри та місцезнаходження в об'єкті. Неруйнівні методи дозволяють контролювати 100% виробів, проводити автоматичне відбракування, здійснювати контроль безпосередньо під час виконання технологічного процесу.

Акустичні методи засновані на реєстрації коливань, що збуджуються або виникають у об'єкті, що контролюється. Їх застосовують для виявлення поверхневих та внутрішніх дефектів (порушень суцільності, неоднорідності структури, міжкристалітної корозії, дефектів склеювання, паяння, зварювання тощо) у деталях та виробах, виготовлених з різних матеріалів.

Капілярні методи ґрунтуються на капілярному проникненні крапель індикаторної рідини у порожнини поверхневих дефектів. При контролі цими методами на очищену поверхню деталі наносять рідину, що проникає, та яка заповнює порожнини поверхневих дефектів. Потім рідину видаляють, а частину рідини, що залишилася в порожнинах дефектів, виявляють за допомогою проявника, який утворює індикаторний рисунок.

Магнітні методи контролю засновані на реєстрації магнітних полів розсіювання, що виникають над дефектами, або визначення магнітних властивостей контрольованих виробів. Ці методи дозволяють виявити дефекти типу неоднорідності матеріалу (тріщини, раковини, вкраплення, тощо, рис. 12.2).

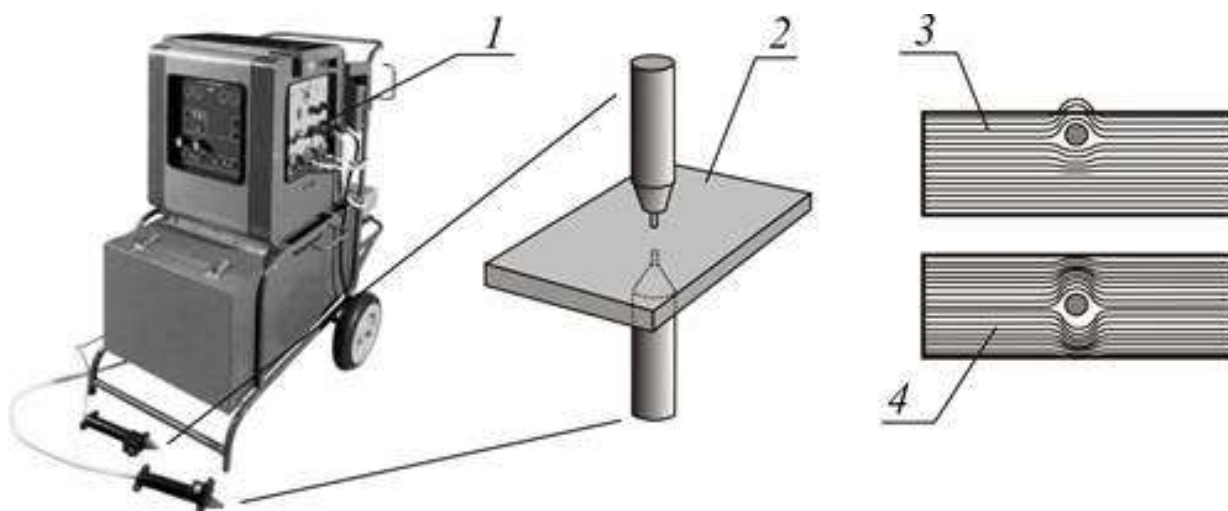


Рис. 12.2. Процес магнітної дефектоскопії: 1 – магнітний дефектоскоп; 2 – контрольована деталь; 3,4 - магнітні поля дефектів

Оптичні методи контролю ґрунтуються на взаємодії світлового випромінювання з контрольованим об'єктом. Оптичні методи широко застосовують через велику різноманітність способів отримання первинної інформації про наявність зовнішніх дефектів незалежно від матеріалу контрольованого виробу.

Радіохвильові методи засновані на реєстрації параметрів електромагнітних хвиль радіодіапазону, що взаємодіють з об'єктом.

Теплові методи ґрунтуються на реєстрації змін теплових або температурних полів. Вони застосовуються до будь-яких матеріалів.

Електричні методи ґрунтуються на реєстрації параметрів електричного поля, що взаємодіє з об'єктом. Первинними інформативними параметрами є електрична ємність чи потенціал.

Радіаційні методи контролю засновані на реєстрації та аналізі проникаючого іонізуючого випромінювання. Використовується рентгенівське, гамма-випромінювання, нейтрино потоки, тощо. Проходячи через товщу виробу, проникаючі випромінювання по-різному послаблюються в дефектному та бездефектному перерізах і несуть інформацію про внутрішню структуру речовини та наявність дефектів усередині виробу. Ці методи використовуються для контролю зварних та паяних швів, виливків, прокату, тощо.

Термоелектричний метод застосовують для контролю хімічного складу матеріалу. Наприклад, нагрітий до постійної температури мідний електрод притискають до поверхні виробу і по різниці потенціалів визначають марку сталі, титану, алюмінію або іншого матеріалу.

Електромагнітний метод (вихрових струмів) заснований на реєстрації змін взаємодії електромагнітного поля. Його застосовують для виявлення поверхневих дефектів у магнітних та немагнітних деталях та напівфабрикатах. Метод дозволяє виявляти порушення суцільності (переважно тріщини) на різних за конфігурації деталях.

До руйнівних методів контролю належать способи випробування контрольних зразків з метою отримання необхідних характеристик об'єкта, що контролюється. Ці методи можуть застосовуватись як на контрольних зразках, так і на відрізках, вирізаних із самого об'єкта. В результаті методів контролю, що руйнують, перевіряють правильність підібраних матеріалів, обраних режимів обробки і технологій. До руйнівних методів контролю належать механічні випробування та металографічні дослідження.

Механічні випробування є одним із основних методів руйнівного контролю. За їх даними можна судити про відповідність основного матеріалу та зварного з'єднання технічним умовам та іншим нормативам, передбаченим у цій галузі.

До механічних відносять такі випробування:

- на статичне розтягування;
- на статичний та ударний вигин;
- визначення твердості.

Металографічні дослідження проводять для встановлення структури металу, якості зварного з'єднання, виявляють наявність та характер дефектів. За видом зламу встановлюють характер руйнування зразків, вивчають макро- та мікроструктуру.

Макроструктурний аналіз визначає розташування видимих дефектів та їх характер, а також макрошліфи та злами металу. Його проводять неозброєним оком або під лупою з 20-кратним збільшенням.

Мікроструктурний аналіз проводиться із збільшенням у 50÷2000 разів за допомогою спеціальних мікроскопів. При цьому методі можна виявити оксиди на межах зерен, перепал металу, частинки неметалевих включень, величину зерен металу та інші зміни у його структурі, які спричинені термічною обробкою (рис. 12.3).

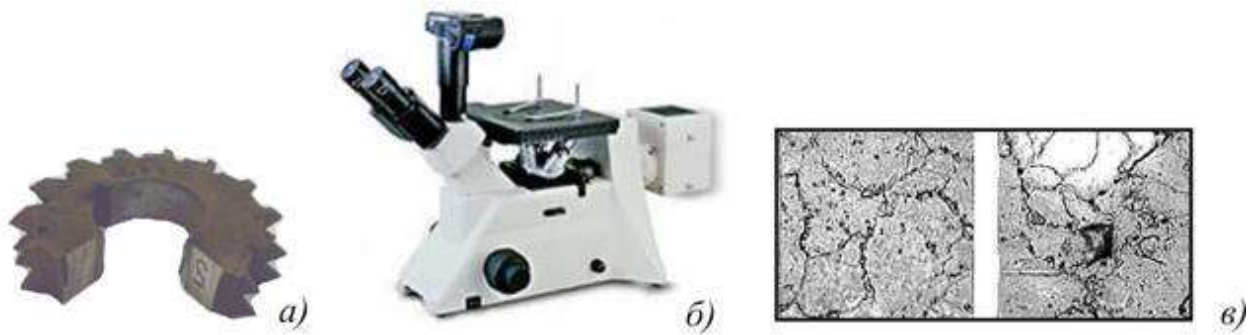


Рис. 12.3. Мікроструктурний аналіз причин та руйнування фрези: зруйнована фреза (а); мікроскоп (б); видимі дефекти металу, що призвели до руйнування.

12.4. Контроль мікрогеометрії поверхонь та виявлення поверхневих дефектів.

Сутність контролю полягає у:

- візуальному або відносному порівнянню досліджуваної поверхні з поверхнею еталонних зразків;
- обмацування рельєфу мікронерівностей контактними та безконтактними щупами;
- спостереженні та вимірі мікрорельєфу з використанням оптичних зображень поверхні;
- реєстрації та обробки параметрів різних полів та випромінювань при взаємодії з досліджуваною поверхнею;
- заповнення поверхневих мікротріщин речовинами, що роблять тріщини видимими або виявленими за допомогою перетворювачів.

Ці методи використовують практично у всіх галузях машинобудування. Об'єктами контролю є вироби та конструкції з нормованими вимогами до шорсткості та мікрогеометрії поверхонь, а також до відсутності порушень суцільності поверхневого шару. Контролю піддаються:

- параметри шорсткості поверхні;
- локальні макро- та мікродефекти (виступи, ямки, подряпини та ін.);
- топографічні характеристики поверхонь (хвилястість, неплотинність, об'ємні поверхневі дефекти);

- поверхневі та наскрізні мікротріщини.

До методів контролю якості поверхонь відносяться розглянуті вище:

- контактні;

- капілярні;

- акустичні;

- магнітна дефектоскопія;

- вихрострумова дефектоскопія;

- візуальне порівняння з еталоном;

- оптичні (світлового перерізу, інтерференційні, растрові, за різкістю елементів мікрорельєфу, голографічні, рефлексометричні).

12.5. Контроль складання та випробування виробів.

Мета випробувань, на відміну від контролю, – це визначення характеру та ступеня змін об'єкта випробувань, що виникають як результат впливу на нього зовнішніх факторів при функціонуванні та моделюванні об'єкта. Системою випробувань передбачено сукупність коштів та виконавців, що взаємодіють з об'єктами за програмою та правилами, встановленими відповідною документацією. Випробування поділяються на:

- контрольні, дослідні та граничні;

- довідкові, попередні та приймальні;

- відомчі; міжвідомчі та державні;

- прискорені та нормативні;

- форсовані та скорочені;

- полігонні та експлуатаційні випробування на надійність.

Різні фізичні принципи функціонування виробів та умови їх роботи вимагають проведення випробувань при механічних, електричних, акустичних, теплових, радіаційних, електромагнітних, кліматичних, біологічних та хімічних впливах.

Періодичні випробування полягають у тому, що у певний період (щорічно, у квартал) із партії виробів вибирають кілька зразків і проводять випробування на вплив різних факторів відповідно до вимог ТУ.

У процесі контролю та випробувань застосовують універсальну, типову та спеціальну контрольно-вимірювальну апаратуру.

У дрібносерійному виробництві переважно застосовують універсальну вимірювальну апаратуру, що випускається централізовано. Типову апаратуру розробляють в рамках внутрішньогалузевої кооперації і використовують для контролю близьких за складом та призначенням об'єктів (систем контролю; установок та приладів; програмно-переналагоджуваних приладів). Спеціальну апаратуру застосовують, як правило, у багатосерійному виробництві, при перевірці швидкоплинних процесів.

Весь обсяг випробувань можна розділити на обкатування найважливіших вузлів і на випробування виробу в цілому.

12.5.1. Випробування вузлів та агрегатів виробів.

Перш ніж випробувати зібраний виріб перевіркам піддають їх складові (коробки передач, водяні та масляні насоси, окремі агрегати та інші механізми). Програму випробувань вузлів чи агрегатів складають у проектно-конструкторських службах. Вимоги, що включаються до програм, залежать від призначення цих агрегатів. Спільним для різних типів агрегатів є те, що випробування проводять спочатку на холостому ході, а потім під навантаженням, яке поступово підвищують, до заданої норми. Випробування проводять, звичайно, на спеціальних стендах. Робоче навантаження створюють спеціальні пристрої. Результати спостережень (з урахуванням реєстрації фізичних параметрів контрольно-вимірювальною апаратурою) вносять до журналу або акту випробувань.

Дефекти, виявлені при випробуванні вузлів, усуваються швидше, простіше і дешевше, ніж при випробуваннях повністю зібраного виробу, коли може

знадобитися часткове або повне розбирання для усунення дефекту. Після усунення дефектів виріб піддають повторному випробуванню.

12.5.2. Випробування зібраних виробів.

Випробування зібраних виробів – завершальна контрольна операція перевірки якості виготовлення. Вона відноситься не тільки до складального виробництва, тому що її виконанням досягається перевірка якості виробу як результату всього виробничого процесу. Вироби випробовують в умовах, що наближаються до експлуатаційних. Усі види випробувань можна звести до приймальних, контрольних та спеціальних.

При приймальних випробуваннях виявляють фактичні експлуатаційні характеристики виробу (точність, продуктивність, потужність, витрати енергії, тощо), а також правильність та узгодженість роботи його різних механізмів та пристроїв.

Крім того, вироби перевіряють на нагрівання, вібростійкість, шум, жорсткість, наявність мертвих ходів та ін. Випробування виробу в цілому так само, як і для агрегатів, проводять спочатку на холостому ході, а потім під навантаженням, яке поступово підвищують до заданої норми. У процесі випробувань перевіряють роботу органів управління, системи блокування та фіксації, відсутність заїдань, безвідмовність роботи основних та допоміжних пристроїв. У кожному конкретному випадку приймальні випробування зібраного виробу проводять за спеціальною програмою на універсальних або спеціальних стендах.

На деяких заводах введено автоматичне та напівавтоматичне випробування виробів (автомобільних та електродвигунів, автотракторного електроустаткування). При повній автоматизації виріб автоматично встановлюється на випробувальний стенд, закріплюється там із підведенням комунікацій, проводиться вся програма випробувань з автоматичним записом результатів, потім відбувається відкріплення та знімання виробу з передачею на наступну позицію складання або для транспортування на склад готової продукції.

Обов'язковим контрольним випробуванням піддають усі вироби, у яких раніше були виявлені дефекти.

При особливо високих вимогах до виробів їх піддають обкатуванню після збирання та знову випробовують. Наприклад, контрольним випробуванням піддають всі авіаційні та рідинні ракетні двигуни. Потім вироби розбирають (частково або повністю), перевіряють стан деталей, замінюють непридатні, вдруге збирають і на короткий строк піддають контрольним випробуванням (наприклад, на герметичність).

Спеціальні випробування виконують вивчення зносу, перевірки безвідмовності роботи окремих пристроїв, встановлення придатності нових марок матеріалів для відповідальних деталей та інших явищ у виробі. Вони відрізняються великою тривалістю. Їхню програму розробляють залежно від призначення виробу та мети проведення випробувань.

Запитання для самоконтролю:

- 1. Що є критеріями високої якості деталей машин. Що вимірюють у машинобудуванні?*
- 2. Що входить у поняття «єдність» вимірів?*
- 3. Що входить у поняття «точність» вимірів?*
- 4. Як здійснюється контроль мікрогеометрії поверхонь та виявлення поверхневих дефектів?*
- 5. Що входить у контроль складання та випробування виробів?*
- 6. Які методи неруйнівного контролю застосовують у машинобудуванні?*
- 7. Навіщо призначений метод руйнівного контролю?*
- 8. Навіщо призначений акустичний контроль?*
- 9. Навіщо призначений радіаційний контроль?*
- 10. З якою метою проводять механічні випробування. Що належать до механічних випробувань?*

13. Складальні процеси в машинобудуванні

Виріб машинобудівного підприємства - механізм або машина - є результатом складного виробничого процесу, що є сукупністю дій, спрямованих на перетворення матеріалів і напівфабрикатів на закінчений вид продукції. Процес складання є заключним етапом виготовлення машини, що значною мірою визначає її основні експлуатаційні якості. Умови досягнення високих експлуатаційних якостей машини не обмежуються створенням її вдалої конструкції чи застосуванням високоякісних матеріалів виготовлення її деталей, гарантує ці експлуатаційні якості і високоточне виготовлення деталей із забезпеченням оптимального стану контактних шарів, їх сполучених чи робочих поверхонь.

Технологічний процес складання - це сукупність операцій зі з'єднання деталей у певній технічно та економічно доцільній послідовності для отримання механізму або машини, що повністю відповідають встановленим для них вимогам. Якщо при механічній та більшості інших видів обробки поняття «технологічний процес» відноситься до деталі, то в складальному виробництві воно має відношення насамперед до з'єднання двох або більшої кількості деталей.

Процес виготовлення машини може гарантувати досягнення всіх необхідних її експлуатаційних показників, а також її надійності та довговічності в експлуатації лише за умови високоякісного проведення всіх етапів складання машини (тобто складання та регулювання окремих складальних одиниць-вузлів, загального складання та випробувань виробу, що виготовляється загалом).

Виконання складальних робіт пов'язане з великою витратою часу, що становить значну частку загальної трудомісткості виготовлення машини. Залежно від типу виробництва витрати часу на складальні роботи становлять (у відсотках загальної трудомісткості виготовлення машин):

у масовому та багатосерійному виробництвах 20÷30%,

у серійному виробництві 25÷35%,

у одиничному та дрібносерійному виробництвах 35÷40%.

У різних галузях машинобудування частка складальних робіт різна та приблизно становить (у відсотках від загальної трудомісткості виготовлення машин та приладів):

у важкому машинобудуванні 30÷35%;

у верстатобудуванні 25÷30%;

у автомобілебудуванні 18÷20 %;

у приладобудуванні 40÷45%.

Слід зазначити, що основна частина (50÷85%) слюсарно-складальних робіт є ручними роботами, що вимагають великих витрат фізичної праці та високої кваліфікації робітників. Однак, слід зазначити, що частка ручних операцій у складальних процесах постійно скорочується (особливо це стосується масового виробництва) за рахунок дедалі ширшого використання робото-технічних систем, роторно-конвеєрних ліній та ін.

В даний час складання виробів проводиться переважно на тому самому підприємстві, де виготовляються основні деталі цього виробу. Лише у випадках, коли вироби громіздкі (потужні турбіни, важкі преси, ротаційні поліграфічні машини, підйомні крани та інших.), складання їх виконується на підприємстві у споживача. Однак, навіть якщо остаточне складання машини проводиться одночасно з установкою її на фундаменті, початкова попередня складання ряду окремих її вузлів, все ж таки, зазвичай, організована на підприємстві-виробнику. При цьому контролюється правильність основних сполучень деталей та вузлів, загальне налагодження, а іноді й точність роботи.

У процесі складання цілком доброякісних елементів виробів з різних причин можуть виникати похибки взаємного розташування деталей, що істотно знижують точність і службові якості машини, що збирається. Причинами виникнення таких похибок можуть бути такі:

- помилки, що допускаються робітниками при орієнтації і фіксації встановленого положення деталей, що збираються (попадання бруду і стружки між

поверхнями, що сполучаються; збіг ексцентриситетів зовнішньої і внутрішньої поверхонь втулок, посадкової шийки валу, на якій монтується втулка, і порушень його опорних шийок; непостійність зусилля затягування, тощо);

- похибки вимірювальних засобів, що застосовуються під час складання;

- похибки регулювання, припасування та контролю точності положення деталі в машині, досягнутого при складанні;

- відносні зрушення деталей у проміжку часу між їх встановленням у необхідні положення та їх фіксацією у цьому положенні;

- утворення задирів на поверхнях деталей, що сполучаються;

- пружні деформації деталей, що сполучаються при їх установці і фіксації, та пластичні деформації поверхонь в сполученні, що порушують їх точність і щільність з'єднань.

Тому з організацією виробничих процесів складання готових виробів приділяється підвищену увагу.

13.1. Класифікація складальних процесів.

Класифікація складальних процесів здійснюється на підставі різних класифікаційних ознак, що відображають певну технологічну та організаційну структуру процесу, набір маніпуляцій працівників.

За способом з'єднання деталей.

Складання може здійснюватися для рухомих і нерухомих з'єднань простим роз'ємним або нероз'ємним способом (рис.13.1).

Рухомі роз'ємні з'єднання забезпечують відносне переміщення деталей при функціонуванні машини. Рухомі нероз'ємні складальні з'єднання здійснюють допоміжні функції у процесі роботи машини та її вузлів.

Нерухомі роз'ємні з'єднання в основному призначені для монтажу та можливості подальшого демонтажу окремих вузлів та елементів машини. Вони здійснюються в основному за рахунок різьбових, штифтових та шпонкових з'єднань (рис. 13.2).

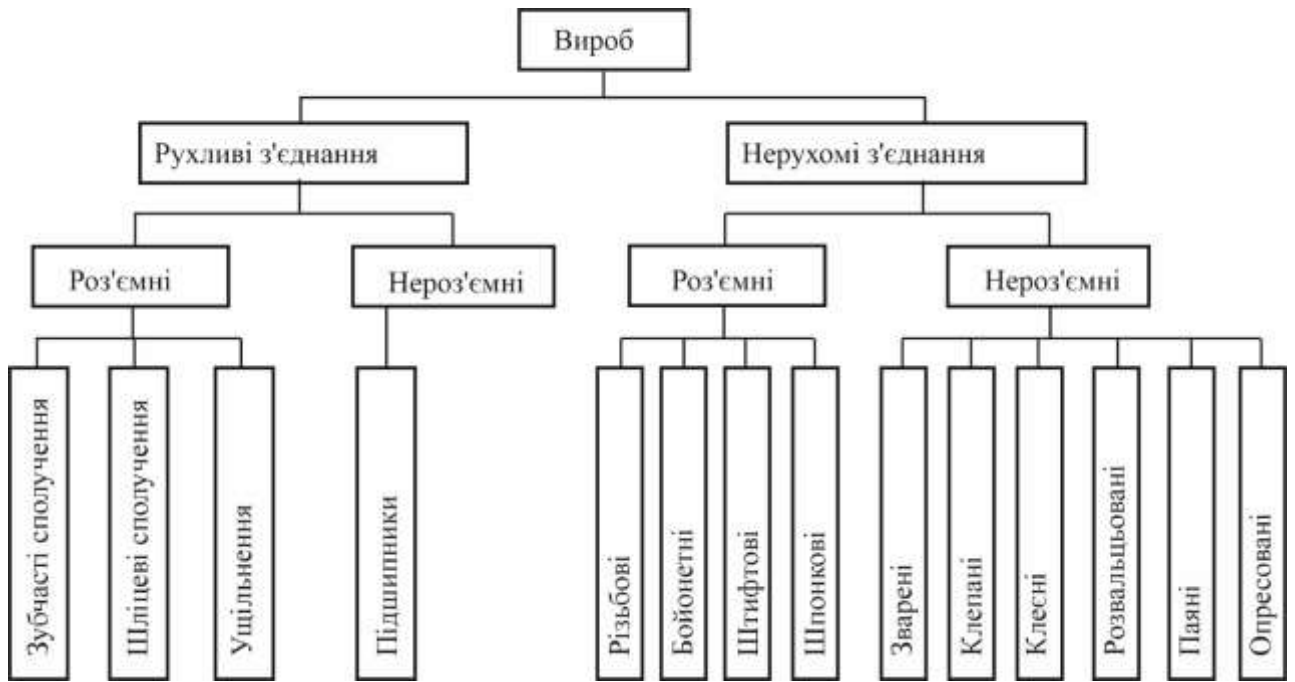


Рис. 13.1. Класифікація з'єднань деталей у процесі збирання машин.

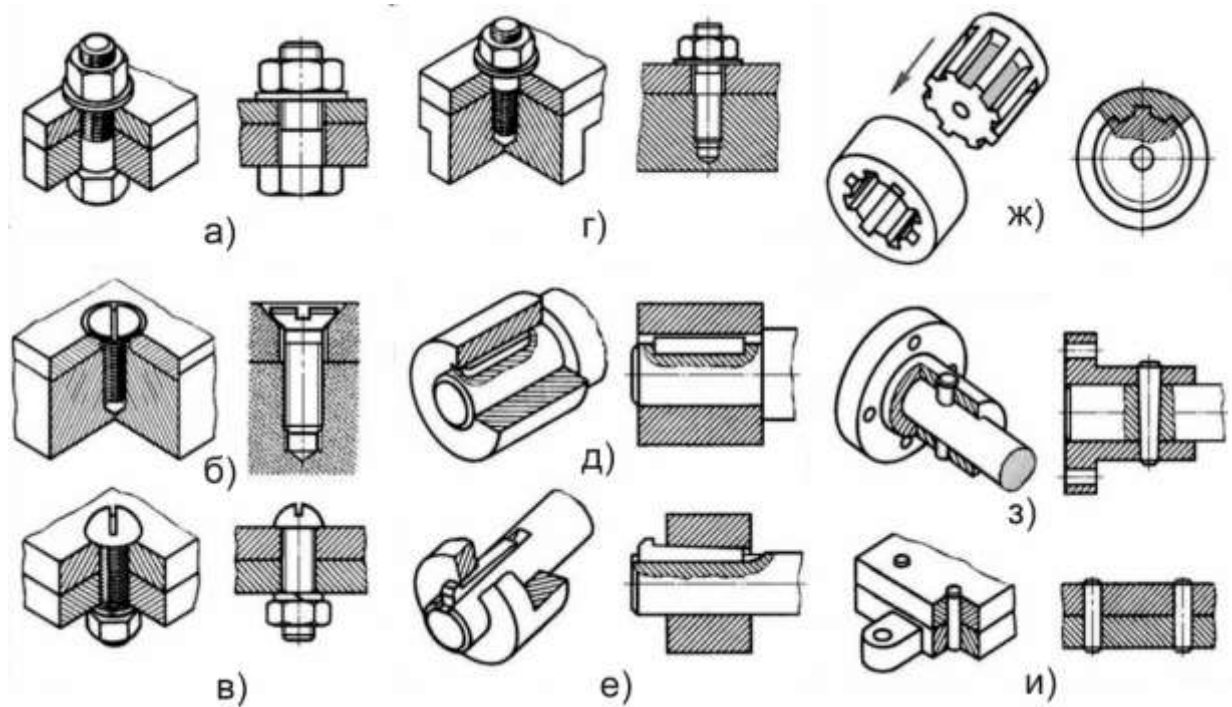


Рис. 13.2. Види складальних роз'ємних з'єднань: а – болтове; б, в - гвинтове; г – шпилькою; д, е - шпонкове; ж – шліцеве; з, и - штифтове.

Останнім часом досить широко використовуються байонетні, зазвичай пружні, роз'ємні нерухомі з'єднання («вставити і повернути»), що значно скорочує час збирання та розбирання механізму, забезпечуючи при цьому необхідну міцність та надійність з'єднання (рис. 13.3).

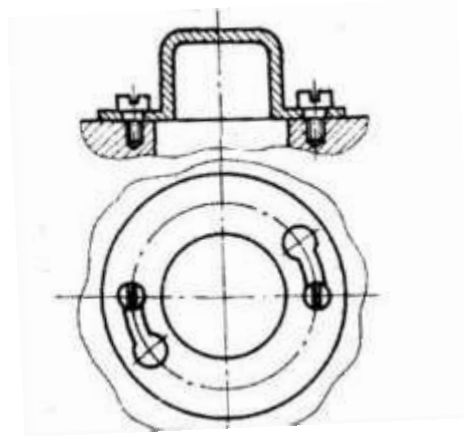


Рис. 13.3. Байонетне складальне з'єднання.

Нероз'ємні з'єднання не передбачають демонтаж виробу без руйнування його складових частин. У процесі таких складальних операцій використовуються як механічні способи кріплення (запресування, клепка, розвальцювання та ін.), так і фізико-хімічні (зварювання, паяння, склейка та інше). Значно удосконалений за останні роки процес створення нероз'ємних з'єднань склеюванням забезпечує високу міцність цих з'єднань за рахунок інноваційних хімічних технологій у галузі адгезії матеріалів. Найбільш характерні операції представлені на рисунку 13.4.

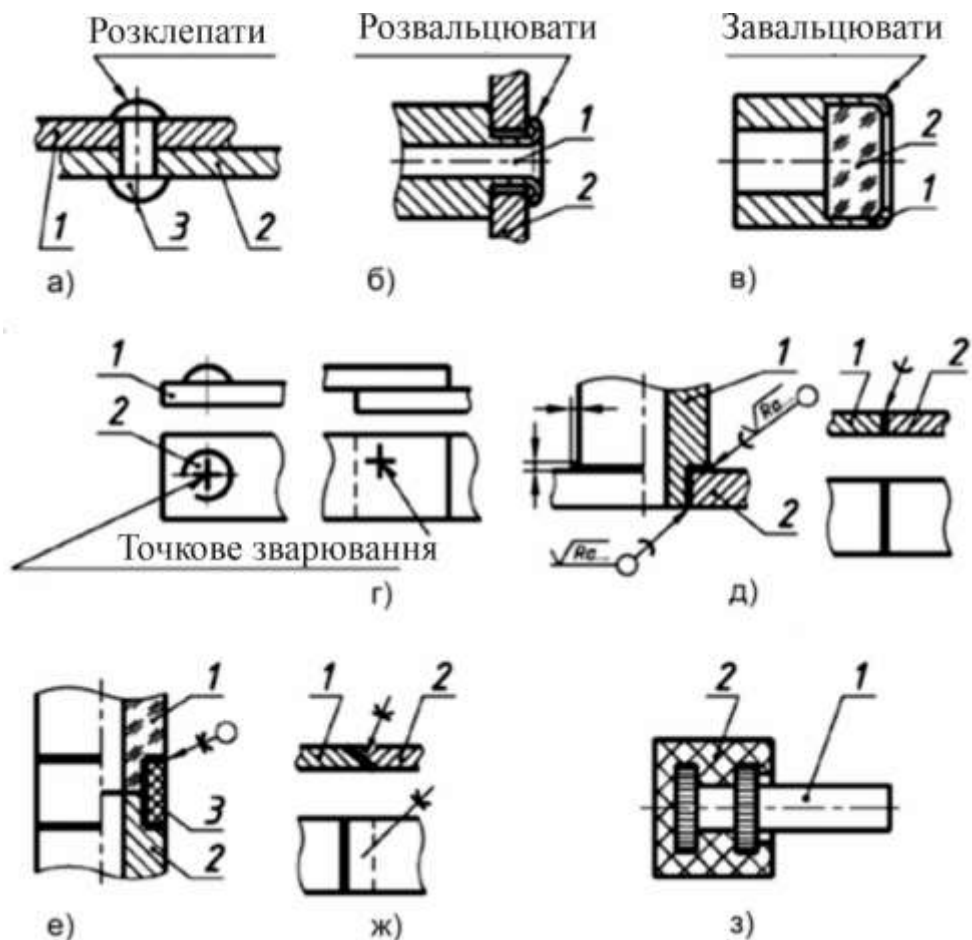


Рис. 13.4. Види складальних нероз'ємних з'єднань: а – клепка;
 б - розвальцювання; в - обвальцювання ; г – точкове зварювання; д - паяння;
 е, ж - склеювання; з- запресовування .

За обсягом складання.

Загальне складання характеризується тим, що об'єктом його є виріб загальном.

Вузлове складання характеризується тим, що об'єктом є складова частина виробу, тобто складальна одиниця або вузол.

У разі одиничного і дрібносерійного типів виробництва переважна більшість складальних робіт виконується загально для виробу і лише мала їх частина здійснюється над окремими складальними одиницями. Зі збільшенням серійності виробництва складальні роботи все більше подрібнюються за окремими складальними одиницями, і в умовах масового та багатосерійного типів виробництва обсяг вузлового складання стає рівним або навіть перевищує обсяг загального складання. Це значною мірою сприяє механізації та автоматизації

складальних робіт та підвищує їх продуктивність. По стадіях процесу складання поділяється на такі види: попереднє, проміжне, складання під зварювання, остаточне.

За типами розв'язуваних завдань.

Попереднє складання, тобто з'єднання заготовок, складових частин або виробу в цілому, які в подальшому підлягають розбиранню. Наприклад, попереднє складання вузла з метою визначення розміру нерухомого компенсатора.

Проміжне складання, тобто з'єднання заготовок, що виконується для подальшої їхньої спільної обробки. Наприклад, попереднє проміжне складання корпусу редуктора з кришкою для подальшої спільної обробки отворів під підшипники .

Складання під зварювання, тобто з'єднання заготовок для їхнього наступного зварювання. Процес з'єднання деталей за допомогою зварювання в більшості випадків є складальним і може бути введений безпосередньо в потік вузлового або загального складання. У процесі зварювання деталі утримуються в спеціальних пристосуваннях фіксаторами, що забезпечує правильне положення елементів відносно один до одного.

Остаточне складання, тобто з'єднання виробу або його складової частини, після якого не передбачено його подальше розбирання при виготовленні. На загальне остаточне складання повинні подаватися у якомога більшій кількості попередньо скомплектовані складальні одиниці та у якомога меншій кількості окремі деталі. Загальне складання має бути максимально звільнено від виконання дрібних складальних з'єднань та різних допоміжних робіт.

Слід звернути увагу, що після остаточного збирання для деяких габаритних виробів може бути демонтаж. До складу остаточного складання входять роботи з часткового розбирання зібраного виробу з метою підготовки його до упаковки та транспортування до споживача (наприклад, складання великих парових та гідравлічних турбін, тощо).

13.2. Організаційні форми складальних процесів.

За способом організації складального процесу розрізняють стаціонарний та потоковий.

Непоточне стаціонарне складання характеризується тим, що весь процес складання виробу та його складальних одиниць виконується на одній складальній позиції: верстаті, стенді, робочому місці, столі, на підлозі цеху. На цю позицію надходять усі деталі, складальні одиниці та комплектуючі вироби. Як правило, всі операції по складанню виробу здійснюється однією бригадою робітників-збирачів від початку і до кінця. Непоточне стаціонарне складання використовується в умовах експериментальних та ремонтних підприємств, а також у одиничному та дрібносерійному виробництві важкого машинобудування.

Метод має такі переваги:

1. При складанні великих виробів зберігається постійне становище базової деталі, що є основою складання. Це дозволяє підвищити точність виробу, що збирається.
2. Можливе використання універсальних інструментів, пристроїв та транспортних засобів, що знижує вартість збирання.

Водночас метод має й низку недоліків:

1. Цикл складання має більшу тривалість, оскільки всі операції складання здійснюються послідовно.
2. Необхідність наявності великих площ та необхідної кількості стендів для складання.
3. Необхідність наявності висококваліфікованих робітників, здатних виконувати будь-які складальні операції.

Для скорочення часу складання застосовують непоточне стаціонарне складання з розчленуванням складальних робіт. Цей процес складається із загального та вузлового складання, які здійснюються одночасно різними бригадами збирачів. В результаті час збирання значно скорочується.

Метод непоточного стаціонарного складання з розчленуванням складальних робіт має такі переваги:

1. Скорочується час загального циклу збирання.
2. Скорочується трудомісткість виконання окремих складальних операцій за рахунок спеціалізації робочих місць, їх оснащення спеціальними механічними пристроями, та поліпшення організації праці і спеціалізації збирачів на виконанні тих самих операцій.
3. Відсутня необхідність наявності великої кількості збирачів високої кваліфікації.
4. Більш раціонально використовуються виробничі приміщення.
5. Знижується кількість виробничих ділянок, які оснащені потужним підйомно-транспортним обладнанням.
6. Собівартість складання значно знижується.

Непоточне рухоме складання характеризується послідовним переміщенням виробу, що збирається, від однієї позиції до іншої. Переміщення об'єкта, що збирається, від однієї робочої позиції до іншої може бути вільним або примусовим. Технологічний процес складання при цьому розбивається на окремі операції, кожна з яких виконується одним робітником або малим числом робітників.

При складанні з вільним переміщенням об'єкта, що збирається, робочий після закінчення своєї операції переміщає збирану складальну одиницю на наступну робочу позицію вручну або за допомогою механічних засобів, наприклад, з використанням рольганга.

При складанні з примусовим переміщенням об'єкта, що збирається, його транспортування здійснюється вертикально або горизонтально замкнутим транспортним органом, наприклад, конвеєром. Рухоме складання застосовується лише за можливості розчленування складальних робіт на окремі операції.

Оскільки тривалість виконання кожної складальної операції коливається і залежить не тільки від кваліфікації та інтенсивності роботи робітника-збирача, але і від якості деталей, що збираються, то для компенсації часу зборки створюється міжопераційний заділ.

Для того, щоб метод можна було реалізувати, конструкція виробу повинна передбачати можливість розчленування його на технологічні складальні одиниці, які можуть бути зібрані незалежно одна від одної. Цей метод використовується при серійному виробництві середніх машин.

Поточне складання застосовується зазвичай при масовому випуску виробів. Поточне складання характеризується тим, що окремі операції процесу виконуються за однаковий проміжок часу - такт, або за час, кратний такту. Якщо конструкція виробу має достатню жорсткість базової деталі і відрізняється порівняно невеликою масою, доцільно вибрати потокове складання з безперервним переміщенням виробу, що збирається; в іншому випадку слід зупинитися на рухомому збиранні з переривчастим переміщенням виробу. Для складання виробів великої маси при відносно невеликій програмі випуску застосовують нерухоме потокове складання, при якій бригада робочих періодично переміщається з одного робочого місця до іншого.

Поточне складання може бути з вільним або примусовим ритмом. У першому випадку робітник передає виріб на наступну операцію після того, як виконає роботу сам. У другому випадку час передачі виробу визначається швидкістю руху конвеєра або за спеціальним світловим або звуковим сигналом. У ряді випадків можливе поєднання часу, що витрачається на транспортування, з часом збирання (застосування автоматичних роторно-конвеєрних складальних ліній).

Поточне стаціонарне складання застосовується при виготовленні великих і незручних для транспортування виробів, наприклад, літаків, ракет, турбін та ін., коли всі об'єкти, що збираються, залишаються на робочих позиціях протя-

гом усього процесу складання. Через періоди часу, рівний такту, бригади робітників-збирачів одночасно переходять від одних об'єктів, що збираються, до інших, і виконують кожна закріплену за нею операцію.

13.3. Види складання.

У процесі збирання машин використовують принцип взаємозамінності. Взаємозамінними можуть бути деталі, складальні одиниці та вироби загалом. Насамперед такими мають бути деталі та складальні одиниці, від яких залежать надійність та інші експлуатаційні показники виробів. Ця вимога поширюється і на запасні частини.

У машинобудуванні розрізняють такі види складання, з точки зору взаємозамінності:

1. Складання за принципом повної взаємозамінності, що застосовується у масовому виробництві відповідно до якого будь-яку деталь у процесі складання можна замінити на іншу, такого ж розміру без будь-якої підгонки та доопрацювання. Властивість збирання та можливості рівноцінної заміни будь-якого екземпляра взаємозамінної деталі та складальної одиниці будь-яким іншим однотипним екземпляром дозволяє виготовляти деталі в одних цехах машинобудівних заводів серійного та масового виробництва, а збирати їх – в інших. При складанні використовують стандартні деталі кріплення, підшипники кочення, електротехнічні, гумові та пластмасові вироби, а часто й уніфіковані агрегати, що отримуються по кооперації від інших підприємств. Повна взаємозамінність можлива лише тоді, коли розміри форма, механічні, електричні та інші кількісні та якісні характеристики деталей та складальних одиниць після виготовлення перебувають у заданих межах та зібрані вироби задовольняють технічним вимогам.

Повна взаємозамінність має такі переваги:

1) спрощується процес складання – він зводиться до простого з'єднання деталей робітниками переважно невисокої кваліфікації («синій дріт - туди, червоний - сюди, все»);

2) з'являється можливість точно нормувати процес складання у часі, встановлювати необхідний темп роботи та застосовувати потоковий метод;

3) створюються умови для автоматизації процесів виготовлення та збирання виробів, а також широкої спеціалізації та кооперування заводів (при яких завод-постачальник виготовляє уніфіковані вироби, складальні одиниці та деталі обмеженої номенклатури та постачає їх заводу, що випускає основні вироби);

4) спрощується ремонт виробів, оскільки будь-яка зношена чи поламана деталь чи складальна одиниця може бути замінена новою (запасною).

Повну взаємозамінність економічно доцільно застосовувати:

- для деталей, виготовлених з допусками квалітетів не вище шостого;
- для складальних одиниць, що складаються з невеликої кількості деталей;
- коли недотримання заданих зазорів чи натягів неприпустимо навіть у частини деталей.

2. Складання за принципом обмеженої взаємозамінності. Це взаємозамінність, при якій в результаті безпрігоночного складання отримують готовий виріб, але для забезпечення заданої точності вихідних характеристик передбачається можливість виконання або додаткових операцій, або груповий підбір деталей з розмірами певного діапазону (селективне складання). Тобто неповна (обмежена, часткова) взаємозамінність передбачає сортування деталей, що виготовляються за розмірами на ряд груп до складання, а потім при складанні машин використовують не будь-які деталі даного номера і найменування, а тільки певної групи. В межах кожної групи розміри деталей мають мінімальні неточності. Таким чином, неповна взаємозамінність - це взаємозамінність, що забезпечується селективною вибіркою екземплярів.

3. Складання за принципом індивідуального припасування, що застосовується тільки в одиничному та дрібносерійному виробництві. Суть методу полягає в тому, що необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною розміру так званої компенсуючої ланки (однієї зі складових

ланок) шляхом зняття з нього певного шару матеріалу. При виборі розмірного ланцюга компенсатора керуються такими міркуваннями:

1) як компенсатор вибирають деталь, зміна розміру (що є однією зі складових ланок) якої при додатковій обробці вимагає найменших витрат.

2) неприпустимо як компенсатор вибирати деталь, розмір якої є загальною складовою ланкою паралельно зв'язаних розмірних ланцюгів. Порушення цієї умови призводить до виникнення похибки, що «блукає» з одного розмірного ланцюга до іншого.

Основною перевагою пригонки є можливість досягнення високої точності ланки, що замикає, при відносно невисокій точності виготовлення деталей.

Недоліками пригонки є необхідність використання робітників високої кваліфікації та значні коливання витрат часу при її виконанні через видалення припусків компенсаторів. Останнє ускладнює застосування потокових методів складального виробництва.

Різновидом методу пригонки є метод регулювання розміру ланки, що замикає. Відмінність між ними полягає в способі зміни розміру ланки, що компенсує. При методі регулювання зміна може бути виконана двома шляхами: зміною положення компенсуючої ланки або введенням у виріб спеціальної деталі, що має необхідний розмір, тобто без видалення матеріалу компенсатора механічним шляхом. У першому випадку компенсатор називають рухомим, у другому нерухомим. Як нерухомі компенсатори використовують проставні кільця, прокладки та інші деталі простої конструкції. Групи нерухомих компенсаторів різних розмірів мають бути виготовлені заздалегідь.

По відношенню до взаємозамінності стандартних агрегатів та елементів розрізняють такі види:

Параметрична взаємозамінність — це взаємозамінність за вихідними параметрами, тобто взаємозамінність, при якій забезпечується необхідна точність вихідних параметрів без додаткового регулювання, припасування тощо. Замінний двигун повинен мати взаємозамінність не тільки по приєднувальних розмірах, але взаємозамінність за потужністю, частотою обертання валу, тощо.

Зовнішня взаємозамінність - це взаємозамінність окремих виробів, які збирають у більші за геометричними та вихідними параметрами (приєднувальні розміри, їх граничні відхилення; вихідні експлуатаційні та функціональні характеристики). Зовнішня взаємозамінність забезпечується стандартами окремих видів виробів (підшипники, тощо).

Внутрішня взаємозамінність - це взаємозамінність окремих деталей або складальних одиниць, що входять у виріб за всіма параметрами. Наприклад, при складанні підшипників кочення використовується неповна взаємозамінність. З кільцями певних розмірів збирають кульки або ролики певних розмірів. Тому якщо розібрати кілька підшипників, перемішати тіла кочення, а потім їх знову зібрати, то майже, напевно, не всі підшипники задовольнятимуть технічним вимогам за вихідними параметрами.

13.4. Проектування технологічних процесів складання машин.

Побудова технологічного процесу складання машини неможлива без ретельного вивчення її службового призначення та технічних вимог, що пред'являються до її виготовлення. Однією із обов'язкових характеристик службового призначення є область раціонального використання машини. Службове призначення зазвичай визначається рядом параметрів, деталізація яких залежить від ступеня спеціалізації машини, що виготовляється. Для універсальних машин обмежуються набором найзагальніших параметрів, які становлять істоту їх службового призначення. Для спеціальних машин ці параметри конкретизуються більш глибоко та всебічно.

Паралельно з аналізом технічних умов роблять технологічний контроль робочих креслень. На кресленнях складальних та загальних видів повинні бути зазначені допуски на лінійні та кутові розміри, а також особливі вимоги до збирання машин. На кресленнях повинні бути всі проекції та розрізи, необхідні для повного розуміння і ясного уявлення конструкцій складальних одиниць і машини в цілому.

Вивчивши службове призначення машини, її складальні та робочі креслення, а також програму випуску, вибирають тип та організаційну форму технологічного процесу складання. При цьому вирішальним фактором є кількість виробів, що виготовляються за незмінними кресленнями.

Після вивчення конструкції машини, виявлення в ній взаємозв'язків складальних одиниць та деталей, встановлення методів досягнення необхідної точності та коригування розмірів та допусків у кресленнях, розробляють послідовність складання. Послідовність загального складання машини визначається її конструктивними особливостями та закладеними в конструкції методами досягнення точності замикаючих ланок. У меншою мірою на послідовність складання впливає організація складального процесу. Прийнятю послідовність складання зазвичай виконують у вигляді технологічної схеми, що є основою проектування технологічного процесу.

Як приклад розглянемо ієрархічну схему технологічного процесу складання деталі «Ступиця» (рис. 13.5). Базовим елементом складання є деталь 12 (Ступиця). Горизонтальними стрілками вказана послідовність монтажу деталей і складальних одиниць на базовому елементі. Вертикальними - послідовність підготовчого складання окремих складальних одиниць зі своїми базовими деталями складання. Додатково вказуються дії працівника, які необхідні для нормального функціонування вузла (змастити) або уточнюють збиральну операцію (загорнути).

Необхідно відзначити ще один вид складальних робіт, що широко застосовується в машинобудуванні - розбирання та збирання машин і механізмів при їх ремонті в експлуатаційних умовах. Ремонт машини не може бути виконаний без часткового або повного її розбирання. Так як після розбирання і виправлення дефектів або заміни деталей, що зносилися, знову виконується складання машини і це повторюється протягом усього терміну служби машини кілька разів, то трудомісткість ремонтних робіт дуже велика. При капітальному ремонті виробів автомобільної промисловості, наприклад, трудомісткість не-

рідко перевищує часових витрат за виготовлення. При цьому до 70% трудомісткості мають розбиральні та складальні роботи і лише до 30% відновлювальні.

Процес збирання машини при ремонті принципово не відрізняється від збирання при її виготовленні. Змінюються лише організаційні форми, технологія залишається майже незмінною. Складання машини після ремонту повинно виконуватися в тій же послідовності і з тією ж ретельністю, як і збирання нової машини.

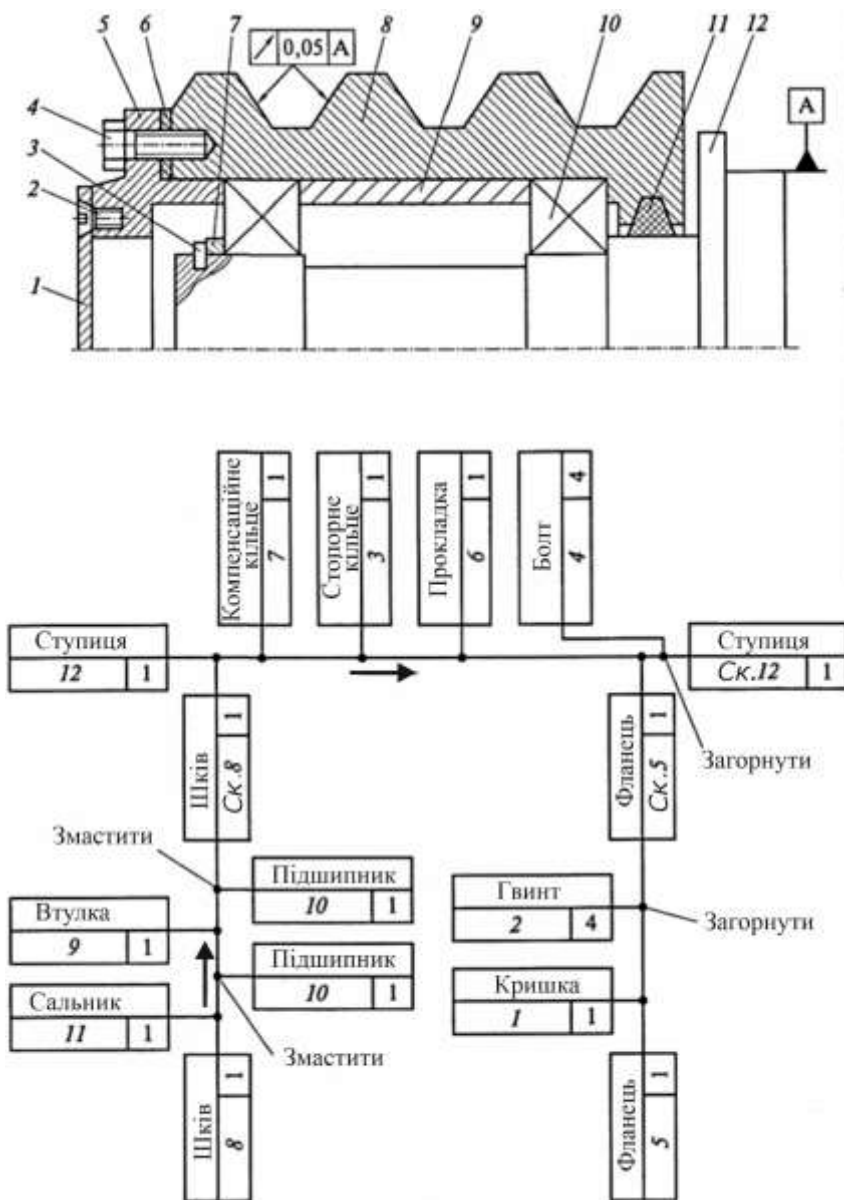


Рис. 13.5. Приклад технологічної схеми збирання деталі «Ступиця» (у рамці під назвою деталі ліва цифра позначає номер позиції деталі, а права цифра – число одиниць, що необхідно подати на робоче місце).

Запитання для самоконтролю:

- 1. Що таке "повна взаємозамінність"? Її основні характеристики.*
- 2. Що таке неповна взаємозамінність? Коли вона застосовується?*
- 3. Які ви знаєте позитивні характеристики застосування взаємозамінності під час виробництва продукції у машинобудуванні?*
- 4. Які передумови виникнення взаємозамінності існують?*
- 5. У чому сутність поняття "нормувати точність деталі"?*
- 6. Які існують види непотокового складання? Їх переваги та недоліки.*
- 7. Які існують методи організації потокового складання? Їх переваги та недоліки.*
- 8. Що включає в себе технологічний процес складання виробу?*

Заключна частина

Технологія машинобудування – науково-практична галузь знань, що постійно розвивається, та яка швидко вбирає в себе наукові досягнення різних областей і використовує їх на практиці в реальному виробництві. Поява нових технологічних процесів, обладнання та інструментів, які можуть реалізувати ці процеси, нині постійно прискорюється. Цього потребує розвиток економіки та суспільства.

Тому викладені в цьому посібнику матеріали не є догмою, а можуть отримати і вже отримують подальший розвиток найближчим часом. Автори спробували коротко викласти найбільш загальні підходи до технологічних особливостей машинобудівного виробництва у найзагальніших рисах, що дасть можливість студентам сформулювати уявлення про завдання машинобудівних виробництв та вибрати напрями та методи їх вирішення. Для отримання більш глибоких знань у конкретних галузях машинобудування (заготівельне виробництво, зварювальне виробництво, обробка різанням, технічне нормування, логістика підприємства, складальне виробництво, тощо) доцільно звертатися до фахівців у конкретної галузі та спеціальної літератури з конкретної тематики, де питання, які лише зазначені у цьому посібнику, розкриваються більш повно та докладно.

Список литературы

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1969. - 559 с.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. Оборудование и технология лазерной обработки материалов. Учеб., для ПТУ. - М.: Высш. шк., 1990. - 159 с.; ил.
3. Технология машиностроения: Учебник для вузов. В 2-х т. Т.1. Основы технологии машиностроения / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; под ред. А.М. Дальского. 2-е изд., стереотип. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 54 с.; ил.
4. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков // – М. : Машиностроение, 1980 – 592 с.
5. Аверченков В. И. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения. Учебное пособие / В. И. Аверченков, О.А. Горленко // М. : Машиностроение, 1988 – 192 с.
6. Технология машиностроения. В 2-х томах. Том 1. Основы технологии машиностроения. Под ред. Дальского А.М., Кондакова А.И. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 478с., ил.
7. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для студ. машиностроит. спец. вузов / Колесов И.М. – М.: Высшая школа, 2001. – 591 с., ил.
8. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М, 1985 – 496 с
9. Якимов О.В., Гусарев В.С., Якимов О.О., Линчевський П.А. Технологія автоматизованого машинобудування. – К. 1994.– 400 с.
10. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К., 1993. – 544 с.
11. Колкер Я.Д., Руднев О.Н. Базирование и базы в машиностроении. – К.: Вища школа, 1991. – 100 с.

12. Доля В.Н. Основы теории резания материалов: консп. лекций / В. Н. Доля, О. В. Доля. – Харьков: Изд-во «Підручник НТУ «ХП», 2016. – 160 с. – На рус. яз
13. Технологія машинобудування: навч. посіб. / Горбатюк Є.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. - Львів: "Новий Світ-2000", 2012.-358 с.
14. Технологія конструкційних матеріалів / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін. – Київ : Вища школа, 2002. – 374 с.
15. Технологія конструкційних матеріалів: навч.посіб. / С. В. Марченко, О. П. Гапонова, Т. П. Говорун, Н. А. Харченко. – Суми : СумДУ, 2016. – 146 с.
16. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна мехеніка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
17. Залога В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник. / В.О. Залога, О.О. Залога, В.Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залоги. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 371с.
18. Маслов А.Р., Схиртладзе А.Г. Обработка труднообрабатываемых материалов резанием. Учебное пособие для студ. машиностр. вузов. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 208 с., ил.
19. Маталин А.А. Технология машиностроения. / Маталин А.А. – Л.: Машиностроение, – 2008. – 510 с., ил.
20. Справочник технолога-машиностроителя. / Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещерякова Р.К., Суслов А.Г. и др. 5-е издание, перераб. и дополн. – М.: Машиностроение, 2003. Т.1 – 910 с., Т.2 – 943 с.
21. Якимов А.В., Царюк В.Н., Якимов В.А. и др. Технология машиностроения: Учебник для студ. машиностр. вузов. / Под редакцией Якимова А.В. – Одесса: Астропринт, 2012. – 784с., ил.

22. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др. Под общей редакцией Ю.Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с., ил.
23. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С.. Проектування та виробництво заготовок. Підручник для студентів машинобудівних спеціальностей ВНЗ. / Під редакцією Коренькова В.М. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014 – 353 с., іл.
24. Технологічні основи машинобудування. Навчальний посібник для студентів спеціальності 131. «Прикладна механіка» інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту. / Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафєєв Ю.М., к.т.н., доц., Фролов В.К. к.т.н., доц., Гриценко В.М. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 112 с.
25. Киселев М.Г. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов: Учебное пособие / М.Г. Киселев, Ж.А. Мрочек, А.В. Дроздов – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2014. – 388 с., ил., табл., схемы
26. Сторож Б.Д. Технологічні основи машинобудування / Б.Д. Сторож, М.Л. Мазур. – Ів. Франківськ, Хмельницький : ТУП, 2003. – 153 с.
27. Пермяков А.А., Тимофеев Ю.В. и др. Технология машиностроения. Практикум : учеб.пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2013.- 246 с.
28. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні /П.О.Руденко. – К.: Вища шк., 2003. – 420с.
29. Mikell P. Groover Fundamentals of modern manufacturing. Materials, Processes, and Systems. Fourth Edition – John Wiley & Sons, Inc. – 2010. – 1028p.
30. Youssef, Helmi A. Machining technology: machine tools and operations / Helmi A. Youssef, Hassan El-Hofy. - CRC Press, Taylor & Francis Group. - 2008.-672p.
31. Технологія // Універсальний словник-енциклопедія. — 4-те вид. — К. : Тека, 2006.

ДОДАТОК 1

Приклад аналізу технологічності деталі.

Послідовність та зміст розрахунку комплексного показника технологічності пояснимо на основі розгляду деталі «Стакан» (рис.Д1.1).

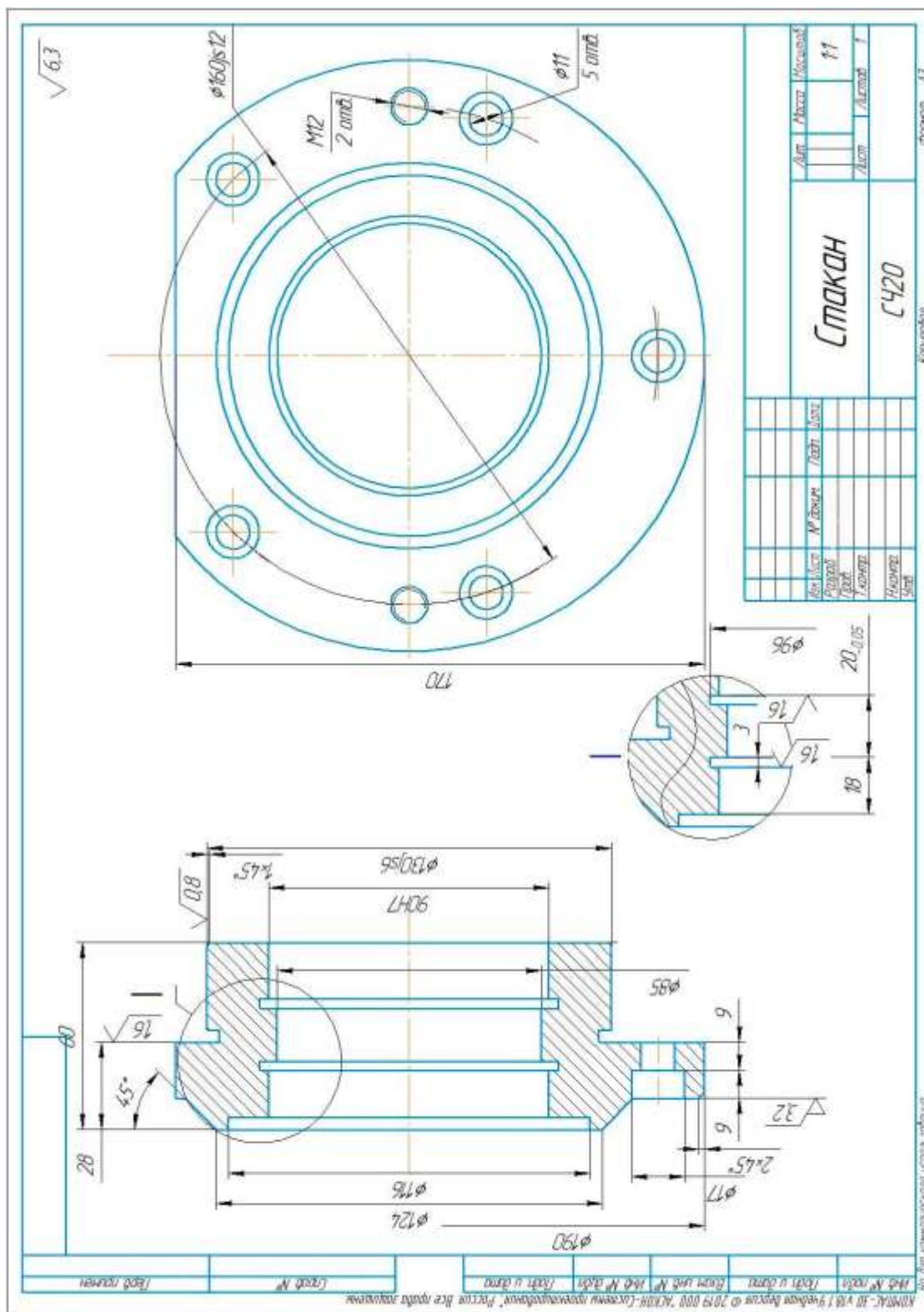


Рис. Д1.1 Ескіз деталі «Стакан»

Комплексний показник технологічності K_T визначається за формулою (5.1), причому значення вагових коефіцієнтів наведені у табл.5.2. Отже, завдання зводиться до визначення приватних показників технологічності K_i , які входять до формули (5.1)

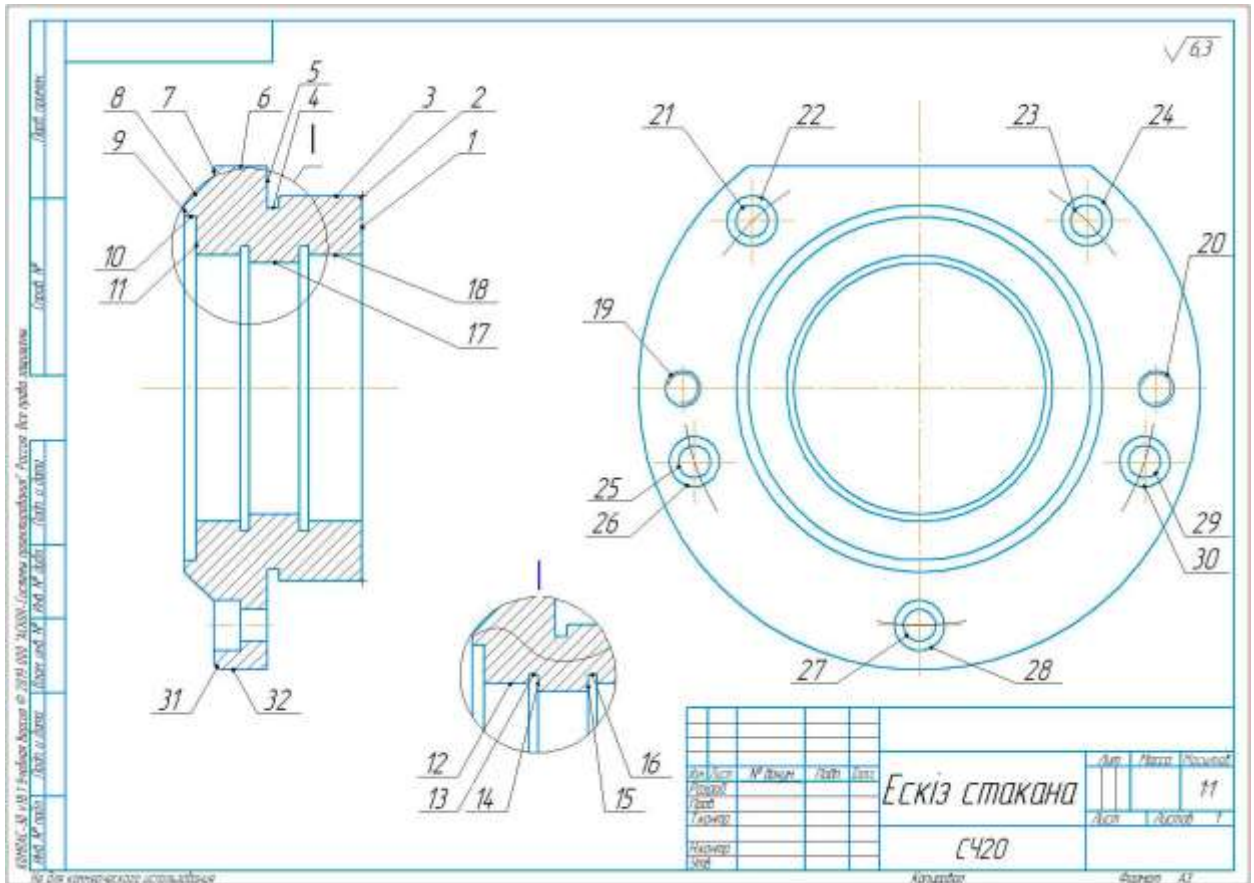


Рис. Д1.2. Приклад нумерації елементарних поверхонь деталі «Стакан».

Якісний аналіз технологічності деталі «Стакан»

1. *Аналіз форми деталі з точки зору зручності обробки на металорізальних верстатах.*

З точки зору зручності обробки на металорізальних верстатах деталь є легкою. Форма деталі цілком зручна для транспортування й орієнтації при завантаженні в зону обробки в умовах одиничного виробництва.

2. *Технологічність розставлення розмірів, допусків та шорсткості поверхні.*

Розміри на кресленні деталі проставленні з урахуванням принципу поєднання конструкторських, вимірювальних і технологічних баз. Застосовуються

стандартизовані пристосування і вимірювальні інструменти. Допуски та шорсткість знаходяться в межах економічної точності. Однак, не зовсім зрозуміло призначення на поверхні 12 та 18 (отвір діаметром 90H7) параметра шорсткості $Ra=6,3\text{мкм}$. Тоді як усі існуючі методи забезпечення заданої точності дозволяють досягти шорсткості 1,25-2,5 мкм. Можливо, це помилка конструктора. У подальших розрахунках ми виходитимемо з того, що забезпечення шорсткості 6,3 гарантовано при досягненні точності поверхні відповідно до 7 квалітету.

3. Технологічність базових поверхонь деталі.

Деталь «Стакан» має зручні базові поверхні: зовнішні циліндричні поверхні та торці при обробці внутрішніх поверхонь; внутрішні циліндричні поверхні та торці при обробці зовнішніх циліндричних поверхонь та лиски 4. Технологічність розміщення розмірів, допусків і шорсткості поверхні відповідають можливості контролю

Таким чином здійснивши якісний аналіз технологічності деталі «Стакан» робимо попередній висновок про те, що деталь є технологічною з точки зору обробки її на металорізальному обладнанні.

Кількісний аналіз технологічності деталі «Стакан»

Кількісно технологічність конструкції оцінюється за комплексним показником, який визначається як сукупність значень часткових показників технологічності з урахуванням їх вагових коефіцієнтів

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i}$$

де, K_T – комплексний показник технологічності;

K_i – частковий показник технологічності;

φ_i – коефіцієнт вагомості часткового показника;

n – кількість часткових показників технологічності.

Визначення часткових показників технологічності деталей (табл.5.2) відбувається на основі по-елементного аналізу конструкції деталей, прийнятого способу їх виготовлення та виду матеріалу.

Комплексний показник технологічності K_T повинен бути більше або дорівнювати так званому нормативному показнику технологічності (табл.5.3).

Показник оброблюваності матеріалу

Визначаємо, що для СЧ40 коефіцієнт відносної оброблюваності $K_v=1,5$. Відкладаючи це значення K_v по осі абсцис діаграми, показаної на рис. 5.2, вважаємо, що показник оброблюваності матеріалу становить $K_{om} = 0,8$

Коефіцієнт оброблюваності матеріалу $K_{om} = 0,8$

Показник складності конструкції

Збільшення собівартості деталі, одержуваної методами обробки різанням, через подовження технологічного процесу її виготовлення внаслідок її складності може бути враховано показником складності конструкції деталі, визначеним у вигляді

$$K_{ск} = 0,25(K_k + K_p + K_v + K_c)$$

де K_k – коефіцієнт кількості поверхонь;

K_p – коефіцієнт вимог по розташуванню поверхонь;

K_v – коефіцієнт видів обробки;

K_c – коефіцієнт відповідності поверхонь.

Частковий показник технологічності

$$K_i = 1 - A_i,$$

де A_i – поправки.

Для розрахунку даного показника необхідно зібрати відомості про форму і характерні розміри кожної поверхні, спосіб її одержання (вид обробки різанням), необхідної шорсткості і необхідному квалітеті обробки. Крім того, для кожної поверхні вказується наявність вимог щодо точності форми та взаємного розташування (додаткові вимоги), а також (у примітках) її технологічність та не уніфікованість. Ці дані наведено у таблиці Д1.1

Таблиця Д1.1 – Конструктивні параметри деталі «Стакан»

Номер поверхні	Назва поверхні	Розмір, мм	Квалітет точності, JT	Шорсткість, Ra, мкм	Співвідношення JT до Ra	Уніфікація
1	Торець	130*	14	6,3	-	+
2	Фаска	1x45	14	6,3	-	+
3	Зовнішня циліндрична поверхня	130	6	0,8	+	-
5	Торець	190*	14	6,3	-	+
9	Торець	124*	14	6,3	-	+
4	Канавка (L=4)	4	14	6,3	-	+
6	Лиска	170	14	6,3	-	+
7	Торець	190*	14	3,2	-	+
8	Конічна поверхня	124	14	6,3	-	+
10	Внутрішня циліндрична поверхня	116	14	6,3	-	+
11	Торець	116	14	6,3	-	+
12,18	Внутрішня циліндрична поверхня	90	7	6,3	-	-
13,16	Канавки (L=3)	3	14	1,6	-	+
14,15	Торець	3**	14	6,3	-	+
17	Внутрішня циліндрична поверхня	85	14	6,3	-	+
19,20	Різьбовий отвір M12	M12	14	6,3	+	+
21,23, 25,27, 29	Наскрізний отвір	11	14	6,3	-	+
22,24 26,28, 30	Отвір з площиною	17	14	6,3	-	+
31	Фаска	2x45	14	6,3	-	+
32	Зовнішня циліндрична поверхня	190	14	6,3	-	+

* - вказано діаметр торця

** - забезпечено інструментом

Коефіцієнт K_k залежить від кількості поверхонь на вихідній заготовці, з яких видаляється стружка при виготовленні деталі. Комбіновані поверхні, утворені за один робочий хід одним інструментом, можуть бути враховані в якості однієї поверхні. У нашому випадку кількість поверхонь – 32, тоді

$$K_k = 1 - A_i = 1 - 0,2 = 0,8.$$

Коефіцієнт K_p враховує загальну кількість заданих на кресленні деталі вихідних даних щодо забезпечення необхідних параметрів точності форми і взаємного розташування поверхонь (відхилень від паралельності, відхилень від перпендикулярності, відхилень від площинності тощо) в межах 0,05 мм. У нашому випадку таких поверхонь не має, тоді

$$K_p = 1 - A_i = 1 - 0 = 1$$

Коефіцієнт K_b враховує кількість різних видів обробки різанням (технологічних операцій – таких, наприклад, як: точіння, свердління, шліфування, стругання, фрезерування та ін.), які застосовуються при виготовленні деталі. У нашому випадку кількість методів обробки поверхонь – 5, (тому що для обробки деталі необхідні: точіння, фрезерування, свердління, шліфування, розточування) і, відповідно, $A_b = 0,1$, тоді

$$K_b = 1 - A_i = 1 - 0,1 = 0,9.$$

Коефіцієнт K_c враховує відповідність розміру, точності і шорсткості поверхонь деталей, що обробляються за 10-м квалітетом і точніше, деяким оптимальним величинам, під якими маються на увазі рекомендовані в якості економічних і конструкційне обґрунтованих.

Величина A для коефіцієнта K_c визначається за формулою

$$A = 0,1 \sum_{j=1}^N m_j, \quad (1.4)$$

де N – загальна кількість поверхонь деталі, що обробляються різанням не нижче 10-го квалітету

m_j – кількість зон, на які параметр R_a для j -ої поверхні відстає від оптимального.

Кількість таких зон дорівнює 1 (отвір діаметром 130js6).

Тоді

$$A = 0,1(1) = 0,1$$

$$K_c = 1 - A_i = 1 - 0,1 = 0,9.$$

$$K_{ск} = 0,25(K_k + K_p + K_b + K_c) = 0,25(0,8 + 1 + 0,9 + 0,9) = 0,9$$

Показник точності та шорсткості поверхні деталі

Коефіцієнт точності та шорсткості поверхні деталі $K_{\text{пов}}$ визначається по табл. 5.7.

В якості значень $K_{\text{пов}}$ приймаємо найменше з отриманих для всіх поверхонь:

для поверхні діаметра 130js6 при $Ra=0,8$: $K_{\text{пов}}=0,65$. Оскільки $K_{\text{пов}}$ – потрапив в невиділену комірку, то дану поверхню слід рахувати як неуніфіковану для ф90H7 не вказана шорсткість, тому ставимо для цієї поверхні шорсткість (згідно з кресленням $Ra=6,3$). В табл. 1,8 нема такої шорсткості для 7-го квалітету, тому таку поверхню будемо вважати як нестандартну, і неуніфіковану;

Показник точності та шорсткості поверхні деталі приймаємо найменше з переглянутих:

$$K_{\text{пов}}=0,65.$$

Показник уніфікації конструктивних елементів

До уніфікованих елементів відносяться елементи, які виготовляються стандартним ріжучим інструментом і не вимагають застосування спеціального оснащення (оправок, планшайб, кондукторів і д.р.). Для деталі «Стакан» неуніфікованими є поверхні отвір діаметра 130js6, та два різьбових отвіра М12 (в деяких випадках цю поверхню потрібно вважати уніфікованою).

Розрахувати коефіцієнт уніфікованих поверхонь, які обробляються:

$$K_{\text{уп}} = \frac{P_{\text{оу}}}{P_0} = \frac{29}{32} = 0,91 \quad (1.18)$$

де $P_{\text{оу}}$ – кількість уніфікованих поверхонь, які обробляються;

P_0 – загальна кількість поверхонь, що обробляються.

Показник використання матеріалу

Показник використання матеріалу $K_{\text{вм}}$

$$K_{\text{вм}} = \frac{V_{\text{д}}}{V_3} \quad (1.6)$$

де V_3 і $V_{\text{д}}$ – обсяг заготовки та обробленої деталі (без покриття) відповідно.

Розраховуються за формулами стереометрії:

$$V_3 = 948459 \text{мм. куб};$$

$$V_д = 640851 \text{мм. куб};$$

$$K_{\text{вм}} = \frac{640851}{948459} = 0,67.$$

Тоді

Комплексний показник технологічності K_T розраховується за формулою 5.1.

Підставивши отримані вище дані, знаходимо

$$K_T = \frac{0,80 \times 0,8 + 0,9 \times 0,7 + 0,65 * 0,6 + 0,91 * 0,7 + 0,67 \times 1}{3,8} = 0,78.$$

Висновок.

На основі проведеного аналізу був розрахований комплексний показник технологічності, який склав $K_T=0,78$. Даний показник показав, що деталь технологічна, оскільки для даного типу деталей, цей показник повинен дорівнювати або бути більшим за 0,75.

ДОДАТОК 2

Приклад проектування варіанта маршруту обробки поверхонь деталі «Стакан».

Вимоги до якості і точності визначаються призначенням деталі і забезпечуються шляхом застосування різних методів обробки, які у свою чергу вибираються з урахуванням габаритних розмірів, характеру і точності заготовки, властивостей матеріалу, наявності устаткування та ін. При цьому, остаточній (чистовій) обробці передують один чи кілька попередніх методів обробки, у наслідок чого можливе одержання необхідних параметрів точності.

При побудові маршруту обробки поверхні виходять з міркувань, що кожна наступна операція повинна давати більшу, у порівнянні з попередньою, точність поверхні.

Опис та обґрунтування операцій технологічного процесу

Проектування технологічного процесу механічної обробки деталі починається з складання маршрутів обробки окремих поверхонь (МОП).

Дана деталь складається з окремих поверхонь (див. рис.Д1.1 Д1.2). Для формування різних варіантів обробки поверхонь використовуємо метод, який заснований на середньоекономічних наборах видів обробки (див. розділ 10) в залежності від форми, розмірів і характеристик оброблюваної поверхні. Маршрут обробки кожної зведено до таблиці Д.2.1. Вибір найбільш вигідного маршруту обробки поверхонь виконується на основі рекомендацій, викладених у розділі 10. Провівши аналіз запропонованих варіантів, обираємо найбільш економічні, згідно типу виробництва, виду заготовки, повторюваності використання обладнання та найменшого числа переходів для кожної поверхні, що обробляється (табл. Д.2.2)

Таблиця Д2.1 – Варіанти МОП деталі «Стакан»

Номер поверхні	Вид поверхні	Розмір, мм	Квалітет точності	Шорсткість, Ra, мкм	Можливі варіанти МОП	
					1	2
1	Торець	130*	14	6,3	1. Токарна чорнова	Фрезерувальна
2	Фаска	1x45	14	6,3	1. Токарна	-
3	Зовнішня циліндрична поверхня	130	6	0,8	1. Токарна чорнова 2. Токарна чистова 3. Шліфувальна чорнова 4. Шліфувальна чистова	1. Токарна чорнова 2. Токарна получистова 3. Токарна чистова 4. Токарна тонка
5	Торець	190*	14	6,3	1. Токарна	Фрезерувальна
9	Торець	124*	14	6,3	1. Токарна	Фрезерувальна
4	Канавка (L=4)	4	14	6,3	1. Токарна	-
6	Лиска	170	14	6,3	1. Фрезерувальна чорнова	-
7	Торець	190*	14	3,2	1. Токарна чорнова 2. Токарна чистова	Фрезерувальна
8	Конічна поверхня	124	14	6,3	1. Токарна чорнова	-
10	Внутрішня циліндрична	116	14	6,3	1. Розточна чорнова	Зенкерувальна-
11	Торець	116	14	6,3	1. Розточна чорнова	Цекувальна
12,18	Внутрішня циліндрична	90	7	6,3	1. Розточна чорнова 2. Розточна чистова 3. Розточна тонка	Зенкерування чорнове Зенкерування чистове Розгортання
13,16	Канавки (L=3)	3	14	1,6	1. Розточна чорнова 2. Розточна чистова	
14,15	Торець	3**	14	6,3	1. Розточна чорнова 2. Розточна чистова	
17	Внутрішня циліндрична	85	14	6,3	1. Розточна чорнова	Протяжна
19,20	Різьбовий отвір M12	M12	14	6,3	1. Свердлувальна 2. Різьбонарізна (нарізання різьби метчиком)	-
21,23,25,27,29	Наскрізний отвір	11	14	6,3	1. Свердлувальна	-
22,24,26,28,30	Отвір з уступом	17	14	6,3	1. Розточна чорнова	Цекувальна
31	Фаска	2x45	14	6,3	1. Токарна	-
32	Зовнішня циліндрична	190	14	6,3	1. Токарна	-

Чорнову обробку проходять всі поверхні. Поверхня 3 проходять чистовий етап на токарній операції, та остаточний на шліфувальних операціях для досягнення відповідної точності та шорсткості поверхні. Поверхні 12,18 проходить чорновий та чистовий етап, для досягнення заданої точності, потрібна закресленням шорсткість у даному випадку забезпечується автоматично.

Таблиця Д2.2 – Вибір варіанта.

Номер поверхні	1-21,23,25,27,29,31,30	22,24,26,28,30
Номер варіанта	1	2

Навчальне видання

ЯКОВЕНКО Ігор Едуардович
ПЕРМЯКОВ Олександр Анатолійович
ФЕСЕНКО Анатолій Володимирович

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ

Навчальний посібник
для студентів спеціальності
131 – Прикладна механіка
133- Галузеве машинобудування

Роботу до видання рекомендував проф. Степанов М.С.

В авторської редакції
Комп'ютерний набір і верстка

План 2022 р., поз. ____ / ____

Підп. до друку __.__.__. Формат _____. Папір друк. №2.
Друк ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. ____.
Обл.-вид. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам № _____. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ „ХПІ”.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2004 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.
