



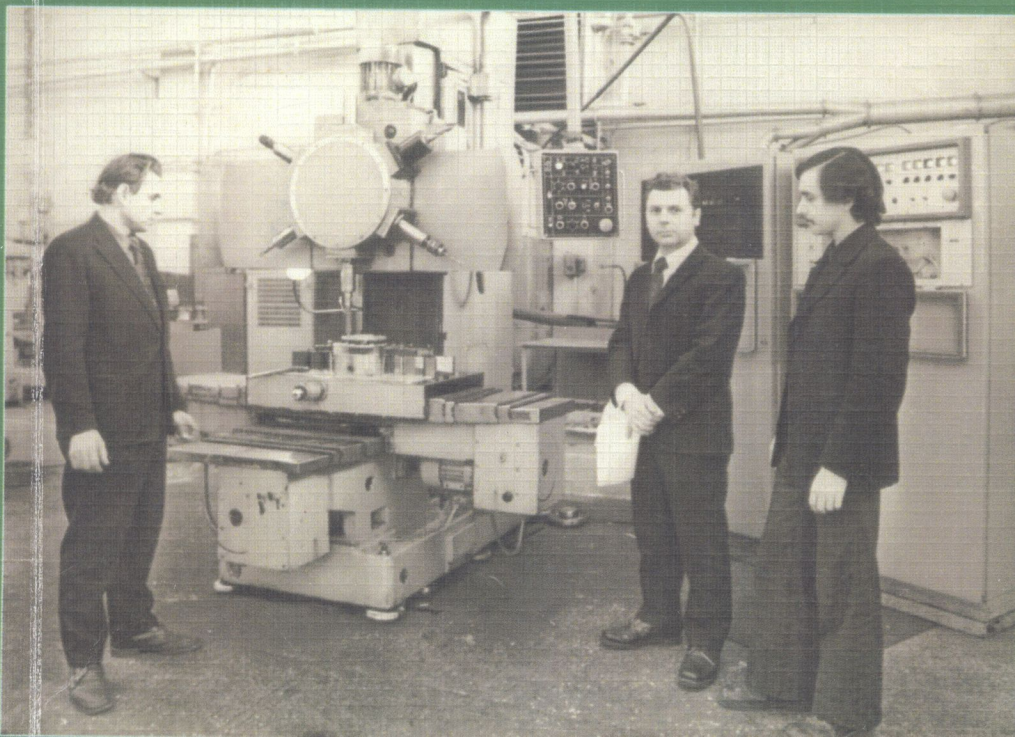
621.7(045.8)

3-38

О. У. Захаркін

# ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ

(основні способи обробки поверхонь  
та технологічні обробляючі системи для їх реалізації)



621.7 (075.8)  
3-38

**О. У. Захаркін**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ  
МАШИНОБУДУВАННЯ**  
(основні способи обробки поверхонь  
та технологічні обробляючі системи для їх реалізації)

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України



621.7(075.8) 3-38 2011

Захаркіна О.У. Технологічні основи машинобуду

Суми  
Сумський державний університет  
2011

УДК 621.7(075.8)

ББК 34.5я78

3-38

Рецензенти:

*В. І. Ступа* – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри технології машинобудування Чернігівського державного технологічного університету;

*С. М. Братан* – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування Севастопольського національного технічного університету;

*В. Б. Тарельник* – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Інженерна механіка» (лист № 1/11-8106 від 29.08.2011р.)*

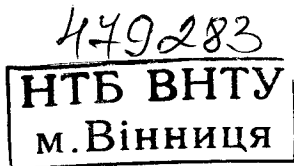
**Захаркін О. У.**

3-38 Технологічні основи машинобудування (основні способи обробки поверхонь та технологічні обробляючі системи для їх реалізації): навчальний посібник / О. У. Захаркін. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 137 с.

ISBN 978-966-657-404-9

Посібник призначений для підвищення якості та ефективності навчання студентів професійно-кваліфікаційного рівня "БАКАЛАВР" за напрямом підготовки 6.050502 "Інженерна механіка", що вивчають дисципліну "Технологічні основи машинобудування". У ньому поданий матеріал, що дає досить повне уявлення про сучасні способи обробки поверхонь заготовок, технологічні можливості верстатів та оснащення.

Посібник буде також корисним для інженерів-виробничників, які підвищують свою кваліфікацію у галузі технології виготовлення деталей машин і механізмів.



УДК 621.7(075.8)  
ББК 34.5я78

ISBN 978-966-657-404-9

© Захаркін О. У., 2011

© Сумський державний університет, 2011

## Зміст

		С.
	Вступ.....	5
Тема 1	Основні способи обробки поверхонь заготовок.....	6
1.1	Технологічна класифікація типових поверхонь деталей.....	6
1.2	Класифікація способів обробки поверхонь.....	11
1.3	Обробка різанням.....	11
1.3.1	Способи обробки площин .....	13
1.3.2	Способи обробки зовнішніх поверхонь обертання	26
1.3.3	Способи обробки внутрішніх поверхонь обертання (отворів) .....	35
1.3.4	Способи обробки різі, пазів, шліців .....	51
1.3.4.1	Способи обробки різі.....	51
1.3.4.2	Способи обробки пазів.....	62
1.3.4.3	Способи обробки шліців.....	65
1.3.5	Способи обробки зубчастих коліс .....	68
1.4	Поверхнєве пластичне деформування (ППД).....	75
1.5	Електрофізична та електрохімічна обробка (ЕФО, ЕХО).....	83
	Питання для самоперевірки.....	88
Тема 2	Технологічні обробляючі системи для реалізації технологічних процесів механічної обробки .....	89
2.1	Загальні відомості про технологічні обробляючі системи .....	89
2.2	Технологічні можливості обробляючої системи як об'єднання технологічних можливостей її елементів – верстат, інструмент, пристрій.....	90
2.3	Металорізальні верстати.....	92
2.3.1	Класифікація металорізальних верстатів.....	92
2.4	Металорізальні інструменти.....	99
2.4.1	Класифікація металорізальних інструментів.....	99
2.4.2	Сучасні інструментальні матеріали для металорізальних інструментів.....	105

2.4.3	Типова конструкція та геометрія різальної частини токарного прохідного різця.....	111
2.4.4	Основні параметри режимів різання та типові схеми їх визначення.....	116
2.5	Пристрої для обробки заготовок.....	122
2.5.1	Класифікація пристроїв .....	122
2.5.2	Встановлювальні елементи верстатних пристроїв	127
2.5.3	Затискні та силоутворюючі елементи пристроїв...	132
2.5.4	Основні принципи призначення пристроїв для виконання операції.....	133
	Питання для самоперевірки.....	134
	Список літератури.....	135

## Вступ

При проектуванні технологічних процесів технологу на певному етапі проектування необхідно визначити найбільш раціональні способи обробки окремих поверхонь, а також технологічні засоби для їх реалізації.

Чим більше інформації з цих питань є в арсеналі професійної підготовки технолога, тим якіснішим як з технологічної, так і економічної точки зору буде спроектований технологічний процес.

На сучасному етапі розвитку технології більшого прогресу зазнали не самі способи обробки, а технічні засоби для їх реалізації – інструментальні матеріали, конструкції різальних інструментів та металорізальних верстатів, системи їх керування (наприклад, системи ЧПК), що значно розширило традиційні технологічні можливості окремих типів обладнання.

Метою цієї роботи є надання перших відомостей про основні способи обробки типових поверхонь заготовок. Надати уявлення про межі їх раціонального використання. Познайти з класифікацією металорізальних верстатів, їх технологічними можливостями як сукупністю технологічних можливостей самого верстата, інструментів та пристроїв, що разом складають елементи технологічної обробляючої системи (Т-системи).

На сучасному етапі поняття Т-система замінила такі раніше використовувані терміни, як “система ВПД” (за російською аббревіатурою “СПИД” (верстат – пристрій – інструмент – деталь)), “ЗІПВ” – заготовка – інструмент – пристрій – верстат та ін. Попередні терміни порушували певні визначення технології, наприклад, на верстаті завжди наявна заготовка, а не деталь. Цей факт є підтвердженням, що технологія, як і кожна наука в процесі розвитку, вдосконалює також і свою термінологію.

Матеріал, поданий у цьому посібнику, може бути доцільним як студентам, так і технологам, що працюють на машинобудівних виробництвах різного типу власності.

## 1.1 Технологічна класифікація типових поверхонь деталей

У роботах [1,2] розглянута класифікація поверхонь деталей з точки зору їх службового призначення – виконавчі, базові (конструкторські основні та допоміжні, технологічні та вимірювальні бази), вільні поверхні.

Ця класифікація дуже необхідна для правильного призначення конструктором технічних вимог до цих поверхонь щодо точності, шорсткості, стану поверхневого шару та ін., що повинно забезпечити виконання виробом свого службового призначення.

Технолог використовує цю класифікацію для забезпечення виконання правила суміщення баз [1], що підвищує точність обробки.

У той самий час, при проектуванні технологічного процесу виникає багато питань, які потребують класифікації поверхонь з технологічної точки зору, – які способи обробки треба використати, яка послідовність обробки окремих поверхонь та ін.

З технологічної точки зору в загальному випадку всі поверхні деталі за схожістю способів обробки можна поділити на такі групи: основні та допоміжні (див. рисунок 1.1).

До основних поверхонь будемо відносити поверхні, які безпосередньо формують контур деталі та забезпечують виконання службового призначення. З точки зору конструкторської класифікації поверхонь [1] це і виконавчі, і базові, і вільні поверхні.

Допоміжними будемо вважати поверхні, що необхідні для виготовлення основних поверхонь, – різноманітні канавки для виходу інструментів, центрові отвори та ін. З точки зору конструкторської класифікації поверхонь [1] це в основному вільні поверхні. Як правило, допоміжні поверхні виготовляють за один або декілька робочих ходів фасонним інструментом, що має розміри стандартної допоміжної поверхні, наприклад,

канавки для виходу шліфувального круга. У технологічному процесі обробка допоміжних поверхонь у більшості випадків теж визначена – після проведення обдирання або чорнової обробки (за винятком підготовки чистових баз у вигляді центрових отворів).

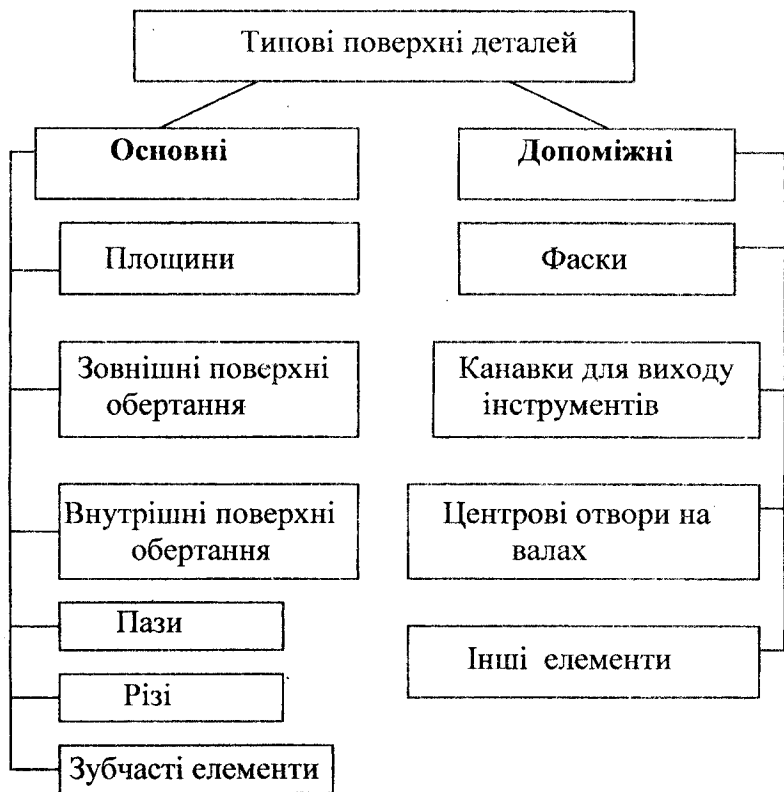


Рисунок 1.1 – Технологічна класифікація поверхонь за схожістю способів обробки

### Основні поверхні

**Площини.** Площини формують контури корпусних деталей, а також наявні у вигляді торцевих поверхонь деталей типу тіл обертання (вали, втулки, гільзи, шківни та ін.).



**Зовнішні поверхні обертання.** Ці поверхні формують зовнішній контур практично усіх деталей типу вал, втулка, гільза, кільце та ін.

**Внутрішні поверхні обертання** – отвори. Ці поверхні наявні як у деталей типу втулка, гільза, кільце, так і у корпусних виробів як поверхні під підшипники, втулки та ін. конструктивні елементи.

**Пази.** Конструктивні елементи у вигляді пазів шпонкових, шліцьових та ін. наявні у деталей майже усіх класів (корпусні, вали, втулки, зубчасті колеса та ін.).

**Різі.** Різі – елементи для створення сил затиску при скріпленні виробів або як елементи для забезпечення відносного переміщення окремих частин виробу, як правило, виконують функції основних або допоміжних конструкторських баз.

Різі можуть мати місце у конструкції деталей практично усіх типів.

**Зубчасті елементи.** Ці елементи для передавання крутних моментів наявні у деталей певного класу призначення.

## **Допоміжні поверхні**

**Фаски** – конструктивні елементи, що з'єднують між собою основні елементи (площини, циліндри і площини тощо) з метою спрощення складання, правильного заходження мітчиків та плашок при нарізанні різі, запобігання пораненням гострою кромкою робітників тощо.

**Канавки для виходу різальних інструментів**, наприклад, при шліфуванні циліндричної поверхні (див. рисунок 1.2), нарізанні різі та ін., як правило, мають стандартизовані розміри відповідно до розмірів основних поверхонь (діаметра, кроку різі тощо).

**Центрові отвори на валах** виконують функції чистових технологічних баз. Їх форму (А, В, ...) визначає конструктор, а розміри є функцією розміру шийки вала, на якій виконується центровий отвір (див. рисунок 1.3).

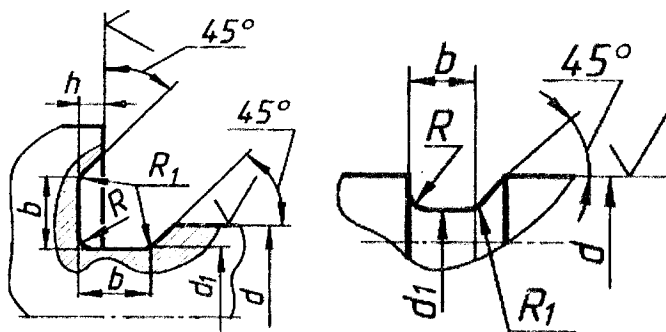


Рисунок 1.2 – Канавки для виходу шліфувального круга та їх основні геометричні параметри (ГОСТ 8820-69)

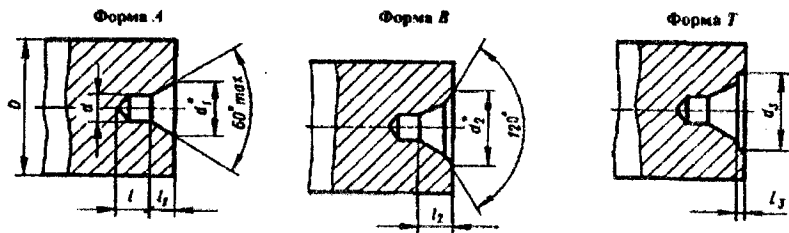


Рисунок 1.3 – Центрові отвори різних форм та їх основні геометричні параметри (ГОСТ 14034-74)

Розглянута множина основних та додаткових поверхонь не є повною і може бути доповнена в умовах конкретного виробництва, але дозволяє сформувавши контури досить великої кількості деталей.

При визначенні порядку обробки поверхонь, а також послідовності виконання операцій технологічного процесу можна використовувати також класифікацію поверхонь за рангами [3].

До першого (1-го) рангу належать поверхні, які безпосередньо формують контур деталі. Якщо ці поверхні наявні вже у вихідній заготовці, то у деяких випадках вони можуть не оброблятися, тобто залишатися у стані вихідної заготовки.

Як правило, це основні поверхні – площини, зовнішні та внутрішні поверхні обертання. Для прикладу (див. рисунок 1.4) це поверхні 1, 3, 7 (припустимо, що вихідною заготовкою є круглий прокат).

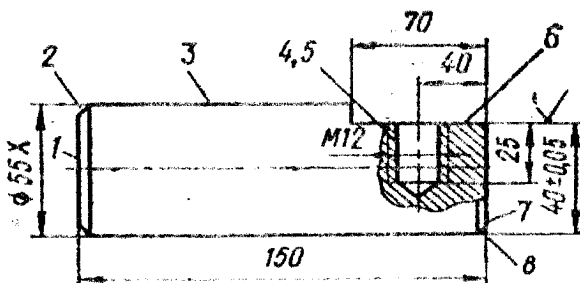


Рисунок 1.4 – Класифікація поверхонь деталі за рангами

До другого (2-го) рангу належать поверхні, які утворюються при видаленні матеріалу з поверхонь 1-го рангу (поверхні 2,6,8), 3-го рангу - при видаленні матеріалу з поверхонь 2-го рангу (поверхня 4 - отвір під різь), а сама різь 5 буде поверхнею 4-го рангу.

За цією класифікацією в технологічному процесі треба спочатку запланувати обробку зовнішньої циліндричної поверхні, фасок, потім уступу, а потім свердлення отвору під різь і нарізання самої різі.

Крім розглянутої класифікації поверхонь, у деяких випадках може бути доцільною їх класифікація з точки зору формоутворення [3]. При цьому беруть до уваги вигляд твірної та закон її переміщення у просторі – форма напрямної.

Наприклад, площина - це переміщення твірної у вигляді прямої по напрямній у вигляді теж прямої.

Циліндричні поверхні є результатом обертання прямої чи кривої твірної стосовно напрямної у вигляді кола, що має певний радіус стосовно нерухомої осі (циліндри, конуси, фасонні поверхні обертання) і так далі.

У наведеній вище роботі виділені п'ять класів таких поверхонь (площини, поверхні обертання, гвинтові, зубчасті та шліфувальні часті поверхні).

## 1.2 Класифікація способів обробки поверхонь

Для перетворення поверхонь із стану вихідної заготовки у стан, заданий конструкторським кресленням, в арсеналі технолога є досить велика кількість способів їх обробки, для реалізації яких необхідні певні конфігурації Т-систем.

Найбільш поширені способи наведені на рисунку 1.5.

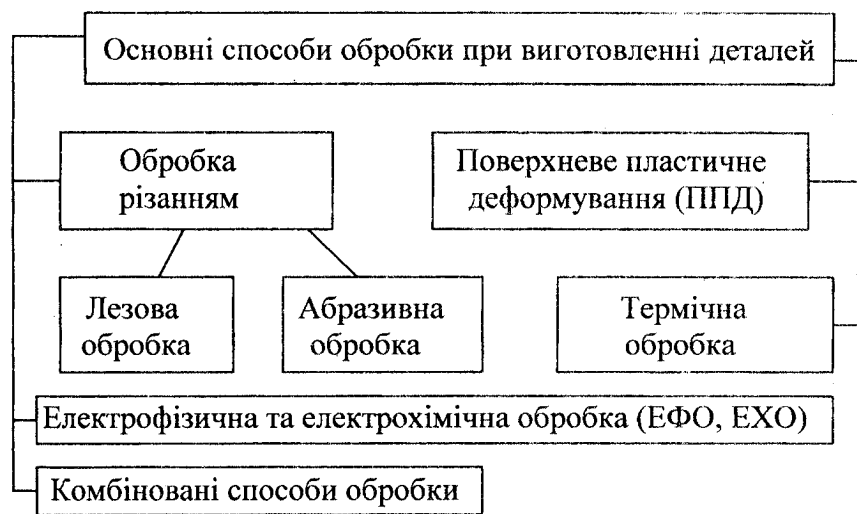


Рисунок 1.5 – Основні способи обробки заготовок

## 1.3 Обробка різанням

Ця обробка займає понад 90% трудомісткості виготовлення більшості деталей. Для забезпечення її реалізації існує цілий ряд різноманітних металорізальних верстатів, різних за розмірами, продуктивністю, ступенем автоматизації, які забезпечують

реалізацію способів механічної обробки практично в усіх типах виробництва.

Обробка різанням включає дві множини способів її реалізації: лезову та абразивну обробки.

**Лезова обробка** передбачає обробку поверхонь заготовки одно - та багатолезовими інструментами – різцями, свердлами, фрезами, розвертками, протяжками та ін.

**Абразивна обробка** - це обробка поверхонь інструментами, виготовленими з природних або штучних абразивних матеріалів, – абразивними кругами, сегментами, брусками, стрічками та вільними абразивами у вигляді порошків, паст тощо.

Усі способи обробки різанням поділяють, у свою чергу, за точністю та шорсткістю обробленої поверхні на чорнові, напівчистові, чистові, оздоблювальні, що характеризується показниками їх економічної точності.

У той самий час ці показники для лезової і абразивної обробки суттєво відрізняються.

Наприклад, чорнова лезова обробка точінням, фрезеруванням, струганням та ін. забезпечує економічну точність у межах 13-14 –го квалітетів при шорсткості поверхні Ra (12,5-3,2), а чорнова абразивна обробка шліфуванням - 8-9-й квалітети при шорсткості поверхні Ra (1,6-0,4) [4].

Економічна точність та забезпечувані при цьому параметри шорсткості для деяких способів обробки будуть розглянуті нижче, а також наведені в багатьох підручниках та довідниках, наприклад [4,5,6].

Враховуючи можливості окремих способів обробки, технолог при проектуванні технологічного процесу для кожної і-ї поверхні деталі формує маршрут її обробки (МОПі).

МОПі - це сукупність способів обробки, що дозволяють перевести поверхню із стану вихідної заготовки у стан, заданий кресленням.

Чим жорсткіші вимоги до поверхні, тим більше способів її обробки треба включити у МОПі.

Ця інформація є вихідною разом з іншою, необхідною для формування маршруту обробки заготовки в цілому.

### 1.3.1 Способи обробки площин

Площини, як було розглянуто вище, мають місце у конструкції практично усіх типів деталей. Для їх обробки за певною необхідністю можуть бути використані усі наведені на рисунку 1.5 способи обробки поверхонь.

Найбільш поширені способи обробки різанням наведені на рисунку 1.6.

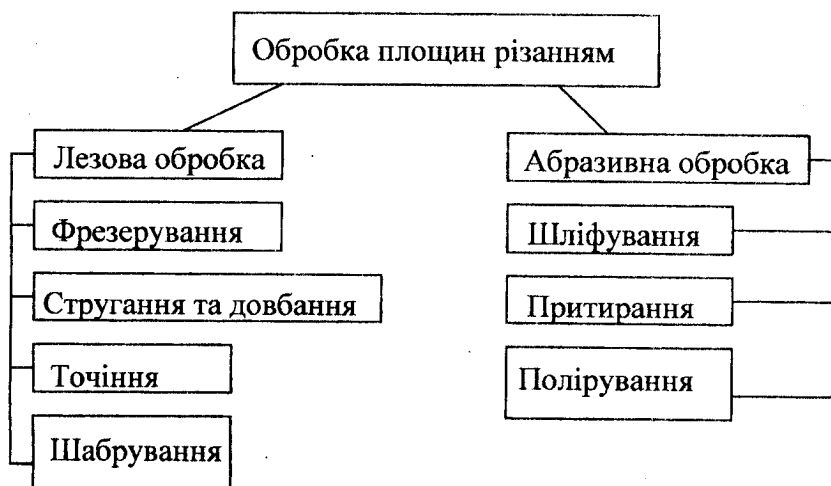


Рисунок 1.6 - Основні способи обробки площин різанням

#### Фрезерування

Фрезерування виконується за допомогою багатолезових інструментів – фрез, конструкція яких (див. рисунок 1.7) забезпечує обробку площин як у горизонтальному, так і у вертикальному положеннях під кутом до площини стола верстата, а також обробку фасонних елементів.

Фрезерування виконують на вертикально - та горизонтально - фрезерних, горизонтально-розточувальних, фрезерно-свердлильно-розточувальних, а також карусельно - та барабанно-фрезерних верстатах.

При фрезеруванні необхідно забезпечити обертальний рух фрези (головний рух – швидкість різання  $V$ ), що вимірюють у м/хв і визначають за формулою

$$V = \pi D_{\text{фр}} n / 1000,$$

де  $D_{\text{фр}}$  - діаметр фрези, мм;  $n$  - частота обертання фрези, об/хв, а також відносний поступальний рух заготовки і фрези – подачу  $S$ , яка при фрезеруванні може мати такі різновидності:

- подача на зуб  $S_z$ , мм/зуб;
- подача на оберт  $S_{\text{об}} = S_z z$ , мм/об ( $z$  – кількість зубців фрези);
- хвилину подачу  $S_{\text{хв}} = S_{\text{об}} n$ , мм/хв.

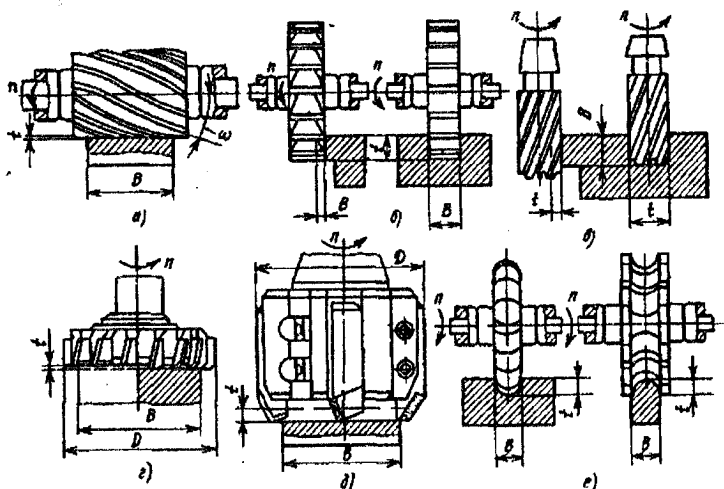


Рисунок 1.7 – Типові схеми фрезерування площин:  
 а) циліндрична фреза; б) тристороння дискова фреза;  
 в) кінцева фреза; г), д) торцева фреза; е) фасонна фреза

Залежно від конструкції різальної частини фрези, її матеріалу, а також режимів обробки фрезерування забезпечує точність у межах 8–14-го квалітетів при шорсткості поверхні у межах  $Ra$  (12,5–0,8) мкм.

Фрезерування є високопродуктивним способом обробки і використовується практично в усіх типах виробництва.

## Стругання та довбання

Стругання - це спосіб обробки поверхонь одним або декількома різцями шляхом взаємного прямолінійного зворотно-поступального переміщення заготовки та інструмента у горизонтальній площині.

Стругання виконують на поздовжньо - та поперечно - стругальних верстатах. На поздовжньо-стругальних верстатах швидкість різання  $V$  забезпечує рух стола із встановленою на ньому заготовкою, а на поперечно-стругальних - рух різця.

Довбання - це також спосіб обробки поверхонь шляхом взаємного прямолінійного зворотно-поступального переміщення заготовки та інструмента, але у вертикальній площині. При довбанні швидкість різання  $V$  забезпечує рух інструмента - різця.

Деякі технологічні можливості стругання та довбання показані на рисунку 1.8.

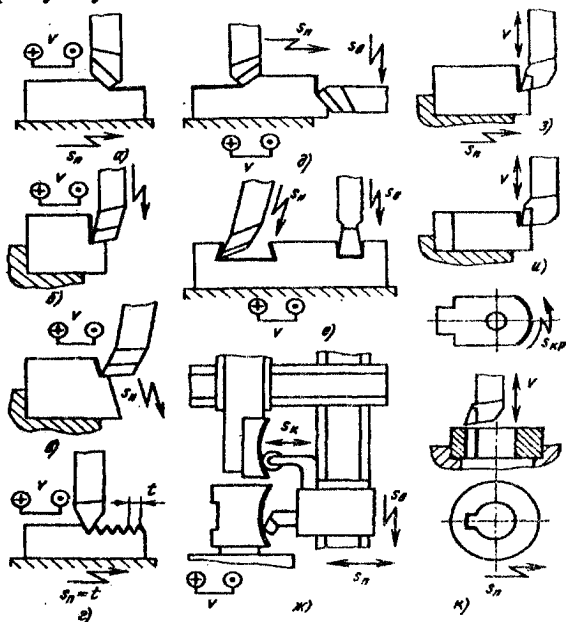


Рисунок 1.8 – Технологічні можливості стругання (а-ж) та довбання (з-к)



На стругальних верстатах обробляють площини, як паралельні столу верстата, так і перпендикулярні, а також під кутом до нього (рис. 1.8 а-в).

Цей спосіб обробки використовують при обробці рифлень (рис.1.8 г), пазів (рис.1.8 е), фасонних поверхонь (рис. 1.8 ж). Стругання може проводитися з використанням одночасно декількох різців (рис.1.8 д).

Довбання дозволяє обробляти як плоскі площини (рис.1.8 з) так і фасонні (рис.1.8 и), а також пази в отворах (рис.1.8 к).

Довбання є єдиним способом виготовлення таких поверхонь, як шпонковий паз у закритих (не наскрізних) отворах.

При струганні та довбанні обробка виконується під час руху різця в одному напрямку (робочий хід V). Зворотний хід V<sub>зв</sub> для підвищення продуктивності обробки виконується зі швидкістю в 2-3 рази більшою, ніж робочий хід. Крім цього, необхідно забезпечити поперечну подачу S<sub>п</sub>, яка виконується після повернення інструменту у вихідне положення, тобто 1 раз за подвійний хід (S<sub>п</sub> мм/подв.хід).

Швидкість різання V вимірюється у м/хв і становить у межах 6-20 м/хв залежно від матеріалу різальної частини інструменту та етапу обробки (чорновий, чистовий та ін.). На обмеження швидкості різання також впливають значні динамічні навантаження, що виникають при реверсуванні значних мас заготовки та стола.

Стругання та довбання можуть забезпечувати точність обробки до 8-9-го квалітетів при шорсткості поверхні за параметром Ra (2,5-0,63) мкм [ 2 ].

За своєю продуктивністю стругання та довбання поступаються фрезеруванню. Ці методи використовуються у верстатобудуванні, у важкому машинобудуванні, при виготовленні великих, важких станин, корпусів, рам та ін. деталей. Також ці способи використовуються у ремонтних, інструментальних цехах, а також в одиничному та дослідному виробництвах.

## Точіння

Точіння площин виконують на верстатах токарної групи. На них обробляють торцеві поверхні деталей типу вал, диск, шків та ін. тіла обертання, а також корпусів редукторів, насосів та інших деталей.

На рисунку 1.9 показані дві типові схеми обробки площин точінням.

Процес точіння виконується при обертанні заготовки (головний рух – швидкість різання  $V$ , яка вимірюється у м/хв) та подачі  $S$  інструмента у мм/об заготовки.

Залежно від конструкції верстата заготовка може обертатися навколо горизонтальної (рис 1.9а) або вертикальної (наприклад, на токарно-карусельних верстатах) осі шпинделя (рис.1.9б).

Особливістю точіння поверхонь є зміна швидкості різання під час переміщення різця стосовно осі шпинделя.

При точінні з напрямком подачі  $S$  від периферії до центра вона зменшується, а навпаки – збільшується.

Оскільки швидкість різання впливає на шорсткість поверхні, це треба враховувати на чистових етапах обробки. При використанні обладнання з ЧПК цей недолік можна компенсувати шляхом програмування підтримування постійної швидкості різання за рахунок зміни частоти обертання заготовки.

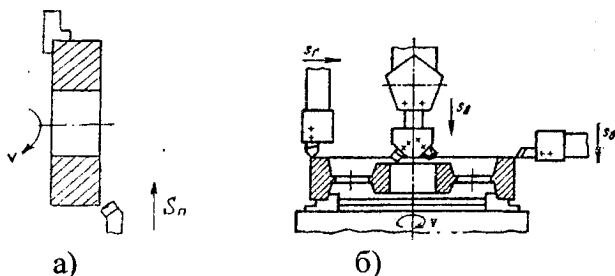


Рисунок 1.9 – Типові схеми точіння площин

Процес точіння площин (підрізання торців) забезпечує точність 9-10-го квалітетів при шорсткості  $Ra$  (6,3-1,25) мкм [5].

## Шабрування

Шабрування - це процес чистової обробки, який може бути використаний як до площин, так і для поверхонь іншої форми.

Шабрування виконують однолезовим інструментом – шабером. На рисунку 1.10 показані деякі види шаберів. На рисунку 1.11 подана схема робочого руху при шабруванні [9]. За кожним рухом з поверхні зіскрібають невеликі стружки. У більшості випадків використання шабрування є досить трудомісткою ручною працею.

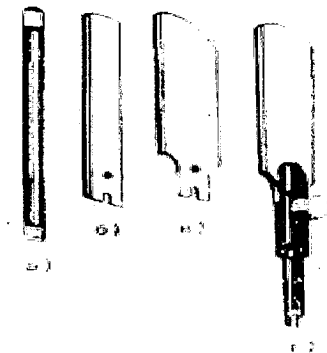


Рисунок 1.10 – Шабери:

- а) напівкруглий; б) плоский; в) плоский з радіусним загостренням; г) шабер з ручкою

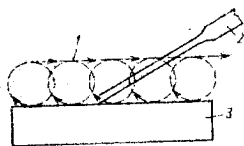


Рисунок 1.11 – Рух шабера при обробці поверхні:

- 1- траєкторія руху інструмента; 2 – інструмент; 3 - заготовка

Метою шабрування є підвищення точності форми, розміру, взаємного розташування попередньо обробленої іншими способами поверхні. Для підвищення продуктивності праці іноді

шабрування виконують за допомогою механізованих пристроїв, які забезпечують створення зворотно-поступального руху шабера.

Найчастіше шабрування використовують як спосіб чистової обробки напрямних станин верстатів (або при їх ремонті), а також контактуючих з ними поверхонь кареток, столів та ін. Наприклад, відхилення від площинності поверхні напрямних після шабрування не перевищує 20-50 мкм на 1000 мм її довжини [9].

Контроль якості шабрування виконують шляхом підрахування кількості плям (точок), що знаходяться у квадраті поверхні з розмірами 25x25 мм. Для цього використовують перевірочні плити або лінійки, на які нанесена спеціальна фарба. Після контакту з поверхнею, що підлягає обробці, на останній залишаються сліди від фарби. Ці плями і видаляють шабером, після чого проводять подальший контроль площинності.

Деякі параметри процесу шабрування наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри процесу шабрування [9]

Вид шабрування	Кількість контактних плям у квадраті 25x25 мм, шт.	(Кількість робочих ходів, шт./шар матеріалу, що знімають за кожний хід, мкм	Область використання
Чорнове	3-4	(6-8) / 20-40	Поверхні фланцевих з'єднань
Чистове	6-8	(10-12)/5-10	Точні поверхні виробів
Тонке	10-12	(14-18)/5-10	Напрямні станин
Оздоблювальне	20-24	(20-24)/3-10	Дуже точні напрямні, перевірочні плити та лінійки

## Шліфування

Шліфування площин здійснюють на плоскошліфувальних верстатах із прямокутним або круглим столом. Шліфування здійснюють як периферією, так і торцем круга.

Типові схеми шліфування площин показані на рисунку 1.12.

При шліфуванні швидкість різання забезпечується шліфувальним кругом і на відміну від лезової обробки вимірюється у м/с.

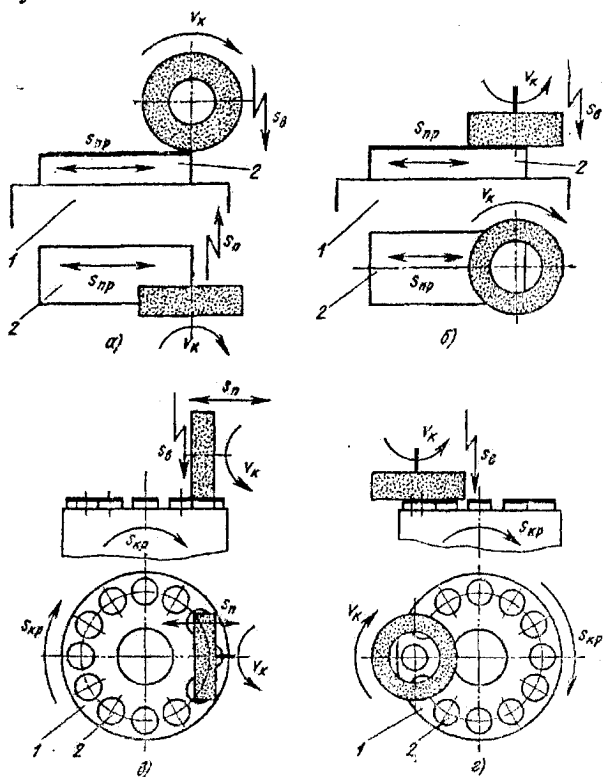


Рисунок 1.12 – Схеми шліфування площин:

- шліфування на прямокутному столі периферією круга;
- шліфування на прямокутному столі торцем круга;
- шліфування на круглому столі периферією круга;
- шліфування на круглому столі торцем круга

На верстатах із круглим столом стіл обертається безперервно, а заготовки встановлюють і знімають після обробки під час проходження у певному секторі площини обертання.

Такі верстати дуже продуктивні і використовуються при значних обсягах випуску виробів.

При шліфуванні периферією круга на верстатах із прямокутним столом (див. рис.1.12а) стіл рухається зворотно-поступально з поздовжньою подачею  $S_{пр}=(20-60 \text{ м/хв})$ . Якщо ширина обробки більша за ширину круга, то треба забезпечити поперечну подачу  $S_{п}$ . Поперечна подача здійснюється на один подвійний хід стола. Вона вимірюється у частках ширини круга  $B$ .

$$S_{п} = (0,2-0,7) B \text{ мм.}$$

Після завершення шліфування всієї ширини поверхні здійснюють вертикальну подачу  $S_{в}$ , яка забезпечує глибину різання.

При шліфуванні торцем круга (див. рисунок 1.12б) використовують круги діаметром, більшим, ніж ширина заготовки. У цьому випадку потреба у поперечній подачі відпадає, а продуктивність роботи зростає.

Вертикальна подача залежить від виду шліфування (чорнове, напівчистове або інше) і знаходиться у межах  $0,015-0,04 \text{ мм}$ .

Зворотно-поступальне переміщення стола забезпечує гідравлічна система верстата, яка здійснює автоматичне реверсування стола за допомогою встановлених на ньому кулачків, що переключують золотник керування напрямком руху.

На верстатах із круглим столом кругова подача забезпечується частотою обертання самого стола. Залежно від умов обробки її зазначають у діапазоні  $S_{кр} = 20/60 \text{ м/хв}$  [6].

Поперечна подача на таких верстатах знаходиться у межах

$$S_{п} = (0,2-0,6) B \text{ мм.}$$

Шліфування площин забезпечує 6-7-й квалітети точності розмірів при шорсткості поверхні  $Ra (0,63-0,16) \text{ мкм}$  [7].

Плоскошліфувальні верстати обладнані магнітними плитами (на постійних магнітах або електромагнітах), що дозволяє досить просто закріплювати заготовки. Якщо матеріал заготовки не магнітний, то для їх закріплення використовують різноманітні пристрої.

При шліфуванні виділяється велика кількість тепла, тому обов'язково треба використовувати мастильно-охолоджувальні технологічні рідини (МОТР).

## Притирання

Притирання – процес оздоблювальної обробки, який забезпечує дуже високу точність (4-5-й квалітети) та мінімальну шорсткість поверхні  $Ra$  (0,01-0,04) мкм [7].

Процес притирання може бути ручним і механізованим. Він полягає у тому, що заготовка переміщується по поверхні різального інструмента із невеликим тиском на нього, що забезпечує процес різання (див. рисунок 1.13).

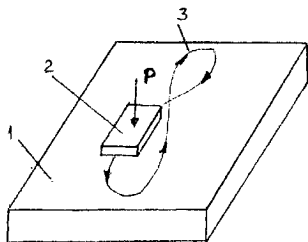


Рисунок 1.13 – Схема притирання плоскої поверхні:

1- притиральна плита; 2 – заготовка; 3- траєкторія руху заготовки

Різальним інструментом для притирання є притир. Притири для площин – притиральні плити - можуть бути як прямокутної, так і круглої форми.

Прямокутні притири використовують здебільшого при ручному притиранні, а круглі - при притиранні механізованим способом на спеціальних верстатах.

Притири виготовляють із сірого чавуну, бронзи, міді, скла тощо. Перед використанням притир шаржують, тобто наносять на його поверхню притиральну пасту, що перетворює його у різальний інструмент.

До складу притиральної пасти, окрім абразивного порошку, входять олеїнова кислота, стеарин, вазелін тощо. Розмір зерна абразивного порошку безпосередньо впливає на якість обробленої поверхні.

Ручне притирання використовують в інструментальних цехах, в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва, а механізоване - при великій кількості виробів.

## Полірування

Полірування – оздоблювальна обробка, метою якої є зменшення шорсткості поверхні як у декоративних, так і в експлуатаційних цілях для підвищення її зносостійкості.

Полірування здійснюють за допомогою абразивних матеріалів дуже дрібних фракцій. Це можуть бути як природні матеріали – крокус, крейда, тальк та ін., так і штучні абразиви. Їх наносять на полірувальні круги (див. рисунок 1.14) та стрічки, включають до складу полірувальних паст, суспензій, а також використовують у вигляді вільних абразивів.

Полірувальні круги виготовляють із фетру, повсти, гуми тощо. На їх периферію наносять абразивну пасту або порошок, який закріплюють за допомогою клею.

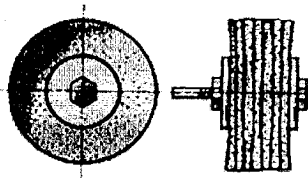


Рисунок 1.14 – Полірувальний круг з платівок повсти

Залежно від типу виробництва, розмірів та форми виробів процес полірування здійснюють як вручну, так і на спеціальних



полірувальних верстатах різного ступеня автоматизації, а також у барабанах, вібраційних та відцентрових установках тощо [7].

Полірування кругами (див. рисунок 1.15 а) найпоширеніший вид полірування.

Він полягає у тому, що заготовка під час обробки притискається з певним тиском до полірувального круга, що швидко обертається. Як правило, полірування площин кругами забезпечує лише зниження шорсткості поверхні, а параметри її точності можуть навіть погіршитися.

Круги встановлюють як на універсальних верстатах для загострювання інструмента, так і на спеціальних полірувальних верстатах.

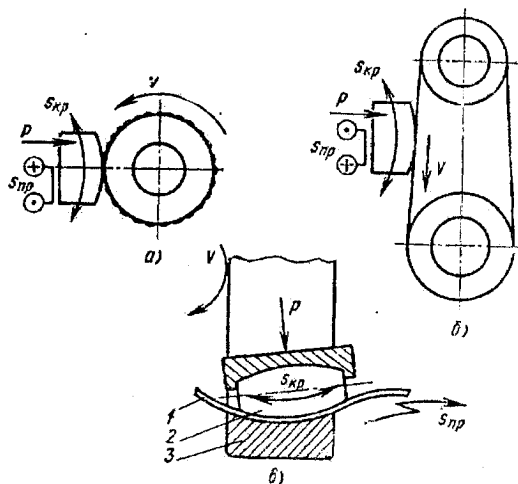


Рисунок 1.15 – Полірування кругами та стрічками

Полірування абразивними стрічками (див. рисунок 1.15 б) є більш продуктивним способом. Він дозволяє проводити полірування фасонних поверхонь (див. рисунок 1.15 в). Ширина стрічок може досягати 700 мм.

Полірування стрічками виконують на полірувальних верстатах. Цей спосіб полірування на відміну від попереднього може забезпечувати також і точність обробки.

Швидкість різання при поліруванні кругом або стрічкою до 40–50 м/с забезпечується обертанням круга або швидкістю стрічки. Заготовку притискають до круга або стрічки із тиском 0,035–0,075 мПа. При збільшенні тиску продуктивність процесу збільшується, але збільшується також температура в зоні полірування, що приводить до появи “припикання” поверхні – зміни її кольору та механічних властивостей.

Полірування дозволяє зменшити шорсткість поверхні до рівня Ra (0,01–0,04) мкм.

Полірування у барабанах (див. рисунок 1.16) полягає у тому, що заготовки разом з абразивним матеріалом завантажують у барабан, якому надають обертального руху, або вібрації, що викликає відносне переміщення заготовок і абразиву. Таким способом можна полірувати площини заготовок порівняно невеликих розмірів досить складних форм.

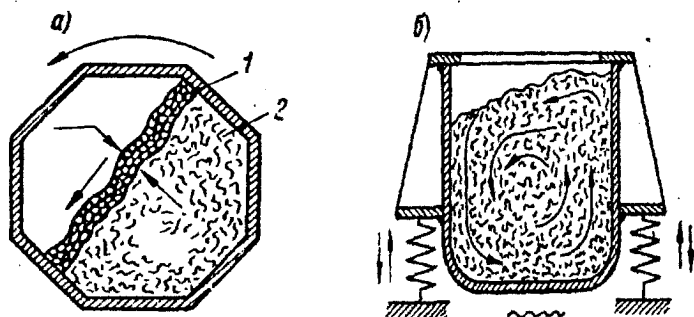


Рисунок 1.16 – Полірування у барабанах:  
а) барабан, що обертається; б) барабан, що вібрає

Полірування у барабанах не передбачає досягнення розмірної точності або точності форми поверхні.

У той самий час цей спосіб дозволяє здійснювати полірування заготовок різних конфігурацій одночасно, що робить його доцільним навіть для умов дрібносерійного виробництва.

### 1.3.2 Способи обробки зовнішніх поверхонь обертання

Ці поверхні формують зовнішній контур практично усіх деталей типу вал, втулка, гільза, кільце та ін.

Зовнішні поверхні обертання можуть бути циліндричними, конічними, фасонними за різними співвідношеннями діаметра  $D$  до довжини  $L$ .

При співвідношенні  $L/D > 12$  виріб вважається недостатньо жорстким і потребує під час обробки використання додаткової підтримуючої опори у вигляді лонета.

Найбільш поширені способи обробки цих поверхонь різанням показані на рисунку 1.17.



Рисунок 1.17 – Способи обробки зовнішніх поверхонь обертання

Обробка зовнішніх поверхонь обертання здійснюється на верстатах токарної групи – токарно-гвинторізних, токарно-карусельних (у тому числі з ЧПК), токарно-револьверних, токарних напівавтоматах та автоматах з різною кількістю шпинделів, на багаторізцевих та гідрокопіювальних верстатах, а також на шліфувальних, полірувальних та ін. верстатах. Усі ці верстати мають свої межі економічної доцільності використання у різних типах виробництва.

Заготовки під час обробки встановлюють у центрах різної конструкції або консольно у патронах, на оправках, планшайбах тощо. Як різальні інструменти використовують різці цільні, напаяні, а також з механічним кріпленням багатогранних різальних пластинок.

## Точіння

Точіння виконують на верстатах токарної групи. Різальним інструментом при точінні є однолезові інструменти – різці.

Деякі види різців та поверхні, що вони обробляють, показані на рисунку 1.18 (стрілка показує напрям руху різця).

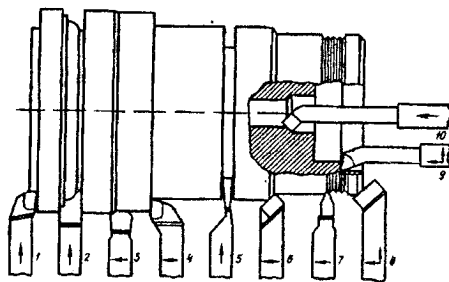


Рисунок 1.18 – Деякі види токарних різців:

- 1,4 - упорно-прохідний (лівий та правий); 2 – фасонний; 3 – широкий – брижочий; 5 – канавковий (відрізний); 6 – прохідний правий прямий; 7 – різець для нарізання різі; 8 – прохідний правий відігнутий; 9,10 - різці для обробки отворів

При точінні незалежно від типу верстата головний рух – швидкість різання  $V$ , м/хв, - забезпечується обертанням заготовки.

$$V = \pi D_{\text{заг}} n / 1000,$$

де  $D_{\text{заг}}$  - діаметр заготовки, мм;  $n$  - частота обертання заготовки, об/хв.

Швидкість різання при точінні залежить від етапу обробки, матеріалу заготовки та різальної частини інструмента і в середньому становить 50-250 м/хв.

Подача при точінні здійснюється переміщенням інструмента уздовж осі заготовки, перпендикулярно до неї, під кутом або по складній кривій при обробці фасонних поверхонь і вимірюється у міліметрах на один її оберт  $S$ , мм/об.

Типові схеми точіння поверхонь показані на рисунку 1.19.

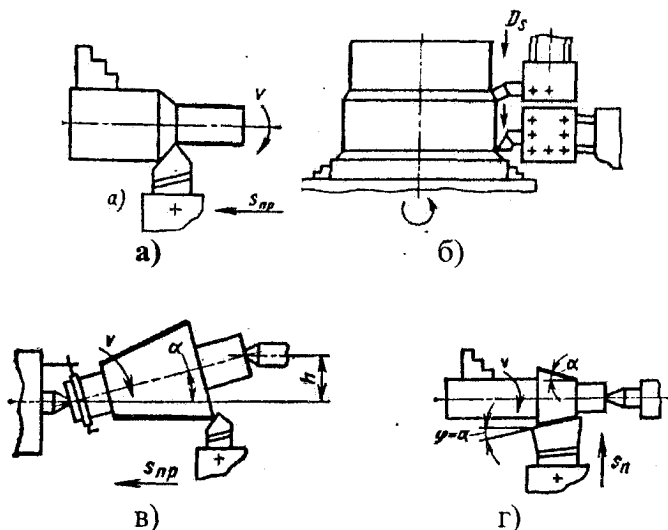


Рисунок 1.19 – Типові схеми точіння:

- а) на верстатах із горизонтальною віссю обертання заготовки; б) на токарно-карусельних верстатах; в) точіння конусної поверхні зі зміщенням задньої бабки; г) точіння конусної поверхні широким різцем

Точіння забезпечує досягнення точності від 12-14-го квалітетів з шорсткістю поверхні  $Ra$  (25-6,3) мкм при чорновій обробці до 8-9-го квалітетів при чистовому точінні із шорсткістю  $Ra$  0,4 мкм [4].

## Фрезерування

Фрезерування зовнішніх циліндричних поверхонь є продуктивним способом обробки. Його використовують для обробки шийок східчастих та колінчастих валів, гальмівних колодок тощо і виконують дисковими, торцевими або кінцевими фрезами на верстатах фрезерної групи. Заготовка за допомогою додаткових пристроїв обертається навколо своєї осі зі швидкістю 10-20 м/хв (обертальна подача), в той час як швидкість різання  $V$ , м/хв, забезпечує швидкість обертання фрези. Ширина дискової фрези дорівнює ширині поверхні, що обробляють (див. рисунок 1.20а).

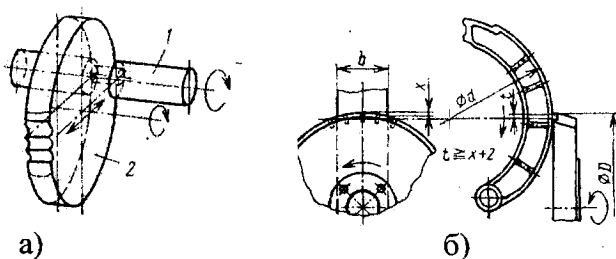


Рисунок 1.20 – Схеми фрезерування циліндричної поверхні:

а) шийки вала дисковою фрезою; б) гальмівної колодки торцевою фрезою

Спосіб забезпечує точність обробки 9-10-го квалітетів при шорсткості поверхні  $Ra$  (5-8) мкм [4].

## Протягування

Цей спосіб обробки використовують у великосерійному та масовому виробництвах на спеціальних верстатах в основному при обробці шийок колінчастих валів.

Заготовка при обробці повільно обертається зі швидкістю обертальної подачі  $S_{кр}$ , а протяжка прямолінійно переміщується зворотньо-поступально (див. рисунок 1.21). Ширина протяжки дорівнює ширині поверхні.

Протягування забезпечує точність обробки 7-8-го квалітетів при шорсткості поверхні  $Ra(6,3-0,2)$  мкм [4].

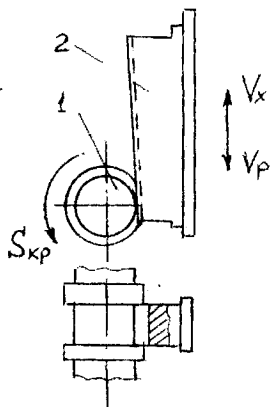


Рисунок 1.21 – Схема протягування циліндричної поверхні

### Шліфування

При шліфуванні зовнішніх циліндричних поверхонь використовують дві основні схеми – шліфування з поздовжньою подачею (див. рисунок 1.22а) та з поперечною подачею (врізне шліфування) (див. рисунок 1.22б).

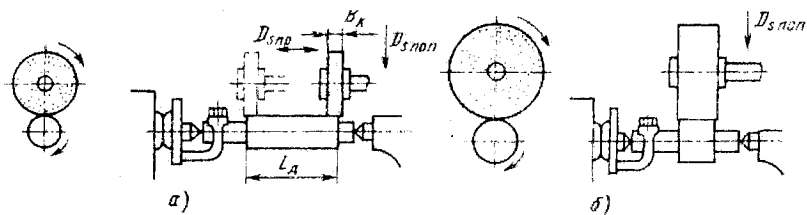


Рисунок 1.22 – Схеми шліфування зовнішніх циліндричних поверхонь

Шліфування виконують на круглошліфувальних верстатах.

Швидкість різання  $V=35-60$  м/с забезпечується за рахунок обертання шліфувального круга. Заготовку в більшості випадків встановлюють у жорстких центрах та забезпечують її обертання зі швидкістю 10-20 м/хв.

При шліфуванні з поздовжньою подачею стіл переміщується стосовно круга з подачею  $D_{спр}$ , що визначається у частках ширини шліфувального круга на один оберт заготовки:

$$D_{спр} = K \times V_{кр},$$

де  $K$  – кількість частинок ширини круга ( $K= 0,2-0,7$ );

$V_{кр}$  – ширина круга, мм.

Після проходу круга по всій довжині поверхні  $L_d$  здійснюють поперечну подачу  $D_{споп}$ , яка і є глибиною різання. Після цього цикл рухів повторюється. Поперечна подача  $D_{споп}$  залежно від етапу обробки (чорновий, напівчистий тощо) становить від 0,005 до 0,06 мм [7]. Наприкінці обробки, коли видалений увесь припуск, виконують ще два-три ходи уздовж поверхні без здійснення  $D_{споп}$  до припинення іскріння, так зване виходжування. Цей прийом підвищує точність, оскільки видаляє похибки форми від пружних деформацій Т-системи.

Шліфування з поперечною подачею здійснюють абразивними кругами, ширина яких перевищує довжину поверхні, що обробляють. Обробку здійснюють тільки з поперечною подачею круга  $D_{споп}$ , яка вимірюється у мм/об заготовки. Її значення знаходиться у діапазоні 0,003-0,02 мм/об.

Врізне шліфування може виконуватися декількома кругами одночасно, а також дозволяє шліфувати фасонні поверхні (за наявності круга, що має відповідний фасонний профіль).

Цей вид шліфування має широке використання в умовах великосерійного та масового виробництва.

Точність чистового шліфування поверхонь досягає 6-7-го класу якості при шорсткості поверхні  $Ra$  0,2 мкм.

Крім розглянутих способів для деталей типу штифтів, гладких та східчастих валиків, використовують спосіб безцентрового шліфування, яке теж буває напрохід та врізним.



## Притирання

Притирання зовнішніх циліндричних поверхонь у більшості випадків здійснюють на верстатах токарної групи з горизонтальною віссю шпинделя. В умовах масового виробництва, наприклад, при виготовленні поршневих пальців для притирання використовують спеціальні верстати.

Різальним інструментом є притир, який має вигляд розрізаної з одного боку по всій довжині втулки із внутрішнім діаметром, що дорівнює діаметру поверхні притирання. Конструктивно притир має елементи (хомут, болтове з'єднання тощо), що дозволяють стискати його відносно оброблюваної поверхні для створення певної сили тиску абразиву на поверхню (див. рисунок 1.23).

Виготовляють притири з матеріалів та підготовляють їх до роботи так само, як і притири для площин (див. стор.23).

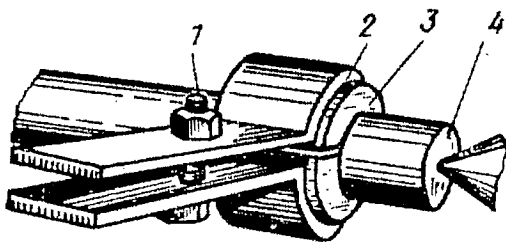


Рисунок 1.23 – Конструкція притира:

1- болт для створення сили тиску на хомут; 2- хомут, що охоплює притир; 3- притир; 4- заготовка

Процес притирання полягає у такому: на поверхню, що підлягає притиранню, надягають підготовлений до роботи притир та встановлюють заготовку на верстат. За допомогою стискних елементів притира створюють необхідний для обробки тиск на поверхню. Вмикають верстат та повільно переміщують притир уздовж поверхні.

Швидкість обертання заготовки 19-20 м/хв, а зворотно-поступальна швидкість притира – 1-3 м/хв.

Після здійснення декількох ходів виконують вимірювання розміру поверхні та оцінюють її шорсткість. За необхідності процес продовжують.

Притирання забезпечує 3-5-й квалітети точності при шорсткості до Ra (0,02-0,04) мкм [4].

## Суперфінішування

Суперфінішування (див. рисунок 1.24) - це процес оздоблювальної обробки поверхні за допомогою спеціальної головки з абразивними брусками, яким додається рух коливання з певною амплітудою 2-6 мм та швидкістю  $V=200-1000$  коливань за хвилину.

Заготовка обертається зі швидкістю  $S_{кр} = (1-7)$  м/хв, а головка переміщається зворотно-поступально уздовж поверхні, що підлягає обробці  $S_{пр}$ . Бруски притискаються до поверхні з тиском  $P = (0,05-0,25)$  МПа.

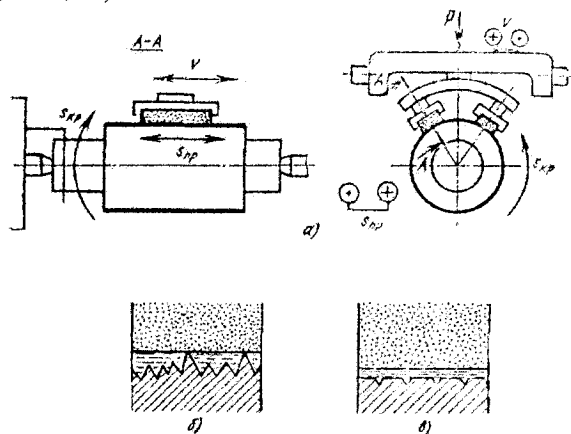


Рисунок 1.24 – Схема суперфінішування:  
а) кінематика процесу; б) мікронерівності на початку обробки; в) мікронерівності після обробки

Важливе значення при суперфінішуванні має мастильно-охолоджувальна рідина. Вона створює мастильну плівку на поверхні. Найбільш великі мікронерівності проривають її і в першу чергу зрізаються абразивом (див. рисунок 1.24б). Зі зменшенням шорсткості площа контакту брусків з поверхнею збільшується, а тиск на неї зменшується. Коли настає такий момент, що тиск брусків не може зруйнувати плівку на поверхні (див. рисунок 1.24в), вона стає суцільною, і виникають умови для рідинного тертя. Процес обробки автоматично завершується [7].

Суперфінішування забезпечує 3-5-й квалітети точності при шорсткості до  $Ra(0,1-0,02)$  мкм [4].

## Полірування

Полірування поверхонь обертання, як і площин, використовують з метою зменшення шорсткості поверхні як у декоративних, так і в експлуатаційних цілях - підвищення її зносостійкості.

Залежно від типу виробництва, розмірів та форми виробів процес полірування здійснюють як вручну, так і на спеціальних полірувальних верстатах різного ступеня автоматизації [7].

Полірування стрічками (див. рисунок 1.25) для поверхонь обертання є більш поширеним видом полірування.

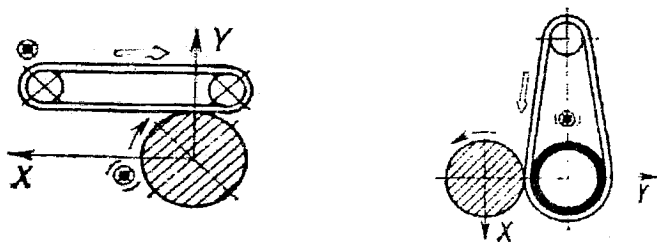


Рисунок 1.25 – Полірування зовнішніх циліндричних поверхонь стрічками

Ширина стрічок може досягати 700 мм.

Полірування стрічками виконують на полірувальних верстатах. Цей спосіб полірування може забезпечувати також і точність обробки.

Швидкість різання при поліруванні стрічкою до 40–50 м/с забезпечується швидкістю руху стрічки. Заготовку притискають до стрічки із тиском 0,035–0,075 МПа. При збільшенні тиску продуктивність процесу збільшується, але збільшується також і температура в зоні полірування, що приводить до появи „припикання” поверхні – зміни її кольору та механічних властивостей.

Полірування дозволяє зменшити шорсткість поверхні до рівня Ra (0,01–0,04) мкм.

### **1.3.3 Способи обробки внутрішніх поверхонь обертання (отворів)**

Отвори поділяють на центральні (вісь яких збігається з віссю самої деталі типу тіла обертання – втулка, диск, гільза тощо) та нецентральні – різноманітні отвори у корпусних деталях та радіальні отвори у деталях тіл обертання.

З технологічної точки зору лезова обробка центральних отворів може бути виконана на верстатах токарної групи сумісно з обробкою зовнішніх поверхонь та торців, що підвищує точність їх взаємного розміщення. Отвори другої групи здебільшого обробляють на верстатах свердильно-розточувальної та пререзної груп.

Загальна укрупнена класифікація отворів обох груп наведена на рисунку 1.26.

Абразивна обробка центральних отворів, як правило, не викликає особливих труднощів на відміну від радіальних та отворів у корпусних деталях.

Деякі особливості технології обробки мають отвори, які необхідно створити у суцільному матеріалі.



Рисунок 1.26 – Класифікація отворів за формою

Окремі ознаки наведеної класифікації є взаємодоповнюючими, наприклад, отвір може бути циліндричним, східчастим, глухим.

Найбільш поширені способи обробки отворів різанням наведені на рисунку 1.27.

Для обробки отворів використовують верстати токарної, свердильно-розточувальної, фрезерної груп, а також шліфувальні верстати.

Крім обробки різанням, при виготовленні отворів знаходять використання й інші способи (див. рисунок 1.5).

Виготовлення отворів має певні технологічні особливості, серед яких складність відведення стружки, значне нагрівання заготовки та інструмента, неможливість спостереження за зоною різання тощо.



Рисунок 1.27 - Способи обробки отворів різанням

Лезова обробка отворів може виконуватися кінцевими (мірними) інструментами, до яких належать свердла, зенкери, розвертки тощо, а також немірними інструментами – різцями.

Деякі схеми обробки мірними інструментами показані на рисунку 1.28. Вони можуть бути реалізовані також і на верстатах з горизонтальною віссю шпинделя.

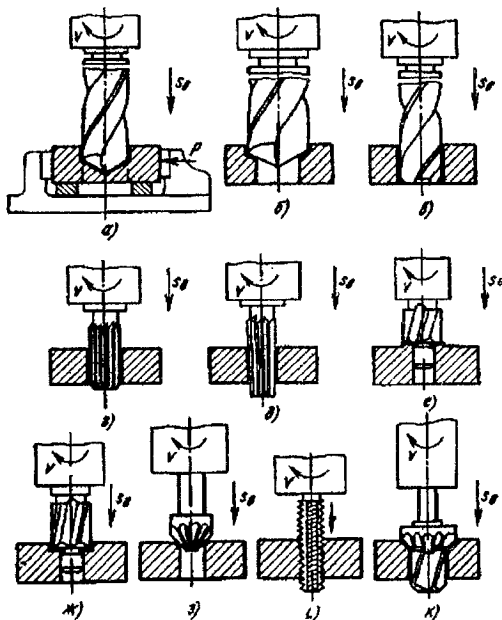


Рисунок 1.28 – Деякі схеми обробки отворів мірними інструментами:

а) свердлення; б) розсвердлювання; в) зенкерування; г, д) розвертання отворів; е, ж) цекування; з) зенкування; л) нарізання різі; к) обробка комбінованим інструментом

## Свердлення

Свердлення (див. рисунок 1.28а) є єдиним способом лезової обробки для створення отвору у суцільному матеріалі.

Процес свердлення виконують на верстатах усіх перелічених вище груп.

Різальним інструментом при свердленні є свердла, які можуть мати різну конструкцію (див. рисунок 1.29) і різне призначення.

Спіральні свердла використовують для обробки отворів у суцільному матеріалі, а також для збільшення розміру вже просвердленого отвору (розсвердлювання).

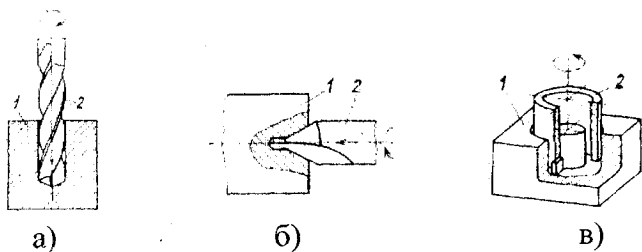


Рисунок 1.29 – Види свердел:

а) спіральне; б) комбіноване (центрувальне); в) кільцеве;

1 – заготовка; 2 - свердло

Комбіновані свердла призначені для створення декількох поверхонь за один робочий хід. Вони можуть поєднувати в одній конструкції й інші інструменти, наприклад, свердло-зенкер тощо.

Кільцеві свердла використовують для обробки отворів великого діаметра (як правило, більшого, ніж 60-70 мм). При цьому після обробки отвору залишається стрижень, який може бути використаний для виготовлення інших виробів.

Свердла виготовляють з швидкорізальних сталей, а також оснащують платівками із твердих сплавів.

Швидкість різання при свердленні залежить від етапу обробки, матеріалу заготовки та різальної частини інструмента і в середньому становить  $V=(5-80)$  м/хв. Залежно від верстата вона забезпечується обертанням свердла (верстати свердлильно-розточувальної групи) або заготовки – токарні верстати. Швидкість, м/хв, різання можна визначити за формулою

$$V = \pi D_{св} n / 1000,$$

де  $D_{св}$  – діаметр свердла, мм;  $n$  – частота обертання свердла або заготовки, об/хв.

Подача  $S$  при свердленні здійснюється переміщенням інструмента уздовж осі заготовки і вимірюється у мм/об на один оберт того елемента  $T$ -системи, що обертається (інструмент чи заготовка).

Глибиною різання ( $t$ ) при свердленні вважають половину діаметра свердла ( $D_{св}$ ):  $t = D_{св} / 2$ , мм.



Діаметр свердлення у суцільному матеріалі не повинен перевищувати 27-30 мм.

Для обробки глибоких отворів використовують свердла спеціальної конструкції – гарматні, ежекторні, кільцеві тощо. Одна зі схем свердлення глибокого отвору показана на рисунку 1.30 [8].

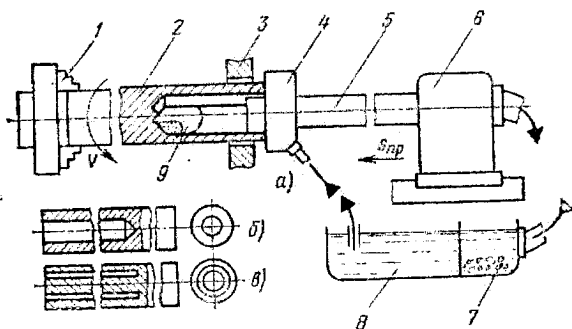


Рисунок 1.30 – Схема свердлення глибокого отвору:

а, б) гарматним свердлом; в) кільцевим свердлом;

1 – патрон; 2 – заготовка; 3 – лонет; 4 – пристрій для підведення охолоджувальної рідини до свердла; 5 – штанга для закріплення свердла; 6 – супорт; 7 – стружкозбірник; 8 – резервуар з охолоджувальною рідиною

Охолоджувальна рідина не тільки охолоджує різальну частину свердла, а також вимиває стружку із зони різання. Вона подається у зону різання під тиском близько 5-8 мПа.

У деяких конструкціях верстатів для глибокого свердлення головний рух - швидкість різання - може забезпечувати свердло.

Глибоке свердлення виконують зі швидкістю різання до 120 м/хв та подачею до 0,2 мм/об [10].

При свердленні отворів малого діаметра у технології треба передбачати попереднє центрування місця під майбутній отвір центрувальним свердлом або коротким свердлом більшого діаметра.

Свердлення забезпечує точність обробки отвору 11-13-го квалітетів при шорсткості поверхні Ra (3,2-12,5) мкм [5].

Розсвердлювання (див. рисунок 1.28б) призначене для збільшення розміру отвору свердлом більшого діаметра. Режими різання – швидкість різання, подача, а також точність обробки отвору та шорсткість його поверхні знаходяться приблизно на рівні способу свердлення [5].

### **Зенкерування**

Зенкерування (див. рисунок 1.28в) використовують для обробки попередньо отриманих отворів (свердленням або у вихідній заготовці -литтям, штампуванням тощо) з метою збільшення розміру, підвищення точності.

Різальним інструментом є багатолезовий інструмент зенкер. Зенкери мають різноманітні конструкції від суцільних до насадкових. Різальну частину виготовляють як із швидкорізальної сталі, так і оснащують платівками із твердих сплавів.

Швидкість різання при зенкеруванні залежить від матеріалу заготовки та різальної частини інструмента і в середньому становить  $V=(30-80)$  м/хв при подачі 0,5-1,5 мм/об.

Зенкерувати можна конічні отвори під подальше розвертання конічними розвертками.

Зенкерування забезпечує точність обробки отвору 8-10-го квалітетів [4] при шорсткості поверхні Ra (1,25-3,2) мкм [5].

### **Зенкування**

Зенкування використовують для виготовлення конічних заглиблень (фасок) у отворах (див. рисунок 1.28з) під конічні головки потайних гвинтів, при нарізанні різі, для притуплення гострих кромek тощо. Зенкування можна виконувати як спеціальними інструментами – зенківками, так і свердлами великого діаметра, загостреними під потрібним кутом. В умовах великосерійного та масового виробництва широке використання знаходять комбіновані інструменти, наприклад, свердла-зенківки (див. рисунок 1.28к).

## Цекування

Цекування - це обробка зовнішньої торцевої поверхні отвору (див. рисунок 1.28е) або поверхні східчастого отвору (див. рисунок 1.28ж) під головки болтів тощо для забезпечення їх перпендикулярності стосовно осі отвору.

Цекування використовують для обробки торців отворів на верстатах свердлильно-розточувальної групи.

Цекування є різновидом зенкування і виконується цеківками, які мають можливість різання торцем. Цеківка у своїй конструкції має напрямний елемент, призначений для орієнтації її осі у попередньо виготовленому отворі.

У великосерійному та масовому виробництвах знаходять широке використання зенкери-цеківки (див. рисунок 1.31).

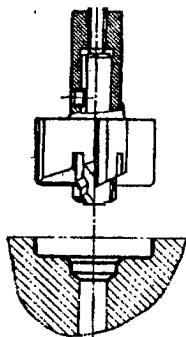


Рисунок 1.31 – Зенкер-цеківка

## Розточування

Розточування отворів виконують в основному на верстатах токарної, розточувальної та фрезерної груп.

Деякі схеми розточування отворів на токарних верстатах показані на рисунку 1.32.

Розточування виконується різцями різних конструкцій, які можуть бути закріплені як безпосередньо у різцетримачеві верстата, так і в спеціальних оправках. Швидкість різання

забезпечується обертанням заготовки, а подача – переміщенням інструмента.

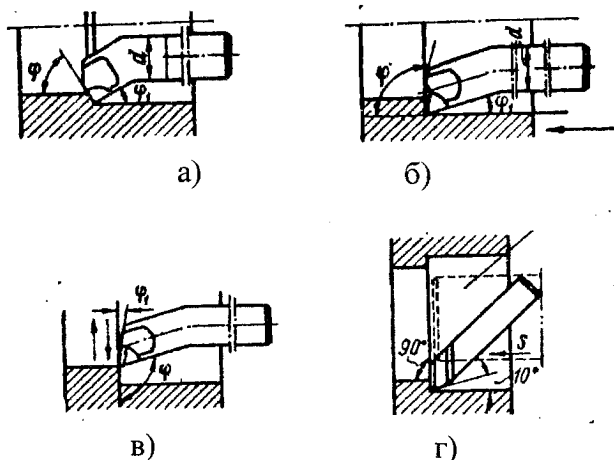


Рисунок 1.32 – Схеми розточування отворів:  
 а) наскрізних; б) східчастих; в) з підрізанням торця;  
 г) різцем, закріпленим в оправці

На верстатах розточувальної групи обертається інструмент, а подача здійснюється як рухом шпинделя з інструментом, так і рухом стола із заготовкою (див. рисунок 1.33).

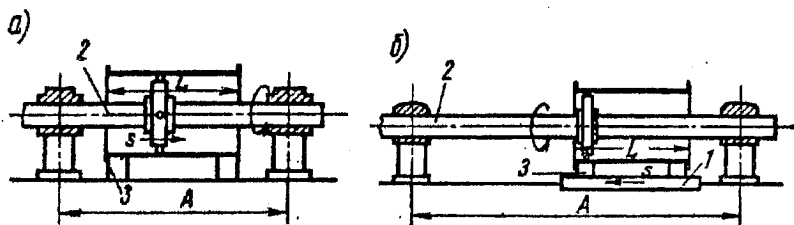


Рисунок 1.33 – Схеми обробки на розточувальних верстатах:  
 а) розточування з подачею шпинделя з інструментом;  
 б) розточування з подачею стола із заготовкою

Для підвищення продуктивності праці при розточуванні отворів в умовах середньосерійного та більших за обсягом

випуску виробів типах виробництва використовують багатолезові розточувальні головки та блоки (див. рисунок 1.34).

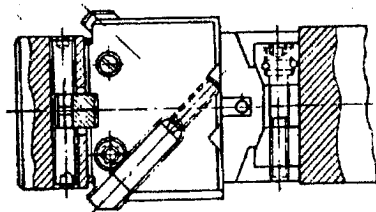


Рисунок 1.34 – Дворіцевий розточувальний блок

Чистове розточування забезпечує точність обробки отвору за 8-10-м квалітетами при шорсткості поверхні  $Ra$  (0,8-2,5) мкм [5].

## Розвертання

Розвертання є основним способом чистової обробки отворів діаметром до 300 мм [7]. Розвертанню завжди передують свердлення, зенкерування або розточування.

Різальним інструментом є розвертки, які виготовляють як суцільними з інструментальних сталей, так і збірними, оснащеними платівками з твердих сплавів.

Розвертання можна виконати як вручну, так і на усіх типах верстатів, що використовують для обробки отворів.

Розвертання дозволяє обробляти як циліндричні, так і конічні, а також східчасті отвори (див. рисунок 1.28 г,д).

Під час обробки точних отворів на верстатах розвертки встановлюють у спеціальних “плаваючих” патронах, які компенсують незбіг осі шпинделя верстата з віссю отвору, що підлягає обробці.

Швидкість різання при розвертанні  $V=(2-15)$  м/хв при подачі  $S=(0,5-3,5)$  мм/об.

Чистове розвертання забезпечує точність обробки отвору за 6-7-м квалітетами при шорсткості поверхні  $Ra$  (0,63-1,25) мкм [5].

## Протягування

Протягування - це дуже продуктивний спосіб обробки отворів різальним інструментом – протяжкою.

Протяжка являє собою багатолезовий інструмент, форма лез якого на чистовій ділянці відповідає формі отвору, що протягують (див. рисунок 1.35).

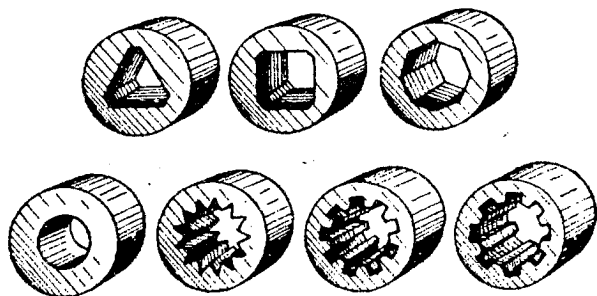


Рисунок 1.35 – Деякі форми отворів, оброблених протягуванням

Протягування отворів виконують на горизонтально-протяжних верстатах. Кінематика процесу протягування показана на рисунку 1.36.

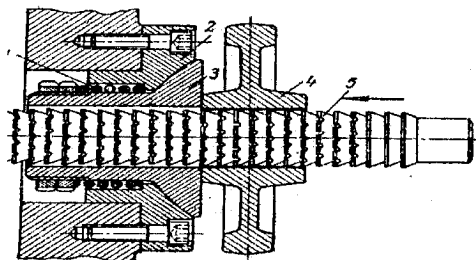


Рисунок 1.36 – Кінематика протягування отвору

Протяжка 5 рухається прямолінійно зі швидкістю різання  $V = (8-15)$  м/хв при нерухомій заготовці 4. Подачею при протягуванні вважають  $S_z$  – подачу на зуб як різницю розмірів за висотою двох суміжних зубців  $S_z = (0,01-0,2)$  мм/зуб .

Чистове протягування забезпечує точність обробки отвору за 6-7-м квалітетами та шорсткості поверхні  $Ra(0,32-1,25)$  мкм [5].

З урахуванням високої вартості виготовлення протяжок їх використання доцільне у великосерійному та масовому виробництвах.

## Шліфування

При шліфуванні отворів використовують такі основні схеми шліфування (див. рисунок 1.37).

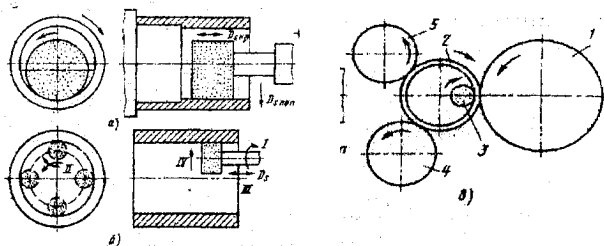


Рисунок 1.37 – Схеми шліфування отворів:

а) із поздовжньою подачею; б) планетарне; в) безцентрове

Шліфування отворів виконують на внутрішньошліфувальних верстатах.

Швидкість різання  $V=35-60$  м/с забезпечується за рахунок обертання шліфувального круга. При шліфуванні отворів невеликого діаметра (менше 10 мм) забезпечення таких швидкостей різання досить утруднено, тому вона може бути близько 10 м/с.

Заготовку при шліфуванні з поздовжньою подачею (див. рисунок 1.37а) здебільшого встановлюють у патроні та забезпечують її обертання зі швидкістю 10-20 м/хв. Кінематика процесу нагадує зовнішнє шліфування.

Шліфувальна бабка з кругом переміщається стосовно заготовки з подачею  $D_{сп}$ , що визначається у частках ширини шліфувального круга на один оберт заготовки:

Дспр –  $K \times \text{Вкр}$ ,

де  $K$  – кількість часток ширини круга ( $K=0,2-0,7$ );  $\text{Вкр}$  – ширина круга, мм.

Після проходження круга по всій довжині поверхні  $L_d$  здійснюють поперечну подачу  $D_{\text{споп}}$ , яка і є глибиною різання. Після цього цикл рухів повторюється. Поперечна подача  $D_{\text{споп}}$  залежно від етапу обробки (чорновий, напівчистовий тощо) становить  $0,003-0,015$  мм [7]. Наприкінці обробки, коли видалений увесь припуск, виконують ще два-три ходи уздовж поверхні без здійснення  $D_{\text{споп}}$  до припинення іскріння, так зване виходжування. Цей прийом підвищує точність, оскільки видаляє похибки форми від пружних деформацій Т-системи.

Врізне шліфування з поперечною подачею здійснюють абразивними кругами, ширина яких перевищує довжину поверхні, що обробляють. Обробка здійснюється тільки з поперечною подачею круга  $D_{\text{споп}}$ , яка вимірюється у мм/об заготовки. Її значення знаходиться у діапазоні  $0,003-0,02$  мм/об.

Врізне шліфування дозволяє шліфувати фасонні поверхні (за наявності круга, що має відповідний фасонний профіль).

Цей вид шліфування широко використовується в умовах великосерійного та масового виробництва.

Планетарна схема шліфування отворів (див. рисунок 1.37б), використовується для великогабаритних заготовок, які неможливо обертати. За цією схемою шліфувальному кругу, окрім обертання стосовно власної осі, надається додатковий рух обертання (планетарний рух), який забезпечує розмір отвору.

Безцентрове шліфування отворів (див. рисунок 1.37в) передбачає обертання незакріпленої заготовки. Зовнішня поверхня є одночасно технологічною базою і тому вимагає попередньої точної обробки шліфуванням. Цей спосіб забезпечує найвищу точність такого параметра втулок, як співвісність отвору і зовнішньої поверхні (до  $0,003$  мм) [12].

Точність чистового шліфування отворів досягає 6-7-го квалітетів при шорсткості поверхні  $Ra$  ( $0,32$   $1,6$ ) мкм [5].



## Хонінгування

Хонінгування - це процес оздоблювальної обробки отворів спеціальним інструментом – хонінгувальною головкою (див. рисунок 1.38). Обробку виконують як на спеціальних хонінгувальних верстатах, які мають як вертикальну вісь обертання (для отворів довжиною до 2000 мм), так і горизонтальну (для більш глибоких отворів). Технологічні можливості хонінгування забезпечують обробку отворів діаметром від 2,5 мм до 1000 мм і довжиною до 25000мм [7].

Хонінгування можна виконувати також на верстатах свердлильно-розточувальної групи.

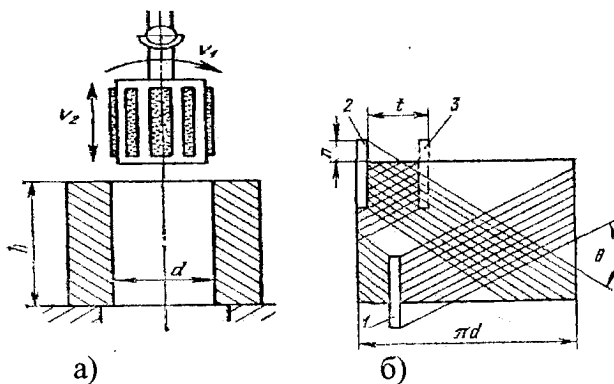


Рисунок 1.38 – Схема хонінгування отвору:

а) кінематика процесу;

б) схема створення сітки на поверхні отвору

Хонінгувальна головка являє собою втулку, у радіальних пазах якої закріплені абразивні бруски. Ці бруски мають можливість радіального переміщення, що створює певний тиск на поверхню отвору.

Хонінгувальна головка (див. рисунок 1.38а) обертається зі швидкістю  $V_1$  (20-70 м/хв) та здійснює зворотно-поступальний рух зі швидкістю  $V_2$  (5-20 м/хв) [7].

Крайні положення брусків 1, 2, 3 під час руху уверх та униз (див. рисунок 1.38б) забезпечують так, щоб вихід з отвору п дорівнював приблизно 1/3 довжини бруска.

Суміщення двох рухів створює на поверхні отвору характерну сітку (див. рисунок 1.38б). Ця сітка є досить застосовною для розміщення та утримання на поверхні отвору мастил, наприклад, для циліндрів двигунів внутрішнього згоряння тощо.

Хонінгування завжди виконують з використанням рясного охолодження, яке також забезпечує вимивання залишків абразивних зерен з обробленої поверхні.

Процес хонінгування забезпечує виправлення таких похибок форми отворів, як бочкоподібність, сідлоподібність, конусоподібність, та забезпечує точність розмірів 5-7-го квалітетів при шорсткості поверхні Ra (0,04-0,25) мкм [5].

## Притирання

Притирання отворів здійснюють за такими основними схемами:

- заготовка нерухома, а притир закріплений за допомогою шарнірного пристрою у шпинделі, наприклад, вертикально-свердлильного верстата, обертається та рухається зворотно-поступально;
- притир, закріплений у патроні, наприклад, токарного верстата обертається, а заготовку, надягнуту на притир, переміщують зворотно-поступально;
- заготовка, закріплена у патроні, наприклад, токарного верстата, обертається, а притир, уведений в отвір переміщують зворотно-поступально.

Усі перелічені схеми вимагають наявності двох відносних рухів – обертального та зворотно-поступального.

Притир для отворів являє собою втулку (див. рисунок 1.39), на поверхні якої виконані канавки, що можуть мати різну форму та напрямок.

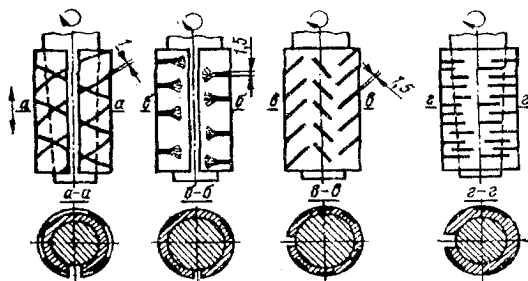


Рисунок 1.39 – Притири для отворів

Конструкція втулки передбачає можливість її розтискання в радіальному напрямі завдяки наявності паза та осьового переміщення конічної оправки (конусність від 1:30 до 1:50) стосовно внутрішнього конуса притира, що ніби розпирає притир. За рахунок цього створюється необхідний тиск притира на оброблювану поверхню.

Матеріали та підготовка до роботи притирів для отворів практично не відрізняються від притирів для інших поверхонь (див. с.23).

Швидкість обертального руху при притиранні отворів 19-20 м/хв, а зворотно-поступальна швидкість – 1-3 м/хв.

Після здійснення декількох ходів виконують вимірювання розміру поверхні та оцінюють її шорсткість. За необхідності процес продовжують.

Притирання отворів є досить трудомісткою працею, тому широкого використання у виробництві не знаходить.

Однак є вироби, що потребують притирання поверхонь, які у подальшому працюють спільно, наприклад, конічні пробки газових кранів тощо. У цих випадках притирання виконують одночасно обох поверхонь пробки та корпусу одна по одній без використання притирів. Після обробки вироби підлягають складанню без перепарювання.

Такий процес може бути механізованим і використаним у досить великих за обсягами типах виробництва.

Притирання забезпечує 3-5-й квалітети точності при шорсткості до  $Ra(0,02-0,16)$  мкм [4].

## 1.3.4 Способи обробки різі, пазів, шліців

### 1.3.4.1 Способи обробки різі

Укрупнена класифікація різі показана на рисунку 1.40.



Рисунок 1.40 – Класифікація різі

Наведена класифікація є взаємодоповнюючою, наприклад, різь для кріплення може бути метричною із трикутним профілем, однозахідною, зовнішньою глухою.

Найбільш поширеною є метрична різь трикутного профілю з кутом  $60^{\circ}$ .

Згідно з ГОСТ 16093-81 залежно від допуску на середній діаметр встановлені ступені їх точності. Найбільш поширеними у машинобудуванні є різі 4-9-го ступенів точності.

Обробка різі виконується на спеціальних різьобробних верстатах, на верстатах токарної, свердлильно-розточувальної, фрезерної груп, а також вручну.

Основні способи виготовлення різі різанням подані на рисунку 1.41.

Окрім цих способів обробки різі різанням, можна використовувати також і способи пластичного деформування.

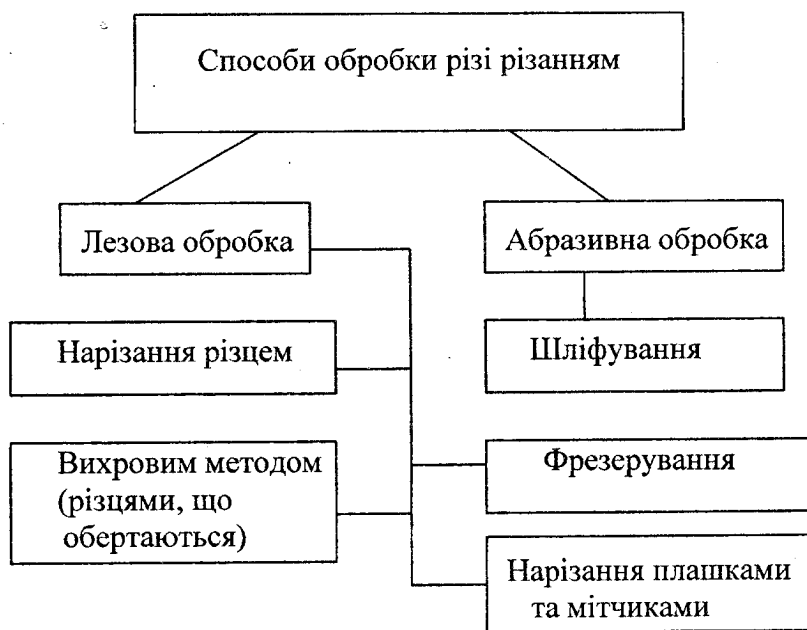


Рисунок 1.41 – Способи обробки різі різанням

Під час обробки різі необхідно забезпечити обертальний рух заготовки стосовно інструмента (або навпаки) – швидкість різання  $V_m/\text{хв}$  та поступальне їх відносне осьове переміщення – подачу  $S$ .

Подача при нарізанні однозахідної різі дорівнює її кроку  $t$ :  $S = t$ , мм/об, а при нарізанні багатозахідних різей – ходу  $X$ , що дорівнює  $X=K \times t$ , мм/об; де  $K$  – кількість заходів різі. Наприклад, якщо крок різі  $t=2$  мм та кількість заходів  $K=3$ , інструмент переміщується в осьовому напрямку стосовно заготовки за один її оберт на  $X=2 \times 3=6$  мм.

Швидкості різання при нарізанні різі залежать від матеріалу різального інструмента, розміру різі, її точності.

На поверхні, де нарізають різ, повинна бути передбачена фаска для початку нарізання та канавка для виходу інструмента в кінці робочого ходу шириною не менше 2-3 кроків різі.

При нарізанні зовнішньої різі діаметр заготовки відповідає номінальному значенню розміру різі, наприклад, для різі метричної M20 -  $\text{Ø} 20$  мм.

При нарізанні внутрішньої різі діаметр отвору виготовляють розміром, що відповідає внутрішньому розміру відповідної різі. У практичних цілях можна орієнтовно брати розмір отвору, який дорівнює номінальному розміру різі мінус розмір кроку різі, наприклад, для різі M20x1,5 діаметр отвору  $\text{Ø} 18,5$  мм. Точні значення розмірів заготовок для зовнішньої різі та отворів для внутрішньої різі беруть з відповідних довідників.

Усі способи обробки різі, як лезові (крім нарізання різі мітчиками та плашками), так і абразивні, потребують від кінематики відповідного верстата забезпечення точного взаємного переміщення інструмента за один оберт заготовки.

При нарізанні різі мітчиками та плашками вимоги щодо точності забезпечуються конструкцією самого інструмента.

## **Нарізання різцем**

Нарізання різі різцем є найбільш поширеним способом її обробки. Він може виконуватися на верстатах токарної, свердлильно-розточувальної, а також різенарізної груп.

Схема нарізання різі різцем на токарному верстаті показана на рисунку 1.42.

При обробці різі різцем треба забезпечити правильність кута загострення різця та установлення його осі перпендикулярно до осі заготовки на верстаті. Для спрощення установлення різця використовують шаблони (див. рисунок 1.43).

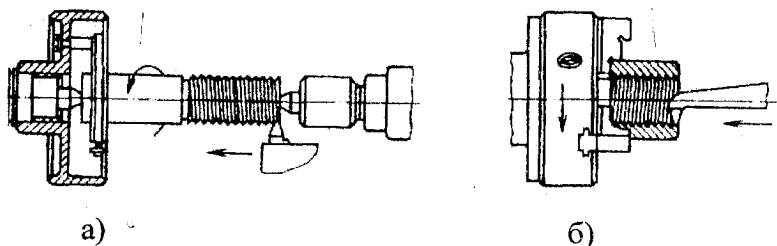


Рисунок 1.42 – Схема нарізання різі різцем на токарному верстаті:

а) при установці у центрах; б) при установці у патроні

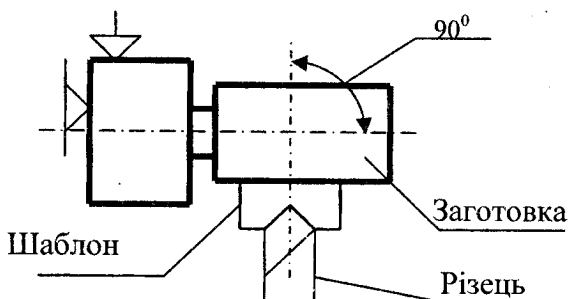


Рисунок 1.43 – Установлення різця для нарізання різі за допомогою шаблону

Нарізання різі виконують за декілька робочих ходів, число яких залежить від глибини різі. При цьому після чергового робочого ходу різець відводиться від поверхні у радіальному напрямі та повертається в початкове положення, у якому здійснюється радіальна подача і виконується робочий хід.

При нарізанні великих за розміром та кроком різей (наприклад, трапецієдального профілю) використовують схеми послідовної обробки профілю (дивись рисунок 1.44).

Такі схеми передбачають попереднє прорізання прямокутної канавки, а потім обробку бокових поверхонь профілю різі.

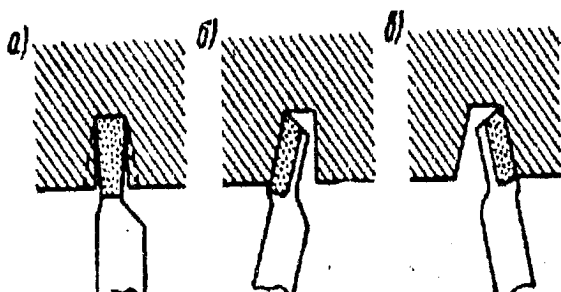


Рисунок 1.44 – Схема нарізання трапецоїдальної різі різцем:  
а) прорізання прямокутної канавки; в, г) обробка лівого та  
правого боків профілю

При обробці багатозахідних різей після виготовлення чергової канавки треба забезпечити точний поворот заготовки на кут  $\alpha=360^0/K$  градусів ( $K$  – кількість заходів різі), після чого обробляти нову канавку.

Спосіб використовують в умовах одиничного, дрібносерійного, іноді середньосерійного виробництва.

Нарізання різцем забезпечує обробку як зовнішньої, так і внутрішньої різі практично усіх форм профілю із точністю 4-6-го ступенів при шорсткості поверхні  $Ra$  (1,6-3,2) мкм [5].

### Нарізання вихровим методом

Цей метод полягає у тому, що заготовка встановлюється у патроні або у центрах, наприклад, на токарному верстаті. Їй надають обертання зі швидкістю 3-40 об/хв.

Спеціальна головка, оснащена одним або декількома різцями та приводом від електродвигуна, встановлена на супорті верстата (див. рисунок 1.45) [12].



Різці обертаються зі швидкістю, що забезпечує швидкість різання  $V=20-100$  м/хв. За один оберт заготовки головка переміщується в осьовому напрямі на крок різі.

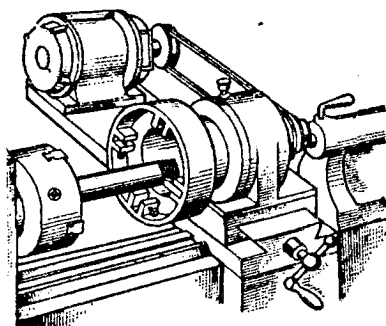


Рисунок 1.45 – Схема вихрового способу нарізання різі

Спосіб використовують здебільше для різі трикутного профілю в умовах середньосерійного виробництва.

Він забезпечує обробку різі із точністю 4-6-го ступенів при шорсткості поверхні  $Ra(1,6-3,2)$  мкм [5].

### **Фрезерування різі**

Фрезерування різі виконують на спеціальних різефрезерних, а також на універсально-фрезерних верстатах.

Цей спосіб використовують як для попереднього нарізання різі з подальшою її обробкою на токарному верстаті (для різі з досить великим кроком 2-12 мм), так і як спосіб, що формує різь остаточно.

Фрезерують різі як зовнішні, так і внутрішні трикутного, а також прямокутного, трапецієподібного та інших профілів.

Існують два основних способи фрезерування різі – дисковими фрезами (див. рисунок 1.46а) та груповими фрезами (див. рисунок 1.46б) [7].

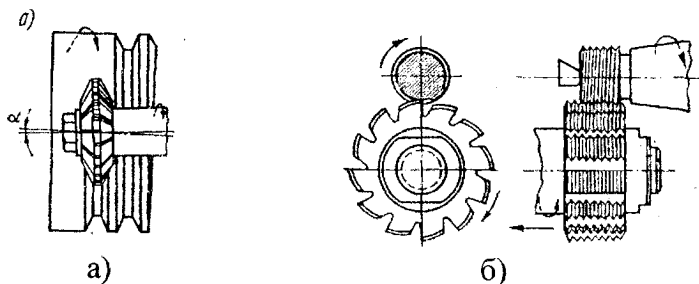


Рисунок 1.46- Схеми фрезерування різі:  
 а) дисковою фрезою; б) груповою фрезою

Дискову фрезу встановлюють під кутом  $\alpha$ , що дорівнює куту підйому гвинтової лінії різі.

Швидкість різання забезпечує обертальний рух фрези. Крім цього, обертається заготовка зі швидкістю обертальної подачі і реалізується відносно осьове переміщення заготовки та фрези (за один оберт заготовки) на величину кроку різі.

Фрезерування дисковою фрезою можна використовувати для обробки довгих різей.

Фрезерування груповою фрезою використовують для фрезерування як зовнішніх, так і внутрішніх одно-та багатозахідних різей.

Фрезерування виконують на спеціальних різефрезерних верстатах.

За цим способом обробки ширина фрези повинна бути більшою, ніж довжина різі. Обробка виконується за  $1\frac{1}{4}$  оберту заготовки ( $\frac{1}{4}$  оберту заготовки потрібна для врізання фрези радіальною подачею на глибину різі).

Цей спосіб дозволяє нарізати також конічні та багатозахідні різі. Фрезерування груповою фрезою є дуже продуктивним способом обробки і використовується у великосерійному та масовому виробництвах.

Точність різі – 5-7-го ступенів при шорсткості  $R_a$  (0,63-3,2) мкм [5].

## Нарізання плашками та мітчиками

Нарізання різі круглими плашками та мітчиками має підвищену трудомісткість у зв'язку з необхідністю реверсування інструмента (або заготовки) після нарізання різі для повернення інструмента у початкове положення.

Нарізання різі плашками та мітчиками використовують для різі порівняно невеликого діаметра (до 52 мм) та невисокої точності - 7-8-го ступенів при шорсткості поверхні Ra (1,6-3,2) мкм [5].

Нарізання різі можна виконувати як вручну, так і на верстатах токарної, свердлильно-розточувальної груп, болторізальних верстатах та ін.

Плашками та мітчиками нарізають також конічні різі.

Для підвищення продуктивності способу нарізання різі на болторізальних верстатах в умовах великих обсягів випуску виробів використовують різенарізні головки, що мають можливість розкриватися в кінці робочого ходу (див. рисунок 1.47). Різальні елементи головок можуть бути круглими (див. рисунок 1.47а), призматичними (див. рисунок 1.47б) та ін., які встановлюють радіально, тангенційно тощо.

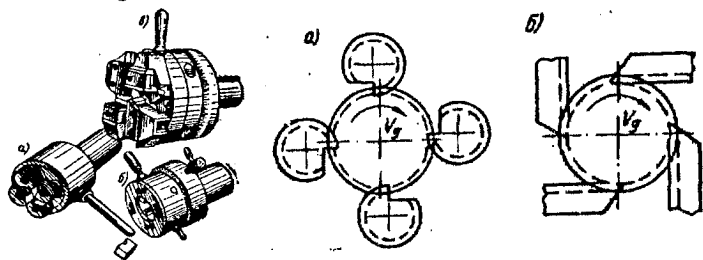


Рисунок 1.47 – Типові конструкції різенарізних головок та відповідні їм схеми встановлення різальних елементів

Така конструктивна особливість дозволяє після нарізання різі і розкриття головки відвід її у вихідне положення на прискореному ході без скручування.

Принцип нарізання різі мітчиком показаний на рисунку 1.48.

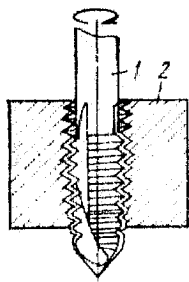


Рисунок 1.48 – Схема нарізання різі мітчиком:  
1 – мітчик; 2 - заготовка

Для ручного нарізання використовують комплект з двох або трьох мітчиків.

Машинні мітчики, як правило, формують різь за один робочий хід, тобто одним інструментом, а не комплектом.

В умовах великосерійного та масового виробництва використовують конструкції мітчиків, що як і різьонарізні головки дозволяють виводити його з отвору без реверсування.

Машинні мітчики встановлюють у спеціальні плаваючі патрони, які дозволяють компенсувати відхилення від співвісності отвору та мітчика. Для запобігання поломці мітчика при нарізанні різі у глухих отворах патрони для їх встановлення мають запобіжний механізм від перевищення крутного моменту. Після упирання його у дно отвору цей механізм від'єднує обертання мітчика від обертання шпинделя верстата.

Швидкості різання при нарізанні різі мітчиками залежать від матеріалу заготовки, розміру різі тощо і становлять 0,5 – 15 м/хв.

При нарізанні різі як плашками, так і мітчиками потрібне обов'язкове змащення поверхні мастилами, а при обробці важкооброблюваних матеріалів використовують спеціальні змащувальні суміші.

Для підвищення точності різі до 5-6 ступенів при шорсткості поверхні Ra (1,25-1,6) мкм [5] використовують мітчики із шліфованим профілем різі.

## Шліфування різі

Шліфування різі – один з економічних способів їх точної обробки, особливо для виробів, що підлягають термічній обробці.

Шліфування як для зовнішньої, так і для внутрішньої різі виконують на різешліфувальних верстатах за двома основними схемами - з використанням одно-та багатониткових кругів (див. рисунок 1.49).

Шліфують загартовані різальні інструменти – фрези, мітчики, різенакатувальні плашки та ін., різноманітні калібри для контролю різі, точні ходові різі тощо.

Залежно від кроку різі шліфування може здійснюватися як після попередньої лезової обробки (для кроків більше 1,5 мм), так і безпосередньо на поверхні заготовки.

а)

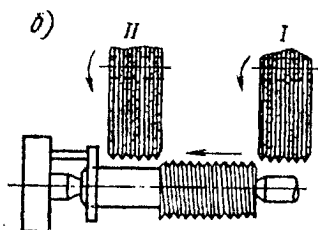
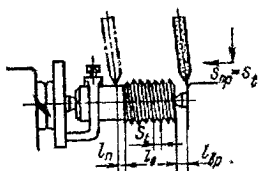
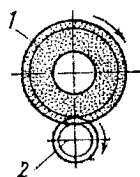


Рисунок 1.49 – Схеми шліфування різі:

а) одноститковим кругом; б) багатонитковим кругом

При шліфуванні різі швидкість різання 35-60 м/с забезпечується обертанням шліфувального круга. При шліфуванні одноститковим кругом потрібно завжди забезпечувати поздовжню  $S_{sp}$  та поперечну  $S_t$  подачі. Поперечна подача  $S_t$  також є глибиною різання (див. рисунок 1.49а). При шліфуванні багатонитковим кругом може бути реалізована схема як з поздовжньою подачею (див. рисунок 1.49б), так і методом врізання. При цьому ширина круга повинна перевищувати довжину різі.

Найвищу точність обробки забезпечує шліфування одностороннім кругом. Такий круг досить простий для правки (підтримування необхідного кута профілю у процесі роботи), а також дозволяє обробляти різі з різним кроком.

Правку шліфувальних кругів виконують спеціальними алмазними олівцями, що мають можливість переміщуватися у пристрої під потрібним кутом (див. рисунок 1.50).

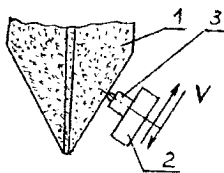


Рисунок 1.50 – Схема правки шліфувального круга для різі:  
1 – шліфувальний круг; 2 – пристрій; 3 – алмазний олівець

Багатонитковий круг, маючи більшу продуктивність під час роботи, підрізає профіль різі виробу боковими сторонами канавок свого профілю. Це знижує точність різі. Правка таких кругів трудомістка. Багатониткові круги практично не використовують для великих за профілем різей та таких, що мають значний кут підйому гвинтової лінії.

Тому з технологічної точки зору чистове шліфування треба виконувати одностороннім кругом.

Шліфування різі, як і взагалі процес шліфування, виділяє велику кількість тепла, що потребує обов'язкового рясного охолодження зони різання.

Крім цих схем, в умовах масового виробництва використовують безцентрове шліфування різі багатонитковими кругами як напрохід, так і врізанням (з поперечною подачею).

Процес шліфування різі використовують практично в усіх типах виробництва.

Шліфування забезпечує досягнення 3-4-го ступенів точності різі із шорсткістю поверхні Ra (0,32-0,63) мкм [5].

### 1.3.4.2 Способи обробки пазів

У конструкціях деталей пази можуть мати різну форму залежно від службового призначення: шпонкові пази, Т-подібні пази, пази типу “ластівчин хвіст” тощо (див. рисунок 1.51).

Обробка пазів виконується на верстатах фрезерної, фрезерно-розточувальної груп, на стругальних, довбальних та протяжних верстатах.

За необхідності досягнення високої точності розмірів паза його додатково обробляють шліфуванням, шабруванням тощо.

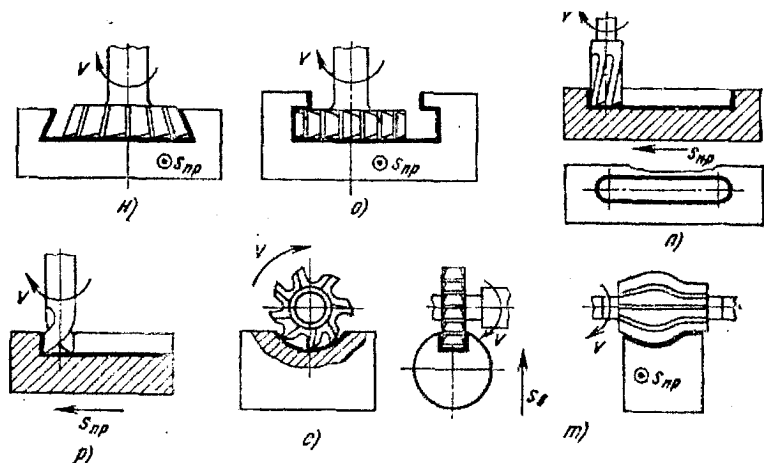


Рисунок 1.51 – Деякі схеми обробки пазів

Найбільш поширеними у використанні є шпонкові пази під призматичну або сегментну шпонку (див. рисунок 1.51 n,p,c).

На зовнішніх поверхнях обробку таких пазів виконують фрезеруванням. При фрезеруванні пазів швидкість різання  $V_m/\text{хв}$  забезпечує обертальний рух фрези. Подачу – швидкість відносного переміщення заготовки та інструмента  $S_{mm}/\text{хв}$  у більшості випадків обробки забезпечують переміщенням стола верстата із заготовкою. Значення швидкості різання та подачі залежать від матеріалу заготовки, матеріалу різальної частини інструмента, точності обробки.

Напря́м подачі може бути паралельним осі заготовки або перпендикулярним до неї при виготовленні пазів під сегментну шпонку (див. рисунок 1.51 с).

При обробці Т-подібних пазів та типу “ластівчин хвіст” використовують схеми обробки, які передбачають попередню обробку прямокутного паза, наприклад, дисковою фрезою, а потім обробку фасонної поверхні спеціальною Т-подібною фрезою або фрезою типу “ластівчин хвіст” (див. рисунок 1.52).

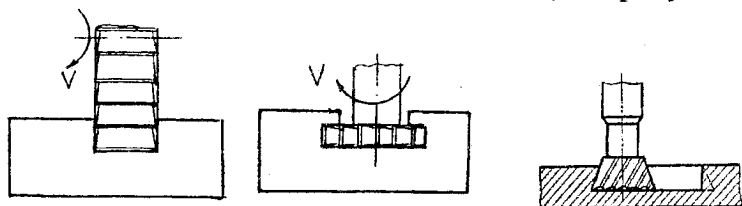


Рисунок 1.52– Схеми обробки фасонного паза

Шпонкові пази в отворах обробляють довбанням або протягуванням.

Довбання використовують в одиничному та дрібносерійному виробництвах. Довбати шпонкові пази можна як у наскрізних, так і у глухих отворах. В останньому випадку конструкція деталі повинна мати паз для виходу різця у кінці робочого ходу (див. рисунок 1.53).

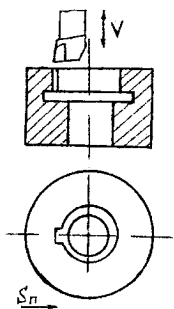


Рисунок 1.53 –Схема довбання паза у глухому отворі

Довбання забезпечує точність обробки 8-9-го квалітетів при шорсткості поверхні за параметром  $R_a$  (2,5–0,63) мкм [2].



Протягування наскрізних шпонкових пазів в отворах виконують на горизонтально-протяжних верстатах за один або декілька робочих ходів.

Схема протягування шпонкового паза показана на рисунку 1.54.

Заготовка 1 встановлена на напрямний палець 4, який має отвір для направлення протяжки 2. При обробці паза за декілька робочих ходів під протяжку підкладають прокладки 3.

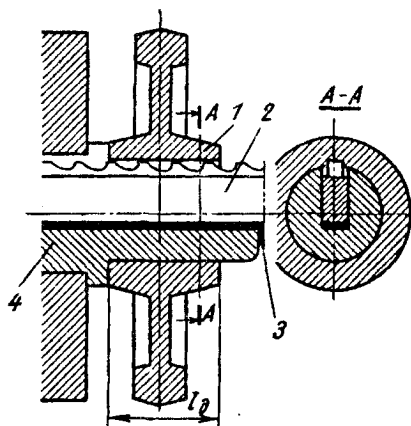


Рисунок 1.54 - Протягування шпонкового паза в отворі

Протяжка 2 рухається прямолінійно зі швидкістю різання  $V$ - (8-15) м/хв. Подачею при протягуванні вважають  $S_z$  – подачу на зуб як різницю розмірів за висотою двох суміжних зубців протяжки  $S_z = (0,01-0,2)$  мм/зуб .

Протягування широко використовується у середньосерійному та більш об'ємних типах виробництва.

Чистове протягування забезпечує точність обробки за 6-7-м квалітетами при шорсткості поверхні  $R_a (0,32-1,25)$  мкм [5].

### 1.3.4.3 Способи обробки шліців

Шліцьові з'єднання знаходять досить широке використання у коробках швидкостей, подач та ін. конструкціях, які передбачають як передавання крутних моментів між валами, так і переміщення зубчастих коліс уздовж їх осей.

Існують три основних способи взаємного центрування шліцьової втулки та вала (див. рисунок 1.55):

- по внутрішньому діаметру шліців вала (рисунок 1.55а);
- по зовнішньому діаметру шліців вала (рисунок 1.55б);
- по бокових поверхнях шліців (1.55в).

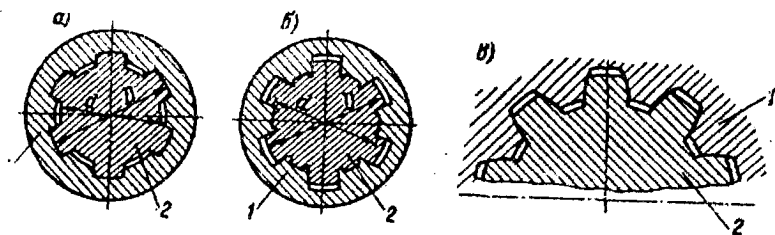


Рисунок 1.55 – Способи центрування шліцьової втулки на валу

Незалежно від способу центрування втулки шліцьові з'єднання потребують досить точного виготовлення їх елементів – шліців.

На валах шліци обробляють на фрезерних, стругальних, протяжних та шліцефрезерних верстатах.

Фрезерування шліців може здійснюватися методом копіювання або обкочування.

Метод копіювання (див. рисунок 1.56) передбачає обробку дисковою фрезою однієї шліцьової канавки або двох суміжних канавок одночасно набором фрез, після чого заготовку повертають на необхідний кут для обробки наступного паза.

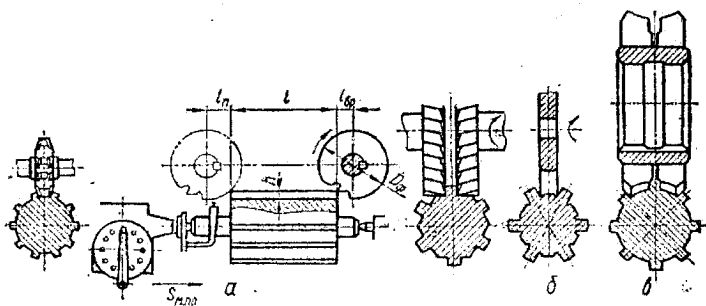


Рисунок 1.56 – Фрезерування шліцьових пазів копіюванням

Цей спосіб має підвищену трудомісткість та невисоку точність. Його використовують в одиничному та дрібносерійному виробництві.

Метод обкочування (див. рисунок 1.57) реалізується на шліцефрезерувальних верстатах за допомогою черв'ячних шліцьових фрез.

Цей метод передбачає, крім обертання фрези зі швидкістю різання  $V = (10-40)$  м/хв, погоджене обертання заготовки (залежно від кількості шліців) та поступальне їх відносне переміщення – поздовжню подачу  $S = (0,5-2,5)$  мм/об заготовки.

Для забезпечення цих рухів на шліцефрезерних верстатах передбачені гітари швидкості, подачі та ділення.

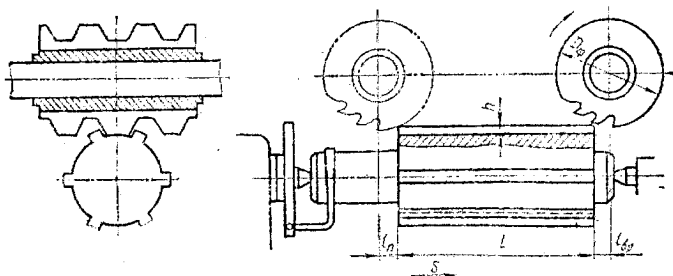


Рисунок 1.57 – Фрезерування шліців методом обкочування

Стругання шліців на валах здійснюють за допомогою головок із кількістю різців, що дорівнює кількості шліцьових канавок.

Таким чином, досягається дуже висока продуктивність способу, що досить важливо для умов масового виробництва.

Для підвищення точності центрування, а також для валів, що підлягають термічній обробці, виконують шліфування шліців.

Шліфування шліців здійснюють методом копіювання (див. рисунок 1.58), при якому використовують як фасонні шліфувальні круги, так і їх набори.

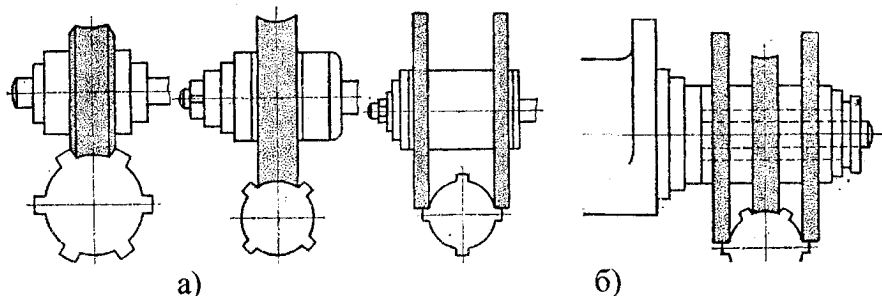


Рисунок 1.58 – Шліфування шліців на валах:  
а) фасонним кругом; б) набором кругів

При центруванні по зовнішній поверхні шліців на валах обов'язково шліфують зовнішній діаметр, а при центруванні по внутрішній поверхні шліфують внутрішню поверхню, що центрує втулку.

В отворах втулок шліци обробляють протяжками на горизонтально-протяжних верстатах. Схема протягування шліців практично не відрізняється від схем протягування отворів або шпонкових пазів. При центруванні втулок по зовнішньому діаметру шліців точність забезпечується точністю протяжки та шліфуванням вала.

При центруванні по внутрішньому діаметру перед протягуванням шліців обов'язково шліфують отвір втулки.

### 1.3.5 Способи обробки зубчастих коліс

У сучасних машинах використовують зубчасті передачі, які дозволяють передавати крутний момент як між паралельними валами, так і валами, розміщеними під певним кутом. Найбільш поширені їх види показані на рисунку 1.59 [4].

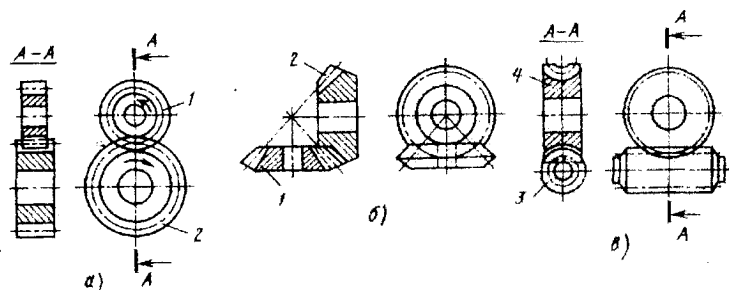


Рисунок 1.59 – Найбільш поширені види зубчастих передач:  
а) циліндрична; б) конічна; в) черв'ячна

Для циліндричних зубчастих коліс ГОСТ 1643-81 встановлює 12 ступенів точності (з 1-го до 12-го у порядку зменшення). Для кожної з них встановлені норми точності за показниками кінетичної точності, плавності роботи, контакту зубців, а також шість видів сполучень у порядку зменшення гарантованого бокового зазору (А, В, С, D, Е, Н).

У загальному машинобудуванні та верстатобудуванні найбільш поширені зубчасті колеса 6-8-го ступенів точності.

Обробку зубців зубчастих коліс виконують як на верстатах фрезерної групи (в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва), так і на спеціальних зубообробних верстатах.

При обробці використовують як лезову обробку, так і абразивну. Деякі з цих способів наведені на рисунку 1.60.

При обробці зубчастих коліс використовують два принципово різних методи – копіювання та обкочування.

Ці методи характеризуються різною точністю та продуктивністю обробки.

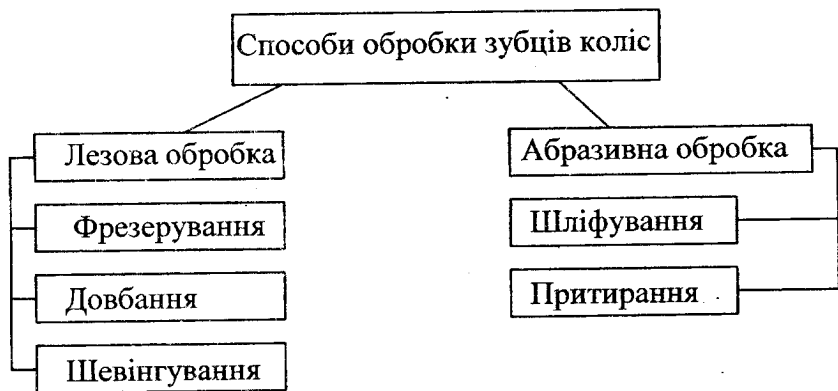


Рисунок 1.60 – Способи обробки зубців коліс

Перший метод передбачає обробку інструментом, що має профіль западини зубчастого колеса з наступним поворотом заготовки на певний кут залежно від кількості зубців.

Цей метод використовують у ремонтному виробництві за відсутності спеціального обладнання, при виготовленні зубчастих коліс великого розміру, а також для попереднього нарізання зубців для подальшої точної обробки.

Другий метод при своїй реалізації моделює роботу зубчастої пари. При цьому у цій парі один елемент виступає у ролі різального інструмента, а другий є заготовкою.

### **Фрезерування зубців**

Фрезерування зубців зубчастих коліс може виконуватися як методом копіювання, так і методом обкочування.

**Метод копіювання** може бути реалізований дисковими та пальцевими модульними фрезами (див. рисунок 1.61).

Він дозволяє виготовлення циліндричних, шевронних, а також конічних зубчастих коліс.

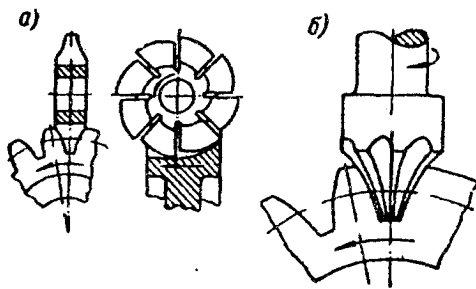


Рисунок 1.61 – Фрезерування зубців модульними фрезами:  
 а) дисковою фрезною; б) пальцевою фрезною

Дискові модульні фрези випускають комплектами з кількістю 8, 15 або 26 штук. Набір з 8 фрез використовують для коліс з модулем до 9 мм. Кожна фреза здатна забезпечити необхідну точність під час обробки коліс з певною кількістю зубців. Наприклад, фреза №1 з набору із 8 фрез призначена для обробки коліс із кількістю зубців від 35 до 54.

Швидкість різання забезпечується обертанням фрези і знаходиться у межах 25-40 м/хв. Кількість робочих ходів залежить від модуля колеса (при  $m < 6$  мм – за один робочий хід, при  $m = 6-12$  мм - за два, а при  $m > 12$  - за три).

Пальцеві фрези доцільно використовувати для коліс з модулем 10-50 мм, а також при нарізанні шевронних коліс без канавки.

Нарізання модульними фрезами передбачає використання ділильних головок або столів для встановлення заготовок.

Спосіб забезпечує нарізання коліс 9-10-го ступенів точності при шорсткості поверхні  $Ra$  (6,3-12,5) мкм [5].

Метод обкочування реалізується за допомогою черв'ячних фрез на зубофрезерних верстатах (див. рисунок 1.62а).

Швидкість різання  $V_m$ /хв забезпечується обертанням фрези. Крім цього, рух верстата забезпечує обертання заготовки -  $Skp$ , а також переміщення фрези  $S_b$  уздовж осі заготовки.

Для цього виконують налагодження певних гітар верстата (швидкості, подачі, ділення, обкочування тощо).

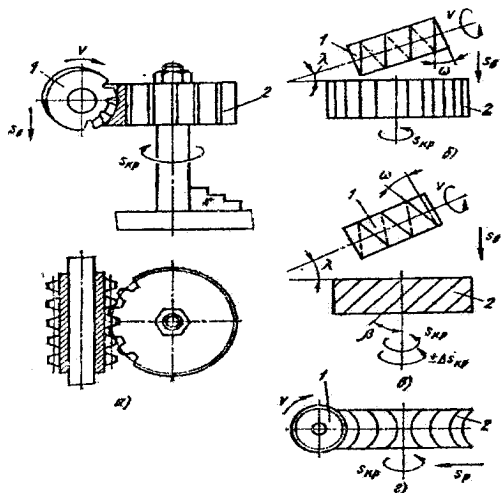


Рисунок 1.62 – Фрезерування черв'ячною фрезою

Залежно від напрямку гвинтових канавок фрези (правий чи лівий), а також виду колеса, що нарізають (прямозубе, косозубе, праве чи ліве), фрезу встановлюють під певним кутом  $\lambda$  стосовно осі заготовки (рисунок 1.62б). Цей кут визначають за формулою

$$\lambda = \beta \pm \omega,$$

де  $\beta$  – кут нахилу зубців колеса, що нарізають, град;

$\omega$  – кут підйому витків черв'ячної фрези, град.

Знак “плюс” беруть, якщо ці кути різноіменні, а знак “мінус”, якщо ці кути одноіменні.

Модульні черв'ячні фрези виготовляють як із швидкокорізальної сталі, так і оснащеними пластинками з твердих сплавів.

Зубофрезерування забезпечує досягнення 8-10-го ступенів точності коліс із шорсткістю поверхні  $Ra$  (3,2-6,3) мкм [5].



## Зубодовбання

Зубодовбання – нарізання зубчастих коліс довбачами виконують на зубодовбальних верстатах методом обкочування.

Довбач 1 обертається навколо своєї осі та здійснює зворотно-поступальний рух уздовж осі заготовки 2. Заготовка, у свою чергу, теж обертається (див. рисунок 1.63).

Цей спосіб дозволяє обробляти зубці як прямозубих, так і косозубих коліс для зовнішнього та внутрішнього зачеплення, а також малий зубчастий вінець у блочних колісах.

Точність зубодовбання дещо вища, ніж при зубофрезеруванні, і може забезпечити досягнення 6-7-го ступенів при шорсткості поверхні  $Ra$  (1,6-3,2) мкм [5].

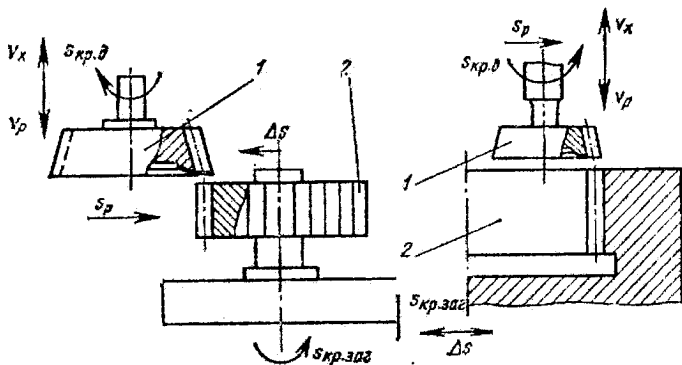


Рисунок 1.63 – Схема обробки зубчастих коліс довбанням:  
а) зовнішнього зачеплення; б) внутрішнього зачеплення

Колеса з модулем до 2,5 мм обробляють за один оберт заготовки, а з більшим модулем - за декілька її обертів.

Довбання зубців коліс використовують у середньосерійному та більш значних за об'ємами випуску типах виробництва.

У масовому виробництві для попередньої обробки зубців знаходить використання довбання методом копіювання спеціальними багаторізцевими головками, оснащеними різцями за кількістю, що відповідає кількості зубців колеса.

## Шевінгування

Шевінгування – спосіб чистової обробки зубчастих коліс, які не підлягають термічній обробці.

Шевінгування виконують на спеціальних шевінгувальних верстатах. Різальним інструментом для цього способу обробки є шевер, який являє собою зубчасте колесо з прорізаними з обох боків зубців канавками (див. рисунок 1.64а).

Ці канавки створюють різальні кромки, які при роботі знімають з поверхонь зуба заготовки тонку стружку.

Для цього заготовку та шевер встановлюють під певним кутом та забезпечують їм взаємне обертання та переміщення вздовж осі (див. рисунок 1.64б).

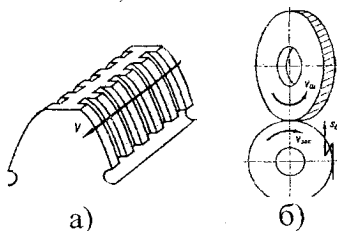


Рисунок 1.64 – Зуб шевера та схема шевінгування зубців

Швидкість різання  $V$  (100-120) м/хв забезпечується обертанням шевера. Поступальне їх відносне переміщення – подача  $S$  – знаходиться у межах (0,14-0,3) мм/об заготовки.

Шевінгування забезпечує досягнення 6-7-го ступенів точності колеса із шорсткістю поверхні  $Ra$  (0,63-1,25) мкм [5].

## Шліфування

Шліфування виконують на зубошліфувальних верстатах як методом копіювання, так і обкочування (див. рисунок 1.65).

Цей спосіб обробки забезпечує 5-6-й ступені точності при шорсткості поверхні зубців  $Ra$  (0,32-1,25) мкм [5].

При методі копіювання (див. рисунок 1.65а) використовують профільний круг, яким обробляють одну западину за декілька

робочих ходів круга уздовж поверхні зуба. Після цього заготовку повертають у позицію для обробки наступного зуба.

Для підвищення точності заготовку іноді провертають не на один, а на декілька зубців.

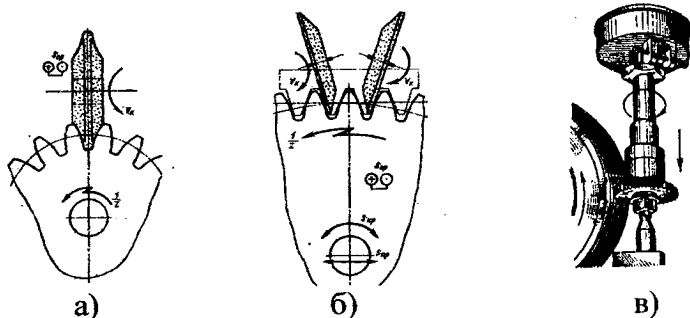


Рисунок 1.65 – Шліфування зубчастих коліс:

а) методом копіювання; б, в) методом обкочування

При шліфуванні методом обкочування використовують тарілчасті круги (див. рисунок 1.65б), а також абразивні круги типу черв'яків (див. рисунок 1.65в).

Для періодичної правки кругів верстати мають спеціальні пристрої.

## Притирання

Притирання зубчастих коліс знаходить широке використання у великосерійному та масовому виробництвах при виготовленні термічно оброблених коліс відповідальних передач.

Цей спосіб полягає у тому, що колесо, яке підлягає обробці, обертається у зачепленні з іншим колесом – притиром.

Вимоги до матеріалу та підготовки до роботи (шаржування) колеса-притира такі самі, як і для притирів для інших поверхонь. Притирання одного колеса займає у середньому 2-4 хвилини.

При цьому забезпечуються 5-6-й ступені точності при шорсткості поверхні зубців  $R_a$  (0,1-0,5) мкм [5].

## 1.4 Поверхнєве пластичне деформування (ППД)

Поверхнєве пластичне деформування об'єднує способи обробки поверхонь без видалення шару матеріалу.

ППД використовують при обробці практично усіх розглянутих раніше типів поверхонь в усіх типах виробництва.

Способи реалізації ППД можна умовно поділити на дві групи:

- способи, призначені для зменшення шорсткості поверхні та підвищення її зносостійкості;
- способи формування деяких видів поверхонь взагалі (наприклад, різі, шліців, зубчастих елементів тощо).

До першої групи входять такі найбільш поширені способи, як обкочування та розкочування поверхонь роликми та кульками, алмазне вигладжування, калібрування отворів кульками та дорнами, обдування поверхні шротом тощо.

Схеми реалізації деяких із цих способів обробки показані на рисунках 1.66 – 1.68.

Обробку здебільшого виконують на токарних, фрезерних, свердильно-розточувальних верстатах, а також на спеціальних установках (наприклад, шротоструменевих).

При обкочуванні поверхні (див. рисунок 1.66) ролик створює на неї певний тиск, який ущільнює поверхневий шар металу.

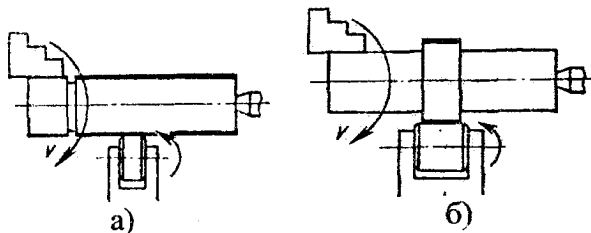


Рисунок 1.66- Схеми обкочування поверхні роликми:

а) з поздовжньою подачею; б) з поперечною подачею

Завдяки цьому на поверхні зменшується шорсткість, з'являється наклеп, що підвищує зносостійкість та довговічність експлуатації.

При обробці розкочуванням отворів можуть використовуватися як схема з одним роликом (рисунок 1.67а), так і з використанням багатороликових головок (рисунок 1.67б).

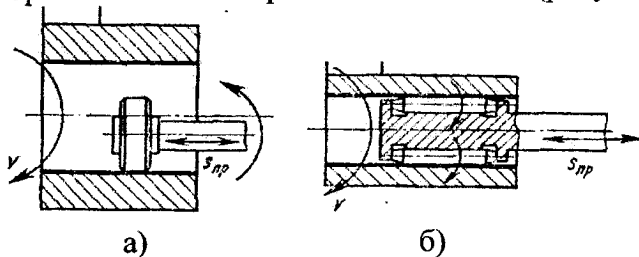


Рисунок 1.67 – Схеми розкочування отворів

Крім пристроїв з роликами, для обкочування та розкочування поверхонь використовують пристрої, оснащені сталевими кульками або алмазом. Такий інструмент дозволяє обробляти не тільки поверхні великої довжини, а і радіуси та галтели.

Використання алмазних наконечників, яким додають радіусної форми  $R = 2-4$  мм, дає змогу обробляти загартовані поверхні з твердістю до HRC 60 та забезпечувати при цьому шорсткість  $Ra (0,02-0,04)$  мкм [12].

Швидкість обробки при обкочуванні та розкочуванні знаходиться у межах 50-150 м/хв. Подача – 0,05-0,1 мм/об заготовки або інструмента (залежно від конструкції верстата).

Поверхня, що підлягає обробці способами ППД, повинна бути попередньо обробленою з шорсткістю не більше ніж на один-два класи грубіше, ніж очікуваний після обробки. У процесі обробки поверхні ролика та заготовки обов'язково змащують мастилом.

Підвищення точності отворів можна досягти їх калібруванням за допомогою дорнів різних конструкцій або кульок (див. рисунок 1.68).

**Дорнування** (рисунок 1.68а) виконують дорном, який проштовхують у попередньо оброблений отвір.

Розмір дорна дещо перевищує розмір отвору у заготовці, що дозволяє при обробці створити тиск на поверхню, зменшити її шорсткість та підвищити точність.

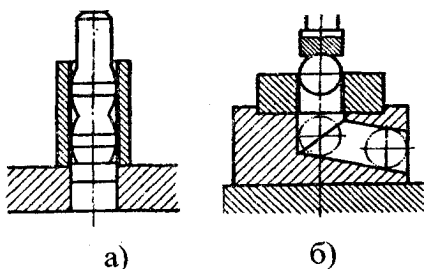


Рисунок 1.68 – Калібрування отворів

Швидкість переміщення дорна 2-10 м/хв. При вихідній шорсткості поверхні  $Ra$  (4-8) мкм дорнування забезпечує шорсткість  $Ra$  (0,08-0,16) мкм з підвищенням поверхневої твердості на 70% [13].

**Калібрування кульками** (рисунок 1.68б) не забезпечує оптимальних умов для калібрування, та і самі кульки мають порівняно невелику стійкість. Але простота реалізації та можливість автоматизації роблять цей процес досить поширеним у виробництві.

Калібрування виконують за допомогою пресів різних конструкцій (гвинтових, важільних, гідравлічних тощо) або на спеціальних автоматизованих установках.

Поверхні при калібруванні обов'язково змащують мастилом.

**Шротоструменева обробка** (обдування поверхні сталі або чавунним шротом) полягає у тому, що механічним шляхом або за допомогою стиснутого повітря на поверхню спрямовують струмінь металевих кульок. Швидкість струменя шроту досягає 70-90 м/с [13].

При цьому поверхневий шар заготовки отримує навантаження, яке викликає появу на ньому наклепу. Поверхневий шар ущільнюється, що позитивно впливає на експлуатаційні характеристики поверхні.

Шротоструменеву обробку також використовують як технологічний прийом для зменшення залишкових напружень при штучному старінні заготовок після обдирної обробки.

Таким способом можна обробляти заготовки досить великих розмірів на спеціальних установках, оснащених пристроями, що дозволяють повертати їх у процесі обробки.

Спосіб використовують практично в усіх типах виробництва.

**Способи другої групи** - виготовлення поверхонь у цілому за допомогою ППД принципово відрізняються від обробки різанням тим, що поверхня формується за рахунок витиснення деякого об'єму матеріалу із западин профілю поверхні та створення її виступів.

Такі способи називають накатуванням поверхні (різі, шліців, зубців тощо). Накатування виконують як у холодному стані заготовки, так і в гарячому (з підігрівом її до необхідної для пластичного деформування температури).

Матеріал поверхонь заготовок, що підлягають накатуванню, повинен відповідати таким вимогам: відносне подовження 10-25%, а твердість має бути у межах HRC 33-37.

У накатаній поверхні волокна матеріалу не перерізаються, а плавно огинають профіль (див. рисунок 1.69).

Межа міцності на зріз таких поверхонь на 25-40% вища, ніж у оброблених різанням. У деяких галузях виробництва, наприклад, у літакобудуванні, використання не накатаних різей взагалі заборонено.

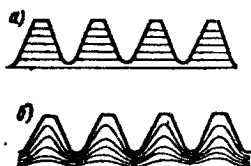


Рисунок 1.69 - Направлення волокон при обробці різі:  
а) лезова обробка; б) накатування

**Накатування різі** може здійснюватися на спеціальних різенакатувальних верстатах плоскими плашками (див. рисунок 1.70 а) або накатними роликками (рисунок 1.70 б-г).

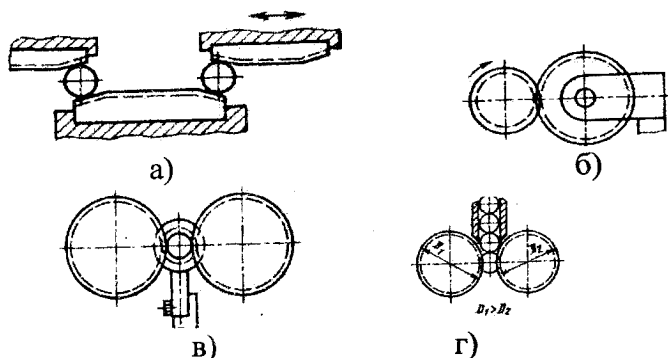


Рисунок 1.70 – Схеми накатування різі

При використанні плоских плашок заготовка прокочується між нерухомою та рухомою плашками зі швидкістю 15-20 м/хв.

Спосіб дозволяє виготовляти різі розміром від 2 до 25 мм, довжиною до 125 мм 5-6-го ступенів точності при шорсткості поверхні Ra (0,32-1,25) мкм [7].

Накатування за допомогою роликів використовують для виготовлення різі розміром від 0,3 до 150 мм.

Кількість роликів може бути від 1 до 3. Накатування може здійснюватися як з радіальною подачею роликів, так і з поздовжньою.

У деяких схемах накатування з поздовжньою подачею довжина різі практично не обмежується. Швидкість накатування різі роликами знаходиться у межах 25-120 м/хв. Спосіб забезпечує 4-5-й ступінь точності при шорсткості поверхні Ra (0,32-1,25) мкм [7].

Спосіб використовують в умовах великосерійного та масового виробництва.

Для накатування різі в отворах використовують безстружкові мітчики-розкатники, які не мають різальних кромek (див. рисунок 1.71).

Розкатник має забірну та калібрувальну частини. По всій довжині розкатника виконане огранювання профілю під кутом  $120^{\circ}$  для зменшення сил тертя під час роботи.



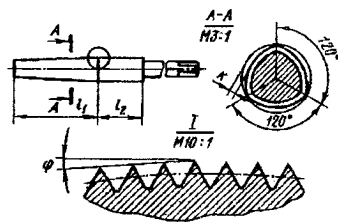


Рисунок 1.71 – Безстружковий мітчик-розкатник

Для різі із кроком більше 2 мм перед розкатуванням виконують її попередню обробку лезовими способами [7].

**Накатування шліців** невеликих розмірів в умовах дрібносерійного виробництва можна виконувати на токарних верстатах роликом, що має відповідний профіль (див. рисунок 1.72а).

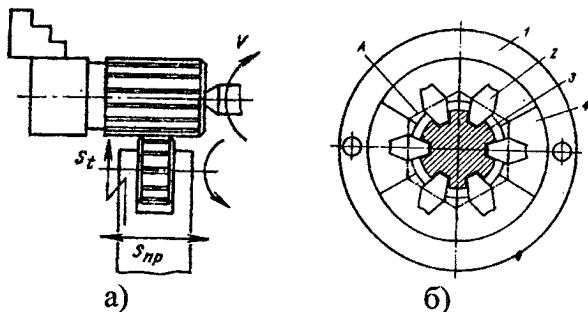


Рисунок 1.72 – Схеми накатування шліців

У великосерійному та масовому виробництвах використовують більш продуктивні схеми, при яких роликами 2, встановленими у корпусі 1, одночасно формують на заготовці 3 профіль усіх канавок шліців (див. рисунок 1.72б).

Швидкість роликів знаходиться у межах 10-20 м/хв.

Спосіб дозволяє досягати точність кроку шліців до 0,04 мм при відхиленні від прямолінійності не більше 0,04 мм на 100 мм довжини шліців.

**Накатування зубчастих коліс у 15-20 разів продуктивніше за виготовлення коліс методами різання.**

Накатують як циліндричні колеса з прямим, косим та шевронним зубом, так і конічні колеса.

Зубці коліс з модулем до 1 мм накатують у холодному стані, а більших - у гарячому або у комбінованому (гаряче-холодному стані).

Принципова схема накатування зубчастого колеса у гарячому стані показана на рисунку 1.73 [7].

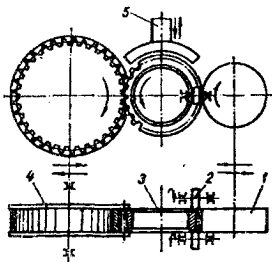


Рисунок 1.73 – Накатування зубчастого колеса

Заготовка 3, встановлена на оправці 2, вимушено обертається між зубчастим 4 та гладким 1 колесами. Гладке колесо попереджує витікання металу з периферії заготовки, а реборди на зубчастому колесі 4 не дають утворюватися дефектам на торцевих поверхнях заготовки. Нагрівання заготовки до температури  $1000-1200^{\circ}\text{C}$  забезпечує індуктор струму високої частоти 5.

Холодне накатування забезпечує точність зубців 6-8-го ступенів, а гаряче накатування – 8-9-го при шорсткості поверхні  $Ra (0,32-1,25)$  мкм та  $Ra (1,25-6,3)$  мкм відповідно [7].

Накатування зубчастих коліс здійснюють в умовах великосерійного та масового виробництва на спеціальних установках.

Завершальна обробка накатаних коліс передбачає обробку центрального отвору та торцевих поверхонь.

**Накатування рифлень, клейм та знаків на окремих елементах деталей виконують накатуванням у холодному стані.**

Рифлення можуть бути накатані на токарному верстаті роликками з певним профілем накатки, встановленими у спеціальну державку (див. рисунок 1.74)

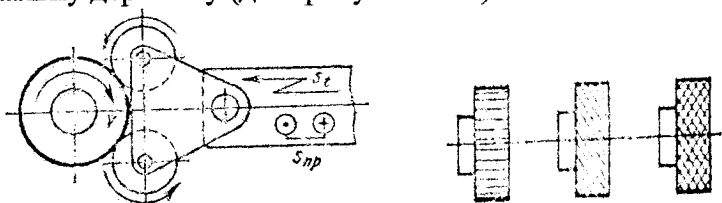


Рисунок 1.74 – Державка з роликками та види рифлень

Обробку прямих та косих рифлень виконують одним роликком, а сітчастих – двома з протилежним напрямком рифлень.

Накатування клейм та знаків в умовах великосерійного та масового виробництва здійснюють на спеціальних установках (див. рисунок 1.75).

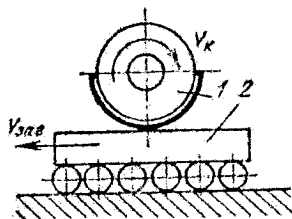


Рисунок 1.75 – Схема нанесення на поверхню клейма

На накатнику 1 розміщена негативно виступаюча форма клейма. Заготовку 2, встановлену на пристрої з роликками, переміщують повз накатник, який переносить клеймо на її поверхню.

Аналогічна схема може бути реалізована і для круглих заготовок.

Рифлення та клейма можуть бути нанесені і на спеціальних верстатах.

## 1.5 Електрофізична та електрохімічна обробка (ЕФО, ЕХО)

У сучасному машинобудуванні не останнє місце займають проблеми обробки заготовок з матеріалів, що мають незвичайні властивості – підвищену міцність, крихкість, в'язкість тощо.

Крім цього, сучасні конструкції деталей дуже часто мають поверхні (отвори, пази тощо) з розмірами на рівні десятих часток міліметра з малою шорсткістю та поверхні зі спеціальними вимогами до стану поверхневого шару.

Перелічені проблеми дуже важко, а іноді і неможливо подолати традиційними способами обробки, але вони стають значно простішими при використанні способів електрофізичної та електрохімічної обробки.

Ці способи обробки нерідко з успіхом доповнюють традиційну механічну обробку, підвищуючи її продуктивність.

Досить проста кінематика ЕФО та ЕХО дозволяє проводити точне регулювання їх параметрів та автоматизацію самого процесу.

**Електрофізична обробка** - це обробка, яка призначена для зміни форми, розмірів і (або) шорсткості поверхні заготовки з використанням електричних розрядів, магнітострикційного ефекту, електронного або оптичного випромінювання, плазмового струменя (ГОСТ 3.1109-82).

**Електрохімічна обробка** - це обробка, яка призначена для зміни форми, розмірів і (або) шорсткості поверхні заготовки внаслідок розчинення її матеріалу в електроліті під дією електричного струму.

Найбільш поширеними з цих способів обробки можна вважати такі.

### **Електроіскрова обробка**

Цей спосіб ЕФО ґрунтується на використанні імпульсного електричного розряду між двома електродами, одним з яких є заготовка (анод), а другим інструмент (катод).

Тривалість імпульсу становить 20-200 мкс. Заготовки обробляють у ваннах, заповнених діелектричною рідиною – гасом або рідким мінеральним мастилом. Ця рідина не тільки охолоджує електроди (заготовку та інструмент), а і зменшує бокові розряди, що підвищує точність обробки.

Деякі схеми електроіскрової обробки показані на рисунку 1.76 [8].

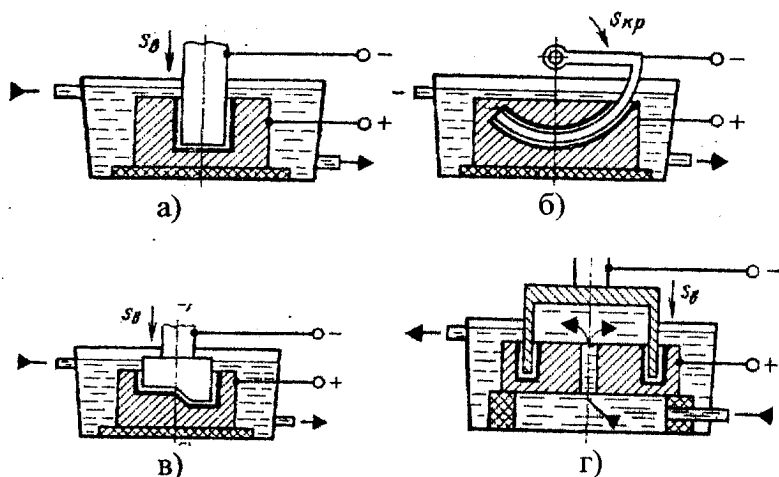


Рисунок 1.76 - Деякі схеми електроіскрової обробки:

- а) прошивання отвору; б) прошивання отвору з криволінійною віссю; в) обробка фасонної поверхні штампа; г) обробка канавки

Для підтримання постійного зазору між інструментом та заготовкою електроіскрові верстати обладнані слідкуючими системами та механізмами автоматичної подачі інструмента.

Інструменти виготовляють з латуні, міді, вуглеграфітових та подібних матеріалів.

Спосіб призначений для обробки практично усіх електропровідних матеріалів. Його доцільно використовувати при обробці твердих сплавів, танталу, молібдену тощо.

Електроіскрову обробку широко використовують при виготовленні штампів, прес-форм, різального інструмента, сіток та сит, нарізанні різи тощо.

До недоліків методу можна віднести порівняно невелику продуктивність та досить швидке зношування інструмента.

Електроіскрова обробка забезпечує точність за 6-10-м квалітетами при шорсткості поверхні Ra (0,1-2,5) мкм [8].

## Ультразвукова обробка

Ультразвукова обробка (УЗО) ґрунтується на використанні магнітострикційного ефекту. Він полягає у тому, що феромагнітні матеріали (нікель, залізокобальтові та залізоалюмінієві сплави, ферити тощо) мають властивість змінювати свої розміри під дією електромагнітного поля. З цих матеріалів виготовляють осердя, до яких прикріплюють робочі інструменти - пуансони потрібної форми.

При частоті коливання електромагнітного поля 16-30 кГц амплітуда коливання торця інструмента досягає 40-60 мкм.

Заготовки розміщують у ванні, що заповнена суспензією з води та абразивного порошку.

Колівання торця інструмента передаються абразивним зернам, які із значною швидкістю наносять удари по оброблюваній поверхні, що забезпечує видалення матеріалу.

Між пуансоном та заготовкою підтримують постійний зазор 0,05-0,08 мм.

Ультразвуковий спосіб (див. рисунок 1.77) дозволяє обробляти крихкі та тверді матеріали типу скло, кераміка, ферити, кварц, алмаз, загартовані сталі та тверді сплави тощо.

Інструменти виготовляють із в'язких, загартованих до твердості HRC 35-40 матеріалів.

Якість обробки поверхні залежить від частоти коливань та розміру абразивних зерен і знаходиться у межах 6-9-го квалітетів при шорсткості поверхні Ra (0,025-1,63) мкм [8].

Цей спосіб використовують в усіх типах виробництва.

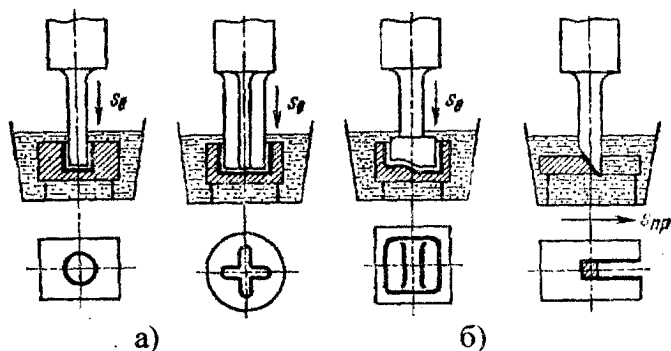


Рисунок 1.77 – Схеми ультразвукової обробки:  
 а) прошивання отворів різної форми; б) розрізання заготовки

### Світлопроменева (лазерна) обробка

Лазерна обробка ґрунтується на тепловій дії світлового променя високої енергії на поверхню заготовки. Джерелом світлового випромінювання є лазер – оптичний квантовий генератор (ЕКГ).

Енергія, що створюється ЕКГ, досить незначна – 20-200 Дж, але те, що вона виділяється за мільйонні частки секунди та сфокусована у промені діаметром близько до 0,01 мм, забезпечує температуру у зоні обробки 6000-8000С<sup>0</sup>.

У результаті поверхневий шар матеріалу, що знаходиться у фокусі променя, миттєво нагрівається та випаровується.

Лазерну обробку використовують для прошивання наскрізних та глухих отворів, розрізання та вирізання складних за формами заготовок з листа, прорізання пазів тощо.

Цей спосіб практично не має обмежень матеріалів, що підлягають обробці. Наприклад, у алмазі отвір діаметром 0,5 мм можна виготовити за частки секунди.

Лазерна обробка забезпечує точність у межах 10-11-го квалітетів при шорсткості поверхні Ra (0,32-2,5) мкм [8].

Спосіб використовують в усіх типах виробництва.

## Електрополірування

Електрополірування належить до електрохімічних способів обробки. Принцип його дії базується на явищі анодного розчинення при електролізі. При проходженні постійного електричного струму через електроліт 4 (див. рисунок 1.78а) на поверхні заготовки 2, що включена в електричну мережу як анод, проходить хімічна реакція, яка розчиняє поверхневий шар.

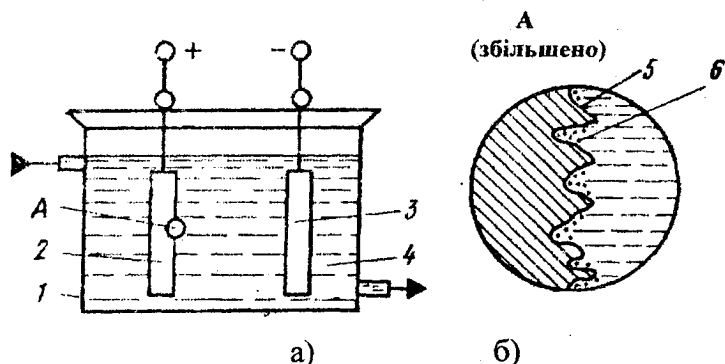


Рисунок 1.78 – Схема електрополірування поверхні

Другим електродом – катодом 3 - є металева пластина з міді, свинцю, сталі тощо. Для підвищення продуктивності процесу електроліт підігрівають до  $40-80\text{ C}^0$ .

Розчин матеріалу (див. рисунок 1.78б) переважно проходить на виступах мікронерівностей поверхні, оскільки на них створюється більша щільність електричного струму.

Завдяки цьому мікронерівності згладжуються, що покращує не тільки зовнішній вигляд поверхні, а і виключає термічні зміни поверхневого шару, підвищує корозійну стійкість тощо.

Електрополірування дозволяє обробляти як зовнішні, так і внутрішні поверхні. Цей спосіб використовують для загострення різальних, у тому числі медичних інструментів, виготовлення фольги тощо.

Електрополірування забезпечує шорсткість поверхні на рівні  $Ra (0,02-0,4)\text{ мкм}$  [8].



- 1 Що таке основні та допоміжні поверхні?
- 2 Що таке поверхні 1-го, 2-го, ... рангів?
- 3 Класифікація способів обробки поверхонь заготовок.
- 4 Що таке маршрут обробки поверхні (МОП)?
- 5 Що таке лезові способи обробки?
- 6 Що таке абразивні способи обробки?
- 7 Технологічні можливості стругання та довбання.\*
- 8 Технологічні можливості фрезерування.\*
- 9 Технологічні можливості точіння та розточування.\*
- 10 Технологічні можливості шабрування.\*
- 11 Технологічні можливості шліфування.\*
- 12 Технологічні можливості притирання.\*
- 13 Технологічні можливості полірування.\*
- 14 Технологічні можливості суперфінішування.\*
- 15 Технологічні можливості протягування.\*
- 16 Технологічні можливості свердлення, зенкерування, \*  
зенкування, цекування, розвертання.\*
- 17 Технологічні можливості хонінгування.\*
- 18 Класифікація різі та способів її обробки.
- 19 Лезові способи обробки різі.
- 20 Абразивні способи обробки різі.
- 21 Класифікація пазів та способи їх обробки.
- 22 Способи обробки шліців.
- 23 Класифікація зубчастих коліс.
- 24 Способи обробки зубчастих коліс методом копіювання.
- 25 Способи обробки зубчастих коліс методом обкочування.
- 26 Способи ППД обробки поверхонь.
- 27 Способи ЕФО,ЕХО обробки поверхонь.

\* Треба знати, які поверхні можна обробити даним способом, кінематику процесу, верстати та інструменти, економічні показники точності та шорсткості обробленої поверхні, типи виробництв, де доцільно їх використовувати.

## **Тема 2 Технологічні обробляючі системи для реалізації технологічних процесів механічної обробки**

### **2.1 Загальні відомості про технологічні обробляючі системи**

Як зазначалося вище, на сучасному етапі розвитку машинобудування поняття технологічна обробляюча система (або Т-система) замінило такі раніше використовувані терміни, як “система ВПД” (за російською аббревіатурою “СПИД” (верстат – пристрій – інструмент – деталь)), “ЗПВ” – заготовка – інструмент – пристрій – верстат та ін. Але як і раніше головними складовими Т-систем виготовлення виробів залишаються технологічне обладнання (металорізальний верстат, термічна піч, гальванічна ванна тощо), інструменти та пристрої.

Розвиток техніки у деяких випадках дуже істотно змінює уявлення про технологічні можливості кожної складової частини Т-системи, але інтегровані її можливості завжди будуть результатом їх спільного впливу.

Розвиток та вдосконалення систем ЧПК верстатами значно розширює множину способів обробки, які можна на них реалізувати.

Наприклад, на верстатах токарної групи з’являється можливість додатково виконувати технологічні переходи, що традиційно реалізовувалися на верстатах фрезерної або свердлильно-розточувальної груп.

Це, у свою чергу, змінює принципи побудови структур технологічних процесів у бік поширення принципу концентрації складу технологічних операцій.

Особливо важливі такі зміни в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва. Така концентрація за наявності сучасних комп’ютерних систем підготовки виробництва (проектування технології, підготовки керуючих програм тощо) значно підвищує продуктивність праці, зменшує потребу у виробничих площах та робітниках.

## 2.2 Технологічні можливості обробляючої системи як об'єднання технологічних можливостей її елементів – верстат, інструмент, пристрій

Як відомо, технологічна операція - це частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці. У свою чергу, робоче місце - це частина виробничої площі, на якій розміщено технологічне обладнання, частина конвеєра та на обмежений час заготовки, пристрої та інструменти [1].

Кожне таке робоче місце і є спеціалізованою технологічною обробляючою системою (Т-системою) для реалізації технологічної операції.

Технологічні можливості такого робочого місця (ТМРМ) визначають можливості виконання певної множини технологічних переходів (реалізацію певних способів обробки поверхонь) з використанням множини пристроїв, різальних та допоміжних інструментів.

Таким чином, технологічні можливості робочого місця як Т-системи треба розглядати як об'єднання множин технологічних властивостей верстата  $M_v$ , пристрою  $M_p$  та інструментів  $M_{in}$ :

$$TMRM = M_v \cup M_p \cup M_{in}. \quad (2.1)$$

У зв'язку з цим ТМРМ не можна розглядати як дещо постійне. Модернізація обладнання, створення нових більш досконалих пристроїв та інструментів їх розширюють, тобто множини  $M_v$ ,  $M_p$  та  $M_{in}$  поповнюються новими елементами.

З іншого боку, формула 2.1 визначає потенційні ТМРМ, оскільки передбачає всі можливі пересічення (формула 2.2) складових множин:

$$TMRM = M_v \cap M_p \cap M_{in}. \quad (2.2)$$

Матеріалізація кожного і-го варіанта (ТМРМі) такого пересічення, створена у виробничих умовах з використанням певних елементів множин  $M_{vi} \in M_v$ ,  $M_{pi} \in M_p$  та  $M_{ni} \in M_n$ , є спеціалізацією робочого місця на виконання конкретної технологічної операції у певний період часу.

Найбільш інтегрованим показником, що має відношення до складових елементів усіх зазначених вище множин, можна вважати технологічні переходи, які реалізують певні способи обробки.

Діючий стандарт (ГОСТ 3.1702-72 “Правила записи операцій и переходов. Обработка резанием”) передбачає певні коди та ключові слова для їх запису у технологічній документації. Деякі з них подані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Ключові слова та коди технологічних переходів

Код	Ключове слово	Код	Ключове слово	Код	Ключове слово
04	Гравірувати	17	Підрізати	28	Стругати
05	Довести	18	Полірувати	29	Суперфінішувати
06	Довбати	19	Притерти	30	Точити
08	Загострити	21	Протягти	31	Хонінгувати
10	Зенкерувати	22	Розвернути	32	Шевінгувати
12	Накатати	24	Розкотити	33	Шліфувати
13	Нарізати	25	Розсвердлити	34	Цекувати
14	Обкатати	26	Розточити	35	Центрувати
16	Відрізати	27	Свердлити	36	Фрезерувати

Використовуючи коди технологічних переходів, можна досить просто зробити таблиці відповідності до них верстатів, пристроїв та інструментів.

Таким чином, створюється інформаційна база, що дає уяву про технологічні можливості робочих місць, а це, у свою чергу, забезпечить правильне формування складу технологічних операцій при проектуванні технологічних процесів.

Крім цього, ключові слова технологічних переходів можуть бути використані при формулюванні текстів самих переходів для запису у технологічну документацію.

## 2.3 Металорізальні верстати

### 2.3.1 Класифікація металорізальних верстатів

Класифікація металорізальних верстатів передбачає основну та додаткові ознаки.

Основна ознака класифікації характеризує множину технологічних способів обробки, що реалізуються на верстаті.

Цей принцип класифікації свого часу був запропонований експериментальним науково-дослідним інститутом металорізальних верстатів (у російській аббревіатурі - ЭНИМС) і використовується у багатьох сучасних позначеннях верстатів.

Згідно з ним всі верстати, що виготовляють серійно, поділені на 10 груп, кожна з яких, у свою чергу, містить 10 типів (див. таблицю 2.2) [6].

Позначення моделі верстата складається із цифр та літер.

Перша цифра позначає групу верстата, а друга - його тип. Наступні цифри вказують на основні технічні характеристики верстата (наприклад, максимальний діаметр прутка, що може бути оброблений, або висоту центрів для токарних верстатів). Між цифрами можуть бути літери, які вказують на те, що верстат має певні вдосконалення – модернізацію у порівнянні з базовою моделлю.

Наприклад, верстат моделі 1Б140. Перша цифра - 1 показує, що верстат належить до токарної групи. Літера “Б” означає, що конструкція модернізована. Друга цифра 1 вказує на те, що верстат належить до одношпindelних автоматів, а останні дві цифри – “40” позначають максимальний діаметр круглого прокату, який можна обробити на верстаті.

Верстат моделі 2150: цифра 2 показує, що верстат належить до групи 2 (свердлильно-розточувальна); друга цифра “1” – вертикально-свердлильний верстат; 50-максимально можливий діаметр свердла, мм.

Верстат 3740 – плоскошліфувальний із круглим столом діаметром 400 мм.

Відповідність способів обробки (технологічних переходів) для основних груп верстатів наведена у таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 – Класифікація металорізальних верстатів (фрагмент)

Назва верстата	Група	Тип верстата								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
Токарні	1	Автомати та напівавтомати		Револьверні			Карусельні	Гвинторізні та лоботокарні		Багаторізцеві та копіювальні
Свердлильні та розточувальні	2	Настільні та вертикальні		Напівавтомати			Радіальні та координатні	Розточувальні		
Шліфувальні, полірувальні, для загострення	3	Кругло- та безцентрово-шліфувальні		Для обдирання			Поздовжньо-шліфувальні	Для загострення		Плоско-шліфувальні
Електрофізичні та електрохімічні	4			Електрохімічні						Електроерозійні, ультразвукові
Для обробки зубців та різі	5	Різенарізні		Зубофрезерні				Різефрезерні		Зубо-оздоблювальні
Фрезерні	6	Вертикальні консольні		Поздовжні одностійкові			Вертикальні безконсольні			
Стругальні, довбальні, протяжні	7	Поздовжньо-стругальні		Поперечно-стругальні			Горизонтально-протяжні	Вертикально-протяжні		

Таблиця 2.3 - Відповідність технологічних переходів та груп верстатів

Код	Ключове слово	Група верстата							
		1	2	3	4	5	6	7	8
04	Гравірувати						X		
05	Довести	X							
06	Довбати					X	X	X	
08	Загострити			X					
10	Зенкерувати	X	X				X		
12	Накатати	X							
13	Нарізати	X	X			X			
14	Обкатати	X				X			
16	Відрізати	X			X		X		X
17	Підрізати	X	X				X		
18	Полірувати	X		X	X				
19	Пригерти	X	X	X		X			
21	Протягти								X
22	Розвернути	X	X				X		
24	Розкотити	X							
25	Розсвердлити	X	X				X		
26	Розточити	X	X				X		
27	Свердлити	X	X				X		
28	Стругати					X		X	
29	Суперфінішувати	X							
30	Точити	X							
31	Хонінгувати		X						
32	Шевінгувати					X			
33	Шліфувати			X					
34	Цекувати	X	X				X		
35	Центрувати	X	X				X		
36	Фрезерувати						X		

“X” позначає, що відповідність існує.

У зв'язку зі збільшенням на ринку верстатів закордонного виробництва, для яких вищенаведена класифікація не є обов'язковою, їх позначення можуть суттєво відрізнятись. У таких випадках для визначення групи та типу верстата треба використовувати його паспортні дані.

Додаткові ознаки класифікації, що характеризують верстати:

**а) за ступенем універсальності:**

- універсальні для обробки різних за формою та розмірами поверхонь заготовок (токарно-гвинторізні, фрезерні, свердлильні тощо);
- широкого призначення для виконання певних операцій при обробці різних заготовок (фрезерно-центрувальні, багаторізцеві тощо);
- спеціалізовані для обробки заготовок одного найменування або конструктивно подібних, але різних розмірів (колінчасті вали, труби та ін.);
- спеціальні для обробки певної заготовки або виконання типової операції (обробка ребордів вагонних коліс);

**б) клас верстата за ступенем точності:**

- нормальної точності "Н";
- підвищеної точності "П";
- високої точності "В";
- особливо високої точності "А";
- майстер-верстати "С" (з похибкою обробки до 1 мкм).

Подальший розвиток прецизійного машинобудування викликає необхідність засвоєння випуску ще більш точних верстатів класів "Т" (з похибкою обробки до 0,3 мкм) та класу "К" (з похибкою обробки до 0,1 мкм).

**в) за ступенем автоматизації:**

- з ручним керуванням;
- напівавтомати;
- автомати;
- верстати з ЧПК — CNC (Computer Numerical Control).

Ці верстати дуже часто у позначенні моделі мають літеру "Ф" та цифру.

Літерно-цифрове позначення має такий сенс:



- Ф1 – означає, що верстат обладнаний системою цифрової індексації положення робочих органів;
- Ф2 - позиційною системою керування за двома координатами послідовно;
- Ф3 – контурною системою керування за двома координатами одночасно;
- Ф4 – за чотирма координатами тощо.

Наприклад, верстат 16К20Ф3 – це верстат токарно-гвинторізний з висотою центрів 200 мм, оснащений контурною системою ЧПК.

Самі системи числового керування мають такі різновиди:

- Hand Numerical Control (HNC). – системи, що дозволяють вводити інформацію в ручному режимі за допомогою клавіатури на панелі керування та зберігати її у пам'яті системи;

- Speiher Numerical Control (SNC) системи, що передбачають вводити керуючу інформацію із зовнішніх носіїв та зберігати її у пам'яті системи;

- Direct Numerical Control (DNC) системи, що дозволяють керувати не тільки декількома верстатами одночасно, але і допоміжними системами виробництва (транспортуванням, механізованими складами, проводити облік часу роботи та простоїв тощо).

Подальша деталізація технологічних можливостей верстата, технічна та економічна оцінка доцільності його використання для виконання технологічної операції включає такі показники, як габарити робочої зони, кількість інструментів, потужність двигуна, значення частот обертання шпинделя, значення подач, габаритні розміри, маса тощо і проводиться на підставі паспортних даних або з довідників.

За цими показниками сучасні металорізальні верстати дозволяють проводити обробку заготовок із розмірами від десятих часток міліметра до десятків метрів, можуть розміщувати десятки інструментів, що змінюються автоматично під час роботи, мають від одного до 8 і більше шпинделів, габаритні розміри у десятки метрів та масу сотні тонн.



На рисунку 2.2 подані схеми обробки на багаторіздевих верстатах шків (з використанням супортів поперечної подачі) та вала (з використанням супортів поздовжньої та поперечної подач).

Виготовлення такого шків можна здійснити і на багатошпindelному верстаті (див. рисунок 2.3а).

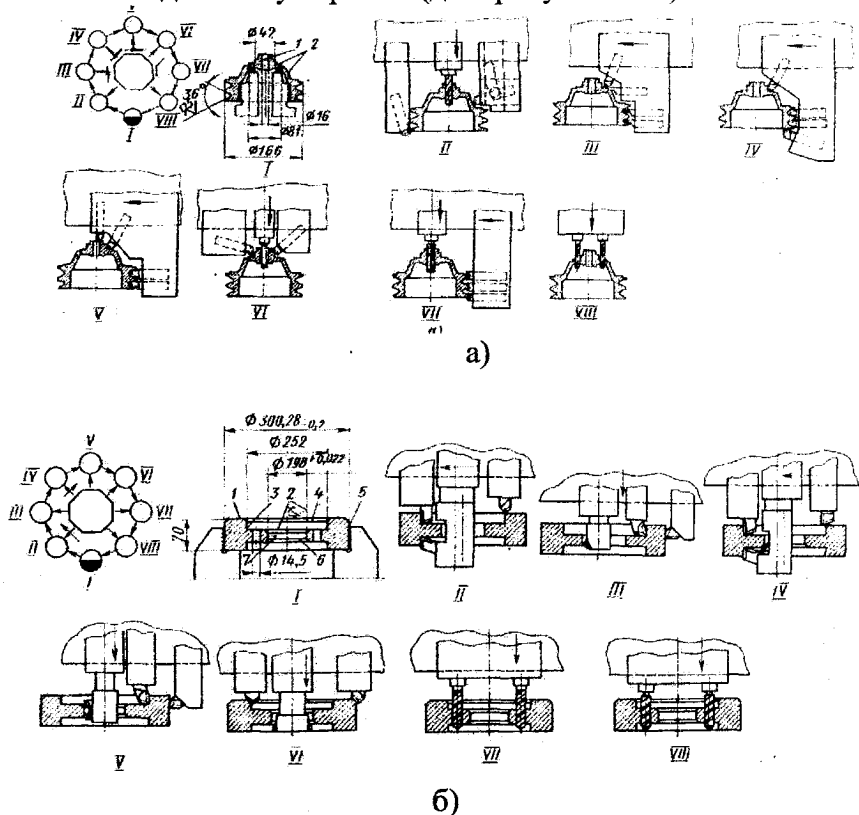


Рисунок 2.3 - Багатошпindelна обробка

На рисунку 2.3б показана схема токарної обробки зубчастого колеса.

Таким чином, сучасні верстати дають великі можливості забезпечувати як точність, так і необхідну продуктивність реалізації технологічних процесів.

## 2.4 Металорізальні інструменти

### 2.4.1 Класифікація металорізальних інструментів

За характером роботи інструменти поділяють на різальні, штампувальні та вимірювальні.

При виконанні технологічних переходів в операціях механічної обробки використовують різальні інструменти, при обробці тиском - штампувальні, а при виконанні допоміжних переходів або в контрольних операціях – вимірювальні інструменти.

Найбільш поширеними є різальні інструменти таких типів: різці, осьовий інструмент (свердла, зенкери, зенківки, розвертки), фрези, абразивний інструмент, протяжки, інструмент для зубчастих коліс, слюсарний інструмент.

Розподілимо їх умовно на групи, подібні до груп верстатів (див. таблицю 2.4).

Таблиця 2.4 - Класифікація металорізальних інструментів за групами

Номер групи	Назва різального інструмента
1	Різці (див.рисунок 2.4)
2	Осьовий інструмент (свердла, зенкери, зенківки, цеківки, розвертки, а також комбінований із них інструмент) (див.рисунок 2.5)
3	Абразивний інструмент
4	Інструмент для способів ППД
5	Довбачі для зубчастих коліс, шевери
6	Фрези (див.рисунок 2.6)
7	Протяжки
8	Слюсарний інструмент (зубила, напилки, шабери тощо)

Відповідність цих інструментів щодо множини технологічних переходів наведена у таблиці 2.5.

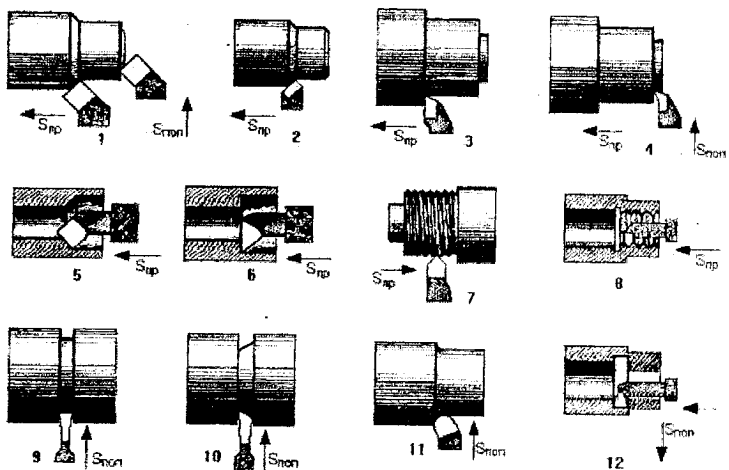


Рисунок 2.4 – Основні типи токарних різців:

1 – прохідний відігнутий; 2 – прохідний прямий; 3 – підрізний;  
 4 – для контурного точіння; 5 – розточувальний прохідний;  
 6 – розточувальний підрізний; 7, 8 – для нарізання різі; 9, 10 –  
 для точіння канавок та відрізання; 11 – радіусний (галтельний);  
 12 – для розточування канавок

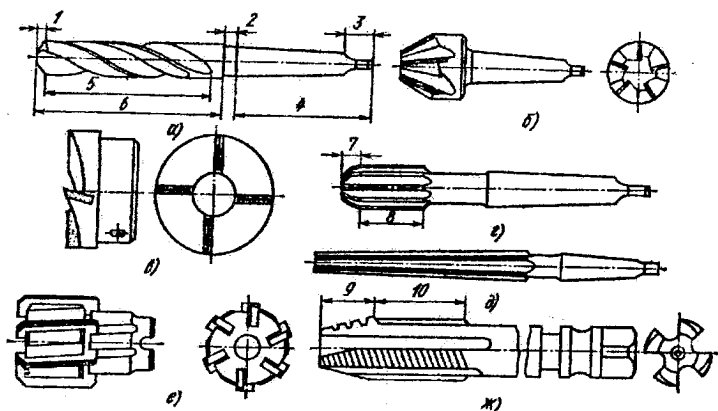


Рисунок 2.5 – Основні типи осевого інструмента:  
 а) свердло; б) зенківка; в) зенкери; г) машинна розвертка;  
 д) конічна розвертка; ж) мітчик

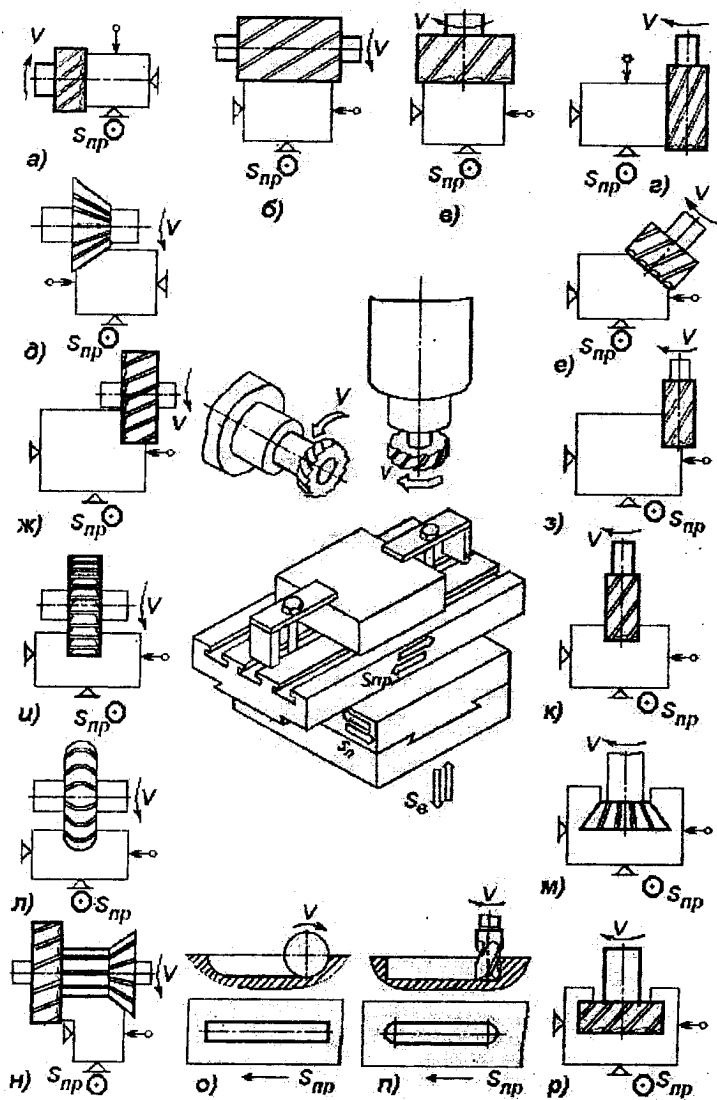


Рисунок 2.6 - Основні типи фрез та їх технологічні можливості

Таблиця 2.5 - Відповідність технологічних переходів та груп різальних інструментів

Код	Ключове слово	Група різальних інструментів							
		1	2	3	4	5	6	7	8
04	Гравірувати						X		
05	Довести			X					
06	Довбати	X				X			
08	Загострити			X					
10	Зенкерувати		X						
12	Накатати				X				
13	Нарізати	X							
14	Обкатати				X				
15	Обпиляти								X
16	Відрізати	X							
17	Підрізати	X							
18	Полірувати			X					
19	Притерти			X					
21	Протягти							X	
22	Розвернути		X						
23	Розвальцювати				X				
24	Розкотити								X
25	Розсвердли		X						
26	Розточити	X							
27	Свердли		X						
28	Стругати	X							
29	Суперфінішувати			X					
30	Точити	X							
31	Хонінгувати			X					
32	Шевінгувати					X			
33	Шліфувати			X					
34	Цекувати		X						
35	Центрувати		X						
36	Фрезерувати						X		

“X” позначає, що відповідність існує.

Крім класифікації інструментів за призначенням щодо виконання певної множини технологічних переходів, їх можна додатково класифікувати за такими ознаками:

- кількість різальних кромок (одно - або багатолезові);
- конструкція (суцільний, збірний або комбінований);
- матеріал різальної частини.

Розглянемо деякі з цих ознак більш досконало.

З усього різноманіття різальних інструментів до однолезових можна віднести лише декілька з них – різці (див. рисунок 1.18), зубила, шабери (див. рисунок 1.10).

Усі інші інструменти, як правило, мають декілька різальних кромок, що одночасно підвищує і продуктивність, і точність обробки.

За конструкцією різальні інструменти можна поділити на:

- суцільні, тобто повністю виготовленні з одного матеріалу.

Суцільними виготовляють слюсарний інструмент (зубила, напилки тощо), свердла, фрези, розвертки, протяжки та їм подібні інструменти невеликого розміру;

- збірні, тобто такі, що мають корпусний елемент та різальну частину, що приєднана до нього нерознімними методами складання (зварювання, напаювання) або механічним кріпленням (див. рисунок 2.7).

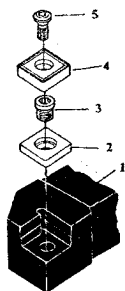


Рисунок 2.7 – Різець з механічним кріпленням різальної пластини:

- 1 - корпус різця (державка); 2 – підкладна пластина;
- 3 – гвинт кріплення підкладної пластини; 4 – різальна пластина;
- 5 – гвинт кріплення різальної пластини



Зварювання, наприклад, тертям найчастіше використовують при виготовленні осьового інструмента. При цьому різальну частину приварюють до хвостовика з конструкційної сталі.

Напаюванням виготовляють токарні різці, різноманітні фрези, зенкери тощо. Як припій використовують сплави на основі міді.

Механічне кріплення здійснюють в інструментах, що оснащені багатограними пластинами (звичайно від 3 до 6 граней), виготовленими з кераміки, твердих та надтвердих сплавів.

Така конструкція інструментів дозволяє знизити їх собівартість за рахунок того, що значно зменшуються витрати дорогих інструментальних матеріалів для різальної частини.

Комбінований інструмент призначений для реалізації за один робочий хід декількох способів обробки, наприклад, свердло-зенкер-цеківка (див. рисунок 2.8а) або для одночасної обробки декількох поверхонь – триступінчастий зенкер (див. рисунок 2.8б).

Комбінований інструмент також може бути як суцільним, так і збірним.

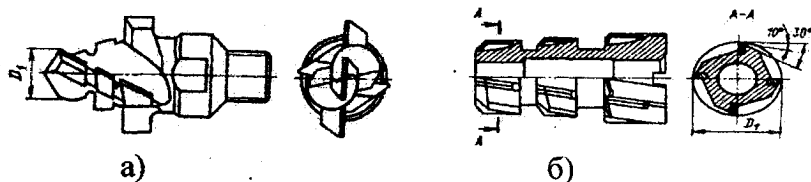


Рисунок 2.8 – Деякі конструкції комбінованого інструмента

Яку б конструкцію не мав різальний інструмент, він обов'язково має різальну частину, виготовлену із спеціального інструментального матеріалу.

Сучасні інструментальні матеріали призначені для обробки великого різноманіття матеріалів заготовок на різних етапах обробки: від чорнових до оздоблювальних.

Правильний вибір конструкції різальних інструментів та призначення матеріалу їх різальної частини є однією з найважливіших задач технолога.

## 2.4.2 Сучасні інструментальні матеріали для металорізальних інструментів

Різальна частина інструмента під час роботи піддається зношенню, тепловим впливам і силовим навантаженням. Тому інструментальний матеріал повинен мати високу твердість, теплостійкість, зносостійкість, достатню міцність та ударну в'язкість.

Твердість інструмента повинна значно перевищувати твердість матеріалу заготовки.

До інструментальних матеріалів належать сталі, тверді сплави, мінералокераміка і надтверді матеріали (див. таблицю. 2.6).

Таблиця 2.6 - Інструментальні матеріали

Сталі	Тверді сплави	Мінералокераміка	Надтверді матеріали
Вуглецеві	WC-Co WC-TiC-Co WC-TiC-Ta-Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiC	Алмаз
Леговані			Ельбор
Швидко-різальні			(кубічний нітрид бору)

Властивість матеріалу зберігати необхідну твердість при високій температурі називається теплостійкістю (червоностійкістю). Під впливом високої температури під час різання твердість інструмента знижується і може виявитися недостатньою для здійснення різання. Від теплостійкості залежить допустима швидкість різання. Ударна в'язкість необхідна для інструментів ударної дії.

Технологічні властивості деяких марок інструментальних матеріалів наведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7- Властивості інструментальних матеріалів

Матеріал	Марка	Твердість	Теплостій- кість, °С	Орієнтовна швидкість різання, м/хв
Вуглецева сталь	У10А	HRC 61-63	150-250	15-18
Легована сталь	ХВГ	HRC 62-64	250-350	До 25
Швидкорі- зальна сталь	P18	HRC 63-66	600-650	До 100
Твердий сплав	T15K6, BK8	HRA 87-92	1000	До 1000
Мінерало- кераміка	ЦМ-332	HRA 87-92 (HV 22500)	1200	До 1500
Ельбор	Ельбор	HV90700	1500	До 1500
Алмаз штучний	АСБ	HV98700	600	До 300

Вуглецеві інструментальні сталі (ДСТ 1435–90) містять 0,65–1,35% С. Вони маркуються літерою “У” і однією-двома цифрами: У7-У13, У7А-У13А. Літера “У” позначає, що сталь вуглецева, число показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка, літера “А” позначає, що сталь високоякісна, тобто зі зниженим змістом шкідливих домішок, сірки і фосфору.

Приклад розшифрування сталі марки У10А: сталь вуглецева, високоякісна, містить  $\approx 1,0\%$  вуглецю.

Вуглецеві інструментальні сталі мають високу твердість, міцність, добре шліфуються, дешеві і недефіцитні.

Найбільш поширене їх використання наведено у таблиці 2.8.

Леговані інструментальні сталі (ДСТ 5950–73) звичайно містять 0,9–1,4% С. Сумарний вміст легуючих елементів (Cr, W,

Mn, Si, V і ін.) не перевищує 5%. Усі сталі цієї групи роблять високоякісними.

Таблиця 2.8 - Використання вуглецевих сталей

Марка сталі	Типове призначення
У7,У7А,У8,У8А	Зубила, клейма, ножиці, штампи, інструмент для обробки деревини
У9,У9А,У10,У10А, У11,У11А	Мітчики, свердла, розвертки, ножівки.
У12,У12А,У13,У13А	Напилки, інструмент для гравіювання

Висока твердість і зносостійкість визначаються процентним вмістом вуглецю. Легування використовується головним чином для підвищення прогартовування, а також для збереження дрібного зерна, міцності і в'язкості.

Сталі даної групи маркуються цифрами і літерами. На початку марки цифра показує середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Відсутність цифри означає, що вміст вуглецю становить близько 1%. Літери за цифрами – відповідний легуючий елемент, цифра за літерою – середній вміст цього елемента в цілих відсотках. Відсутність цифри означає, що даного елемента міститься ~ 1%. При маркуванні використовують такі літерні позначення легуючих елементів: В – вольфрам; Г – марганець; К – кобальт; М – молібден; Н – нікель; С – кремній; Т – титан; Ф – ванадій; Х – хром.

Приклад розшифрування сталі марки ХВГ: сталь інструментальна, легована, високоякісна, містить ~ 1% вуглецю, ~ 1% хрому, ~ 1% вольфраму, ~ 1% марганцю.

Сталі марок Х, У2Ф, 13Х, ХВСГ, 9ХС, ХВГ використовують для виготовлення плашок, розверток, мітчиків, шаберів та інших інструментів, що працюють при швидкостях різання до 25 м/хв.

**Швидкорізальні сталі** мають більш високу теплостійкість (550–650 °С).

Швидкорізальні сталі (ДСТ 19265–73) містять 0,7–1,5% С, до 18% W та інші елементи. У позначенні марок наявна літера Р (від англ. слова «Rapid»), що в перекладі означає «швидкий».

Цифри за цією літерою показують середній вміст вольфраму, який є основним легуючим елементом, тому що забезпечує високу теплостійкість.

Приклад розшифрування сталі Р18: сталь швидкорізальна, високоякісна, містить 18% вольфраму.

За останні роки все більшого поширення набувають безвольфрамові сталі М6Ф1, М6Ф3, М5Ф1С, М5Ф1С4 та ін.

Із швидкорізальних сталей виготовляють фасонні різці, свердла, фрези, у тому числі для обробки зубчастих коліс, тощо.

**Тверді сплави** являють собою сплави карбідів тугоплавких металів з кобальтом, що є своєрідним зв'язуванням. Тверді сплави мають високу твердість, зносостійкість і теплостійкість до 1000 °С.

При цьому вони мають меншу ударну в'язкість і теплопровідність у порівнянні зі швидкорізальними сталями. Тверді сплави випускають у вигляді пластинок різних форм і розмірів, виготовлених методом порошкової металургії.

Промисловість випускає три групи вольфрамових твердих сплавів (ДСТ 3882–74): **ВК** – вольфрамові, **ТК** – титановольфрамові і **ТТК** – титанотанталовольфрамові.

Крім того, існує ще група безвольфрамових твердих сплавів на основі карбідів інших сполук титану з додаванням молібдену, нікелю та інших тугоплавких металів.

**Однокарбідні тверді сплави** виготовляють на основі карбиду вольфраму і називають вольфрамовими (група **ВК**). У марках ВК2, ..., ВК30 літера К означає кобальт Со, а цифра показує його вміст у відсотках. Друга складова таких сплавів - карбід вольфраму **WC**.

Приклад розшифрування сплаву ВК8: 8% Со + 92% WC.

Сплави цієї групи найміцніші. Зі збільшенням вмісту кобальту підвищується опір сплаву ударним навантаженням, але зменшується його зносостійкість. Застосовуються однокарбідні

сплави для обробки чавуну, нержавіючих сталей, кольорових металів і їхніх сплавів, неметалевих матеріалів.

Гранична теплостійкість цих матеріалів визначається початком інтенсивного окиснювання карбідів, тобто температурою 950–1000 °С.

**Двокарбідні тверді сплави** містять карбіди вольфраму та титану і називаються титановольфрамовими (група ТК).

У марках Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4 цифри після літери Т означають відсоток карбіду титану TiC, літера К – Со, цифра після літери К – процентний вміст кобальту, інше – карбіди вольфраму WC.

Приклад розшифрування сплаву Т5К10: 5% TiC + 10% Со + + 85% WC.

Сплави цієї групи більш зносостійкі, але менш міцніші за сплави групи ВК. Їх застосовують при обробці вуглецевих і легованих конструкційних сталей.

Гранична теплостійкість цих матеріалів визначається початком інтенсивного окиснювання карбідів, тобто температурою 1100–1150 °С.

**Трикарбідні тверді сплави** у порівнянні зі сплавами групи ТК включають карбіди танталу і називаються титанотанталовольфрамовими (група ТТК).

У марках ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9 цифра перед літерою К показує сумарний вміст карбідів титану і танталу, після літери К – вміст Со, інше – WC.

Так, сплав ТТ8К6 містить: 8% (TiC+TaC)+6%Со+86%WC.

Сплави цієї групи мають високу міцність і застосовуються при обробці жароміцних сталей і сплавів, титанових сплавів.

При призначенні матеріалу різальної частини інструмента, оснащеного твердим сплавом, технолог повинен враховувати, що для чорнової обробки вміст кобальту має бути максимальним, а для чистової – навпаки.

Тверді сплави випускають у вигляді багатогранних пластин, які закріплюють на різальному інструменті паянням або механічним кріпленням.

**Мінералокераміка** створена на основі окису алюмінію (99%) з додаванням легуючих елементів. До неї належать марки ЦМ-332, ВШ-75, ВОК 60 тощо.

Ці матеріали широко застосовуються для чистових і фінішних операцій при обробці сталевих і чавунних заготовок підвищеної міцності (наприклад, вибілений чавун).

**Штучні та природні алмази** масою 0,2–0,85 карата закріплюють на інструменті механічним способом або напаюванням.

Алмази застосовують для виготовлення абразивного інструмента, для чистового точіння заготовок з кольорових металів і сплавів, пластмас та інших неметалевих матеріалів, обробки твердих сплавів, а також інструмента для ППД.

Алмаз не дуже теплостійкий матеріал (до 600 °С). При більшому нагріванні він перетворюється на графіт.

Галузь застосування алмазних інструментів обмежується високою адгезією до заліза, що є причиною його низької зносостійкості при точінні сталей і чавунів.

**Кубічний нітрид бору (КНБ)**, відомий за назвами Ельбор-Р, Композит, Боразон, Кубоніт та Гексаніт-р, застосовують для виготовлення різальної частини різців, фрез тощо.

Випускається у вигляді пластин круглої форми діаметром до 30 мм і довжиною до 8 мм. Маючи хімічну інертність до вуглецю і заліза, КНБ успішно використовується при обробці сталей і чавунів. КНБ за твердістю наближається до алмаза і приблизно вдвічі перевершує його за теплостійкістю (1600 °С).

При фінішній обробці таким інструментом заготовок із чавуну або загартованих сталей високої твердості досягається шорсткість поверхні, що відповідає шліфуванню.

Значного підвищення працездатності інструмента (від 1,5 до 3 разів) можна досягти нанесенням на різальну частину тонкого (5-10 мкм) шару спеціального покриття.

Найбільш поширеними є одно-та багат шарові покриття не тільки на основі карбідів, нітридів та карбонітридів титану, а і на основі сполук інших тугоплавких металів (Nb, Ta, Cr, Zr, Mo) та їх композицій (TiZrN, TiAlCN, TiMoN, TiAlN, TiMoCN тощо).

Такі покриття наносять шляхом осадження із газової фази на робочі поверхні різальної частини методами CVD (метод хімічного осадження – Chemical Vapour Deposition) та PVD (метод фізичного осадження – Physical Vapour Deposition).

Метод CVD практично не має обмежень марок покриттів за їх хімічним складом.

Для зменшення негативного впливу на властивості інструментальних матеріалів високої температури (до 1100 °С), яка необхідна для методу CVD, використовують метод MT-CVD із зменшеною до 800°С температурою реалізації.

Для нанесення покриття електрофізичними способами існують спеціальні установки типу “Булат”.

### 2.4.3 Типова конструкція та геометрія різальної частини токарного прохідного різця

Токарний прохідний різець у загальному випадку має два основних елементи: робочу різальну частину (головку) I та державку II (див. рисунок 2.9). Різальна частина приєднана до державки одним із способів, розглянутих у п.2.4.

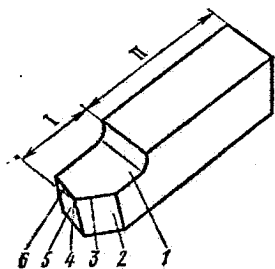


Рисунок 2.9 – Типова конструкція токарного прохідного різця



Державка може бути квадратною, прямокутною, круглою тощо і призначена для установки та закріплення різця на верстаті.

Різальна частина безпосередньо виконує процес різання і складається з таких елементів (див. рисунок 2.9).

**Передня поверхня 1** – поверхня, по якій сходить стружка.

**Головна задня поверхня 2** – поверхня, що звернена до заготовки з боку її необробленої поверхні.

**Допоміжна задня поверхня 5** – поверхня, що звернена до заготовки з боку її обробленої поверхні.

**Головна різальна кромка 3** – лінія перетину передньої та головної задньої поверхонь.

**Допоміжна різальна кромка 6** – лінія перетину передньої та додаткової задньої поверхонь.

**Вершина різця 4** - перетин головної та додаткової різальних кромок. Вершина різця може бути гострою або заокругленою певним радіусом. Наявність радіуса на вершині дозволяє зменшити шорсткість обробленої поверхні.

Перелічені елементи мають не тільки токарні різці, а також інші різальні інструменти.

Розглянуті поверхні і різальні кромки після загострювання різця по передній та задніх поверхнях розміщені під певними кутами.

Ці кути створюють необхідну геометрію різальної частини для забезпечення продуктивності та якості процесу обробки заготовки.

Кути розглядають у певній системі координат, яка пов'язана з кінематикою процесу різання.

У теорії різання кути різця та інших інструментів розглядають у таких системах координат [15]: статичній ССК (див. рисунок 2.10), інструментальній ІСК та кінематичній КСК.

**Основна площина (ОП)** – площина, паралельна напрямкам поздовжньої  $S_{пр}$  та  $S_{л}$  поперечної подачі [8].

Для токарних різців із прямокутною державкою за основну площину беруть площину, що проходить через його основу.

**Площина різання (ПР)** – площина, що проходить через головну різальну кромку.

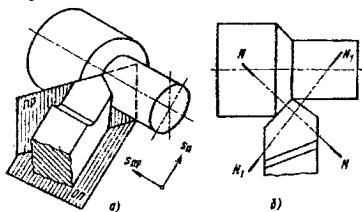


Рисунок 2.10 - Статична система координат

**Головна січна площина (N-N)** – площина, перпендикулярна до проекції головної різальної кромки на основну площину.

**Допоміжна січна площина (N<sub>1</sub> –N<sub>1</sub>)** – площина, перпендикулярна до проекції допоміжної різальної кромки на основну площину.

Кути різальної частини токарного різця в ССК показані на рисунку 2.11.

Ці кути поділяють на головні та допоміжні. Кожний із них має свою назву та умовне позначення літерою грецького алфавіту –  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\phi$ ,  $\lambda$  та за необхідності (для допоміжних кутів) ще і цифровий індекс.

**Головний передній кут  $\gamma$**  (або просто передній кут) вимірюють у головній січній площині (N-N) між слідами передньої поверхні та площини, що є перпендикулярною до сліду площини різання ПР.

Цей кут має значний вплив на процес різання, тому що його значення суттєво впливає на силу деформації шару матеріалу, що зрізається. Із збільшенням кута  $\gamma$  сила зменшується і навпаки.

**Головний задній кут  $\alpha$**  вимірюють у головній січній площині (N-N). Це кут між слідом площини різання ПР та головною задньою поверхнею.

Кут  $\alpha$  призначений для зменшення тертя між заготовкою та головною задньою поверхнею різця, що, у свою чергу, зменшує

зношення інструмента по ній. Але, з іншого боку, збільшення кута  $\alpha$  зменшує міцність різця.

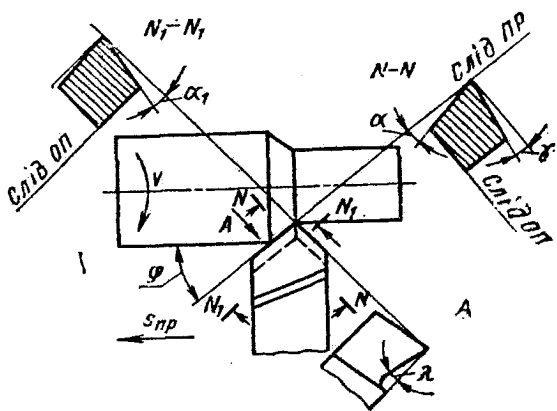


Рисунок 2.11 – Кути токарного різця у статичній системі координат

**Допоміжний задній кут  $\alpha_1$**  вимірюють у допоміжній січній площині ( $N_1 - N_1$ ) між допоміжною задньою поверхнею та площиною, що проходить через допоміжну різальну кромку перпендикулярно до основної площини ОП.

Цей кут призначений для зменшення тертя між обробленою поверхнею заготовки та допоміжною задньою поверхнею різця, що, у свою чергу, зменшує сили різання.

**Головний кут у плані  $\phi$**  - це кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину та напрямком подачі.

Цей кут суттєво впливає на шорсткість обробленої поверхні та сили різання. Його зменшення приводить до зменшення шорсткості поверхні, але сила різання, що діє у радіальному напрямку ( $P_y$ ), збільшується, що знижує точність обробки та може викликати вібрації у Т-системі.

**Додатковий кут у плані  $\phi_1$**  - це кут між проекцією додаткової різальної кромки на основну площину та напрямком, зворотним стосовно напрямку подачі.

Його зменшення приводить до зменшення шорсткості поверхні і одночасного підвищення міцності вершини різця.

Кут нахилу головної різальної кромки  $\lambda$  вимірюють у площині різання (ПР) між головною різальною кромкою та лінією, проведеною через вершину різця паралельно основній площині.

Кут  $\lambda$  може бути додатним (із знаком «+»), від'ємним (із знаком «-») або дорівнювати "0" (див. рисунок 2.12), що впливає на напрямок сходження стружки.

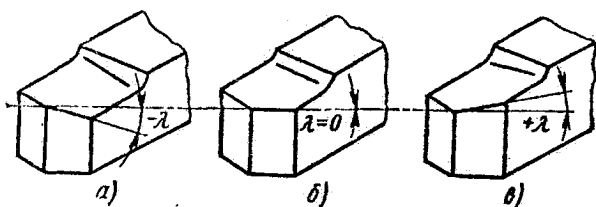


Рисунок 2.12 - Кут нахилу головної різальної кромки  $\lambda$

Якщо вершина різця є найвищою точкою головної різальної кромки, то кут  $\lambda$  додатний, і стружка сходять у напрямку подачі. Якщо  $\lambda = 0$ , то стружка сходять по осі різця, а якщо кут  $\lambda$  від'ємний, тобто вершина різця є найнижчою точкою головної різальної кромки, то стружка сходять у напрямку, зворотному напрямку подачі.

Ці особливості необхідно брати до уваги при проектуванні різальних інструментів, що працюють на автоматичному обладнанні (верстати з ЧПК, верстати-автомати та напівавтомати, автоматичні лінії тощо), де процес обробки робітник тільки контролює без впливу на нього. А стружка може пошкодити не тільки оброблену поверхню, а і сам різальний інструмент.

#### 2.4.4 Основні параметри режимів різання та типові схеми їх визначення

Процес обробки заготовок різальними інструментами характеризується деякою множиною параметрів, які узагальнено називаються режимами різання.

**Обробка [14]** - дія, спрямована на зміну властивостей предмета праці (заготовки) при виконанні технологічного процесу.

До властивостей оброблюваного предмета праці або його поверхонь належать розміри, форма, твердість, шорсткість та ін.

Залежно від виду застосовуваної енергії для впливу на заготовку вона може бути механічною, термічною, хімічною, електричною й ін.

**Механічна обробка** - обробка тиском або різанням. **Обробка різанням** - обробка, що полягає в утворенні нових поверхонь відділенням поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки (див. рисунок 2.13).

**Стружка** - деформований і відділений у результаті обробки різанням поверхневий шар матеріалу заготовки.

Обробка різанням характеризується вилученням із заготовки шару матеріалу (*притуску*), що знімається різальним інструментом, з метою досягнення заданих властивостей обробленої поверхні.

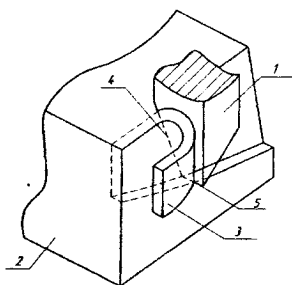


Рисунок 2.13 – Схема обробки різанням:

- 1 – лезо; 2 – заготовка; 3 – стружка; 4 – головна різальна кромка;  
5 - допоміжна різальна кромка

Процес обробки різанням характеризується певною множиною параметрів, що називають режимами різання. Серед них найважливішими можна назвати:

- глибину різання  $t$ ;
- швидкість головного руху різання  $V$  (швидкість різання);
- подачу  $S$ .

**Глибиною різання  $t$ , мм,** називається шар матеріалу, що знімається із заготовки при виконанні технологічного переходу в операції за один робочий хід інструмента.

При цьому розглядають оброблювальну та оброблену поверхні.

**Оброблювальна поверхня [14]** - поверхня, що підлягає впливу процесу обробки (поверхня 1 на рисунку 2.14).

**Оброблена поверхня** - це поверхня, утворена після впливу процесу обробки, після зняття стружки (поверхня 2 на рисунку 2.14).

Залежно від умов обробки під глибиною різання  $t$  розуміють:

- половину різниці діаметрів оброблювальної та обробленої поверхні при точінні (див. рисунок 2.14а);
- ширину  $b$  канавки при її прорізанні (див. рисунок 2.14б);
- половину діаметра свердла (див. рисунок 2.14в);
- половину різниці діаметрів бобишки та отвору при підрізанні торця цеківкою (див. рисунок 2.14г);
- відстань між оброблювальною та обробленою поверхнями при фрезеруванні (див. рисунок 2.14д,е).

Існують й інші схеми визначення глибини різання, які досить досконало розглянуті у багатьох довідниках з технології машинобудування.

Визначення другої складової режиму різання розглянемо на прикладі кінематичної схеми точіння зовнішньої циліндричної поверхні на токарному верстаті (див. рисунок 2.15).

**Головний рух різання  $D_r$**  (головний рух) - прямолінійний поступальний або обертальний рух заготовки або різального інструмента, що відбувається з найбільшою швидкістю у процесі різання.

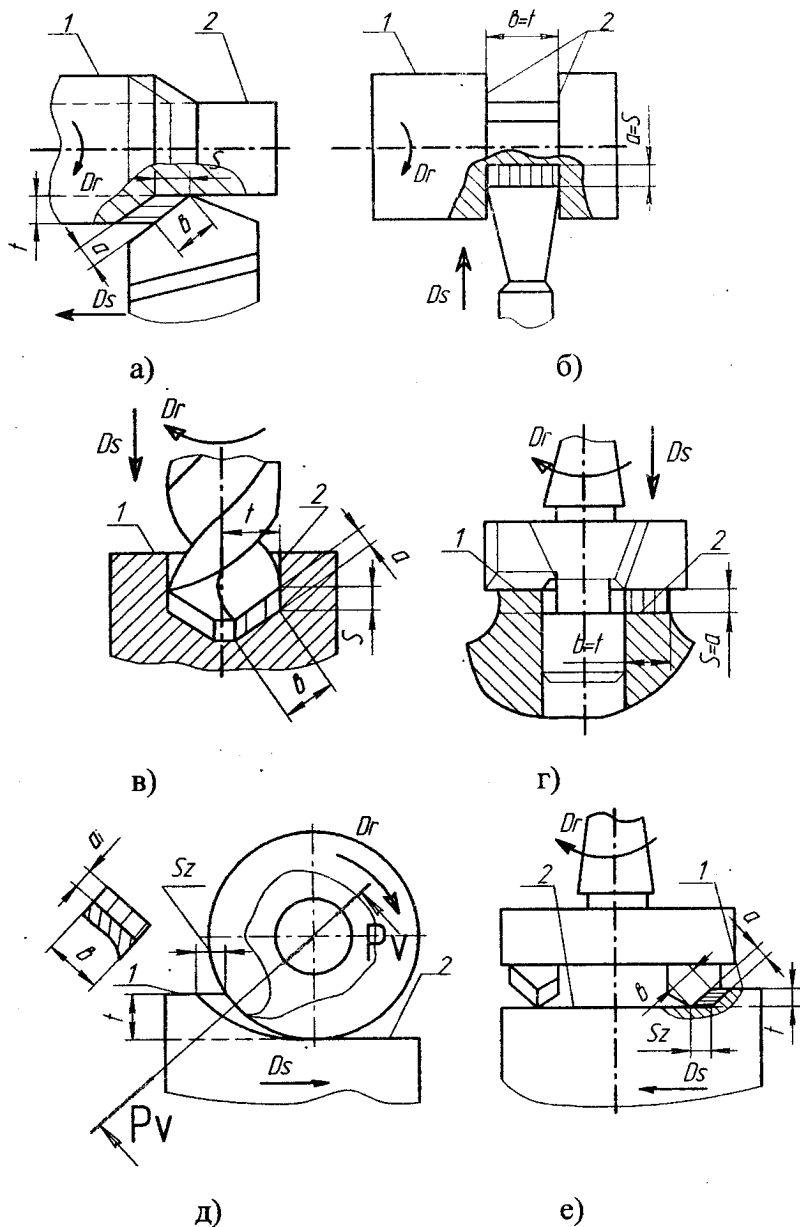


Рисунок 2.14 – Типові схеми визначення глибини різання  $t$





Можна здійснювати одночасний рух подачі у поздовжньому і поперечному напрямках. Наприклад, під час такого комбінованого руху можна сформувати при точінні конічну або фасонну поверхню.

**Швидкість руху подачі  $v_s$**  - швидкість розглянутої точки різальної кромки або заготовки в русі подачі.

**Подача  $S$**  - відношення відстані, пройденої розглянутою точкою різальної кромки або заготовки уздовж траєкторії цієї точки в русі подачі, до відповідної кількості циклів або визначених часток циклу іншого руху під час різання.

Під **циклом руху** розуміють повний оберт, хід або подвійний хід різального інструмента чи заготовки. Часткою циклу може бути частина обертуту, що відповідає кутовому кроку зубів різального інструмента, наприклад, поворот фрези на кут  $\delta_\phi$  (див. рисунок 2.16б). Під **ходом** розуміють рух в один бік при зворотно-поступальному русі (див. рисунок 2.16в).

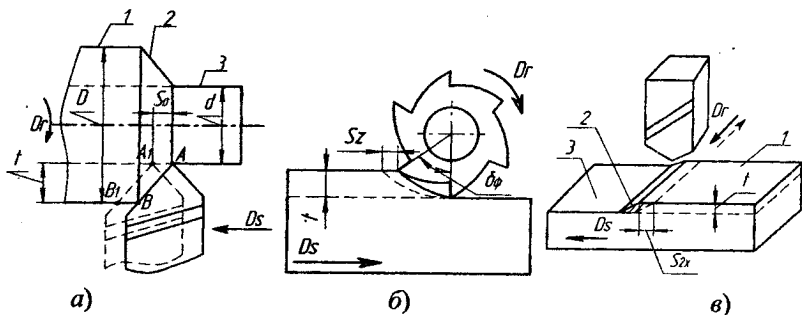


Рисунок 2.16- Види подачі:

- а) подача на оберт при точінні  $S_0$ ; б) подача на зуб при фрезеруванні  $S_z$ ; в) подача на подвійний хід при струганні  $S_{2x}$ ;  
 1 – оброблювальна поверхня; 3 – оброблена поверхня

У зв'язку з цим розрізняють такі види подачі:

- **подача на оберт  $S_0$  ( $S$ )**, мм/об - подача, що відповідає одному обертуту заготовки або інструмента (див. рисунок 2.16 а);
- **подача на зуб  $S_z$** , мм/зуб - подача, яка відповідає повороту інструмента або заготовки на один кутовий крок  $\delta_\phi$

зубів різального інструмента, наприклад, фрези (див. рисунок 2.166). При цьому  $S_o = S_z \cdot z$ , де  $z$  - кількість зубів різального інструмента;

- **подача на хід**  $S_x$ , мм/хід - подача, що відповідає одному ходу інструмента або заготовки;

- **подача на подвійний хід**  $S_{2x}$ , мм/подв. хід - подача, що відповідає одному подвійному ходу заготовки або інструмента.

Подачу на хід або подвійний хід визначають у тих випадках, коли під час обробки заготовка або інструмент здійснюють неодноразовий зворотно-поступальний рух (при струганні, довбанні, шліфуванні та деяких інших видах обробки).

При обертальному головному русі різання швидкість різання можна підрахувати за формулою  $V = \frac{\pi D n}{1000}$  м/хв,

де  $D$  - діаметр оброблювальної поверхні при точінні, обробленої - при розточуванні, діаметр свердла або фрези, мм, тощо;

$n$  - частота обертання заготовки або різального інструмента, об/хв.

Для цього випадку до параметра режиму різання додатково входить  $n$  об/хв.

**Швидкість руху подачі**  $V_s$  (хвилинна подача  $S_{xв}$ ).

$$V_s = S \cdot n = S_{xв} \text{ (мм/хв)},$$

$$\text{де } S = S_o \text{ (мм/об)}.$$

$$\text{При фрезеруванні } V_s = S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n,$$

де  $S_z$  - подача на зуб, мм/зуб;  $z$  - кількість зубів фрези.

На верстатах фрезерної групи для налагодження зазначається хвилинна подача.

Значення подачі, що записують у технологічних операційних картах, повинно відповідати дійсному значенню подачі на верстаті, тому що значення подачі використовують при технічному нормуванні часу виконання операції.

## 2.5 Пристрої для обробки заготовок

### 2.5.1 Класифікація пристроїв

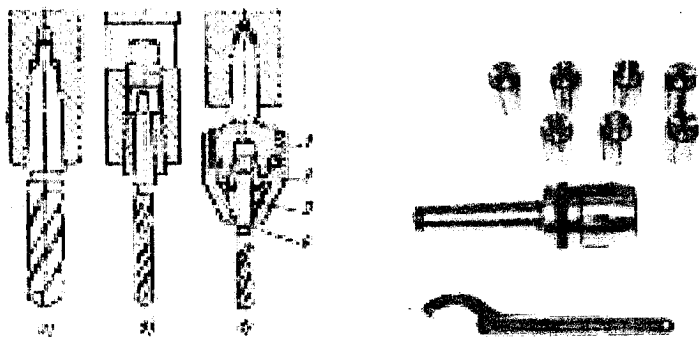
Пристроєм називається допоміжне оснащення, яке використовують у технологічному процесі з метою підвищення точності обробки, складання, контролю тощо, зменшення трудомісткості та поліпшення умов праці робітників.

За цільовим призначенням пристрої поділяють на такі групи [6, 16, 17]:

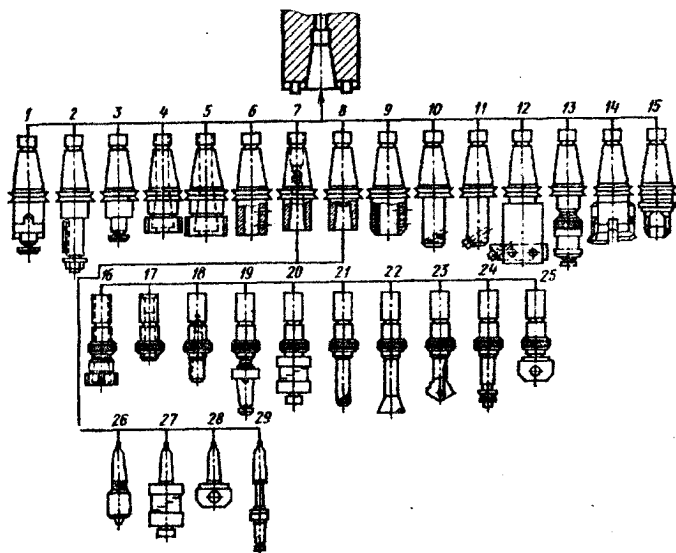
- **верстатні** - для установки і закріплення заготовок під час обробки. Ці пристрої поділяють на токарні, фрезерні, свердлильні тощо;
- **верстатні** - для установки і закріплення робочих інструментів (див. рисунок 2.17). До них відносять патрони для свердел, багатошпindelні свердлильні головки, перехідні втулки Морзе тощо. Для багатоцільових верстатів із ЧПК існують побудовані за модульним принципом системи закріплення різальних інструментів. Такі пристрої також називають допоміжними інструментами;
- **складальні** – пристрої, що використовують при складанні виробів;
- **контрольні** – для контролю якості як після окремих операцій, так і для фінішного контролю виробів;
- **для захоплення, переміщення та перевертання важких, а в автоматизованих виробництвах і легких заготовок.**

За ступенем спеціалізації пристрої поділяють на:

- **універсальні (УП)**, які використовують в одиничному і дрібносерійному виробництвах. До них відносять (див. рисунок 2.18) токарні патрони, машинні лещата, обертові столи, ділильні головки тощо. За допомогою таких пристроїв обробляють заготовки широкою номенклатури та діапазоном розмірів;



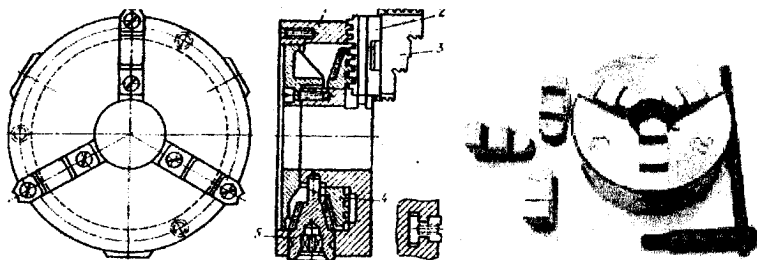
г)



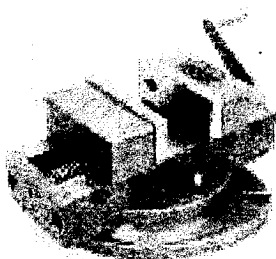
д)

Рисунок 2.17 – Допоміжний інструмент:

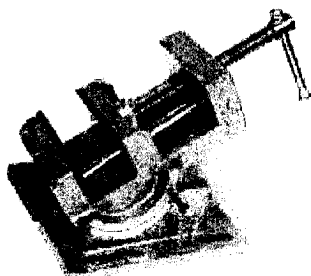
- а) установка свердла без допоміжного інструмента;
- б) установка свердла через перехідну втулку;
- в) установка свердла у свердлильному патроні;
- г) цанговий патрон з набором цанг;
- д) уніфікована система допоміжного інструмента для установки та закріплення різального інструмента на багатоцільовому верстаті



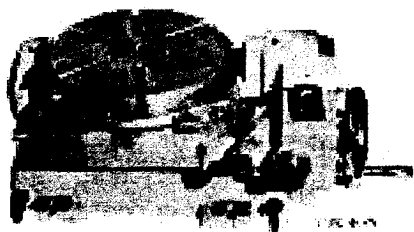
а) конструкція та загальний вигляд трикулачкового токарного патрона



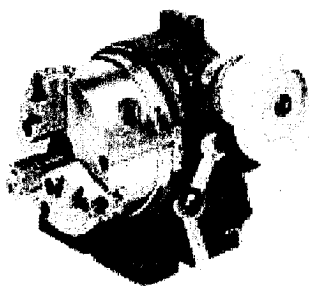
б) машинні лещата ручні



в) поворотні машинні лещата



г) поворотний стіл



д) ділильна головка

Рисунок 2.18 – Універсальні пристрої

- **спеціалізовані пристрої.** Це пристрої, які призначені для установки заготовок приблизно одного конструктивного типу. При цьому їх конструкція дозволяє використовувати змінні встановлювальні елементи. Такі пристрої використовують в умовах середньосерійного типу виробництва. Конструкція таких пристроїв передбачає використання механізованих затискних елементів;

- **спеціальні пристрої.** Вони призначені для встановлення заготовки при виконанні певної технологічної операції. Найбільше такі пристрої використовують в умовах великосерійного та масового виробництва. Практично всі вони оснащені механізованими (під дією стиснутого повітря, мастила тощо) приводами затискних механізмів.

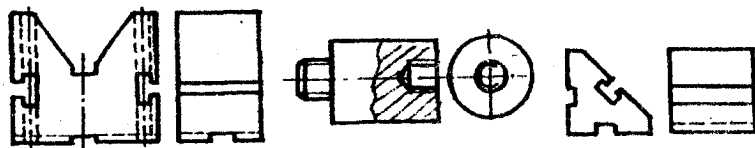
Окремо із спеціальних треба виділити пристрої системи універсально-збірних пристроїв (УЗП). Їх компонують із взаємозамінних стандартних універсальних елементів, що входять до певного комплекту УЗП.

До складу такого комплекту входять різноманітні встановлювальні, закріплюючі, базові елементи тощо, з яких і складають спеціальний пристрій (рисунки 2.19а).

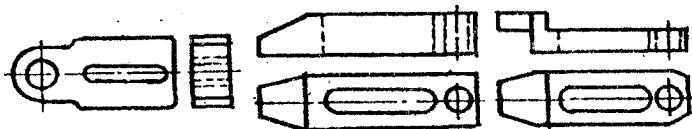
Один комплект УЗП, наприклад, УЗП-8, включає 4100 таких елементів, з яких одночасно можна скласти до 50 пристроїв середньої складності. Час обертання (використання у виробництві пристроїв, зібраних з комплекту УЗП) не перевищує 10 – 14 робочих днів.

Сучасні системи УЗП дозволяють створювати пристрої для верстатів практично всіх груп – токарної, свердлильної, фрезерної, а також для виконання складання, зварювальних робіт тощо.

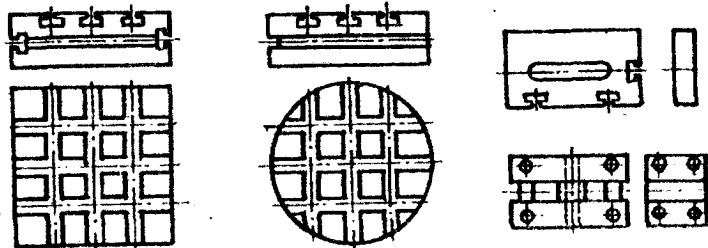
Такі пристрої дуже ефективні в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва.



а) елементи для встановлення заготовки



б) елементи для закріплення заготовок (прихвати)



в) базові елементи

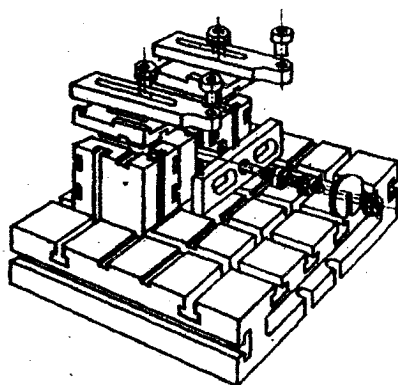


Рисунок 2.19 – Елементи УЗП та пристрій, зібраний із них

У всіх спеціалізованих та спеціальних верстатних пристроях можна виділити такі основні групи елементів:

- встановлювальні, призначені для базування заготовок;
- затискні, призначені для закріплення заготовки;
- силоутворюючі, призначені для створення сили закріплення;
- корпуси, призначені для розміщення та закріплення всіх інших елементів пристрою;
- допоміжні елементи для зміни положення заготовки, наприклад, ділильні диски.

### 2.5.2 Встановлювальні елементи верстатних пристроїв

Тип встановлювального елемента залежить від форми та розмірів поверхні технологічної бази заготовки.

Для встановлення заготовок на площину (встановлювальна, напрямна або опорна бази) використовують опорні штирі та пластини (див. рисунок 2.20).

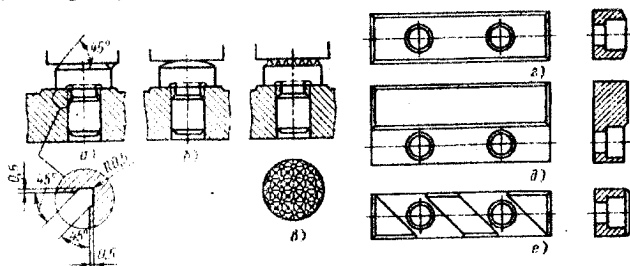


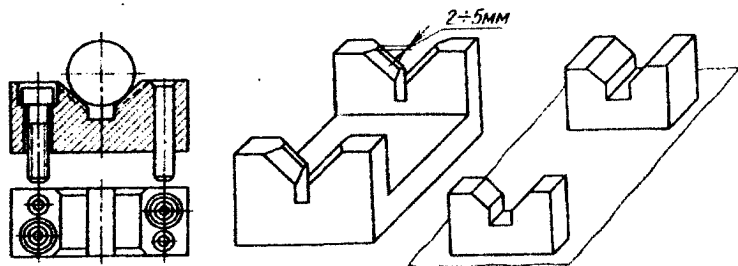
Рисунок 2.20 – Встановлювальні елементи для площин:

- а) штир з плоскою головкою; б) штир з радіусною головкою;  
в) штир з рифленою головкою ; г, д, е) пластини

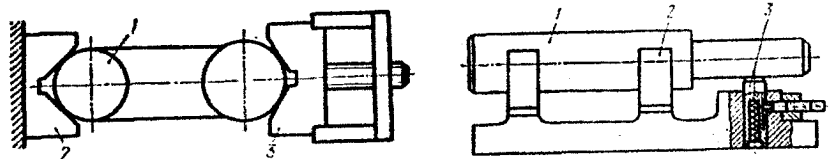
Штирі з рифленою та радіусною головками використовують для чорнових баз, а штирі із плоскою головкою та пластини - для чистових баз.

Для технологічних баз у вигляді циліндричних поверхонь використовують призми (для зовнішніх поверхонь) і різноманітні оправки (для внутрішніх поверхонь), див. рисунок 2.21.

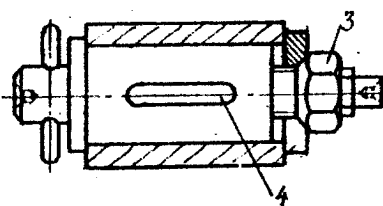




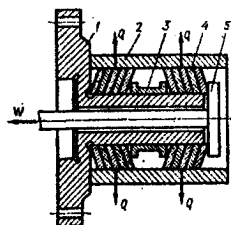
а) види призм



б) приклади установки заготовок 1 з використанням призм 2



в) оправка жорстка



г) оправка розтискна

Рисунок 2.21 – Призми та оправки

У розтискних оправках заготовка 2 базується та закріплюється за рахунок деформації у радіальному напрямку пружних елементів (на рисунку 2.21г це тарілчасті пружини 4), що деформуються за рахунок сили  $W$  на штоці 5.

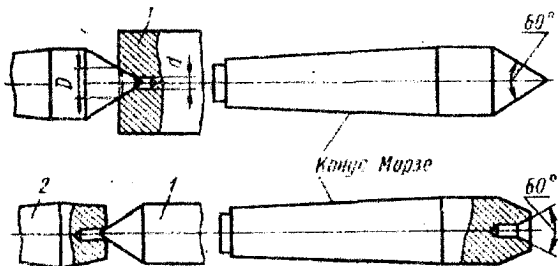
При обробці заготовок типу “вал” на більшості операцій технологічними базами є центрові отвори.

У цих випадках використовують центри різних конструкцій, а також за необхідності рухомі або нерухомі люнети (див. рисунки 2.22-2.24).

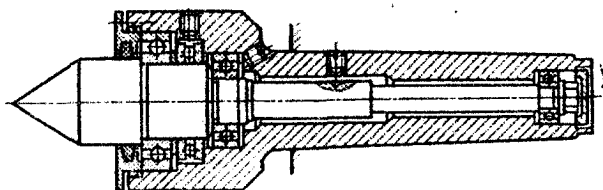
Центри у загальному випадку поділяють на жорсткі та обертові.

Жорсткі центри використовують як центри, що встановлюють у шпиндель токарного верстата, а обертові - у його задню бабку.

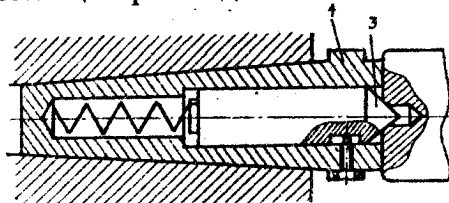
Для підвищення точності обробки використовують плаваючий центр (рисунок 2.22в), конструкція якого дозволяє центру 3 переміщуватися у корпусі 4 в осьовому напрямку до контакту лівого торця заготовки із правим торцем корпусу 4. Зворотний рух центра 3 здійснює пружина, що розміщена в корпусі.



а) види жорстких центрів для встановлення заготовки із внутрішнім центровим отвором та зовнішнім конусом



б) обертовий центр на підшипниках кочення



в) плаваючий центр

Рисунок 2.22 – Види центрів

Для передавання крутного моменту, необхідного для обробки, використовують хомутики, центри з рифленням на конічній поверхні, повідкові патрони (див. рисунок 2.23) тощо.

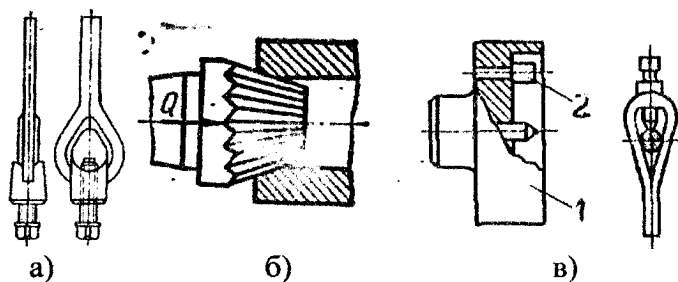
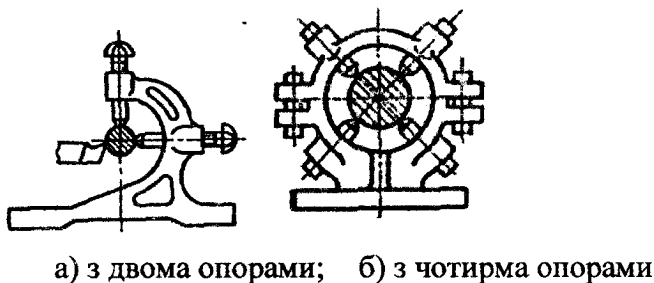


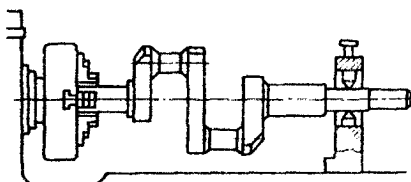
Рисунок 2.23 – Елементи для передавання крутного моменту:

- а) хомутик; б) центр з рифленням;
- в) повідковий патрон та хомутик (1 – корпус патрона; 2 – палець (поводок) для обертання хомутика)

Для підвищення жорсткості заготовки типу “вал” (за певних умов  $L/D \geq 12$ ) використовують люнети, які можуть бути рухомі або нерухомі (див. рисунок 2.24).



а) з двома опорами; б) з чотирма опорами



в) у патроні та люнеті

Рисунок 2.24 – Конструкції люнетів та схема їх використання

На рисунку 2.24в показана схема обробки шийки колінчастого вала при його встановленні у чотирикулачковому патроні та нерухомому лонеті. Така схема дозволяє також обробляти і правий торець заготовки.

При обробці корпусних заготовок як технологічні бази часто використовують попередньо оброблені площину і два отвори. При цьому для площини використовують штирі із плоскою головкою або пластини, а в отвори вставляють пальці. Один із пальців виконують циліндричним, а другий - зрізаним (див. рисунок 2.25).

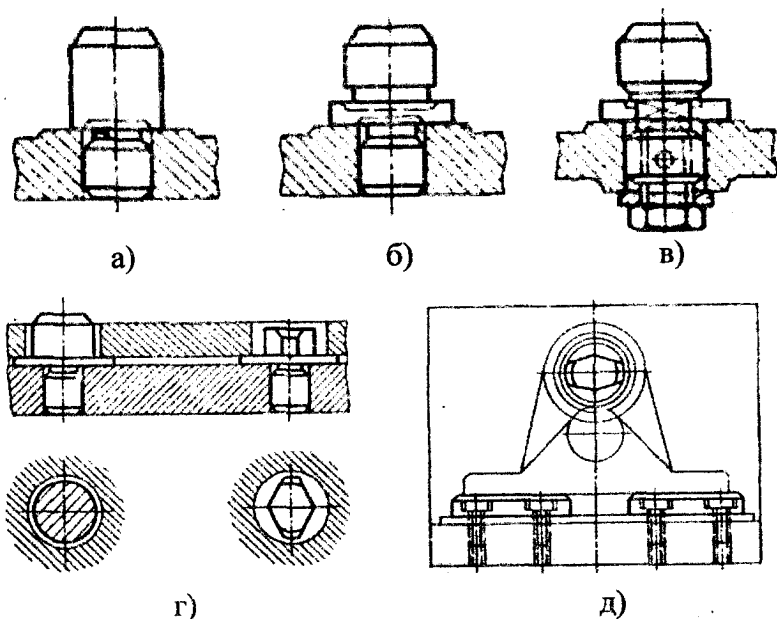


Рисунок 2.25 – Типи пальців та схеми встановлення заготовок:

- а) циліндричний гладкий;
- б) циліндричний з буртиком;
- в) циліндричний змінний;
- г) базування заготовки на площину і два пальці;
- д) базування заготовки на дві площини і зрізаний палець

### 2.5.3 Затискні та силоутворюючі елементи пристроїв

Затискні елементи призначені для закріплення заготовки з силою, що забезпечує можливість обробки. Як правило, вони являють собою прихвати (планки), на які діє сила, що генерується силоутворюючим елементом (приводом).

Приводи за своєю конструкцією можуть бути гвинтовими, ексцентриковими, важільними та комбінованими з цих простих (див. рисунок 2.26) тощо.

За ступенем автоматизації їх поділяють на ручні, механізовані, автоматизовані та автоматичні.

Механізовані приводи передбачають, що сила створюється стиснутим повітрям або мастилом, електродвигунами тощо.

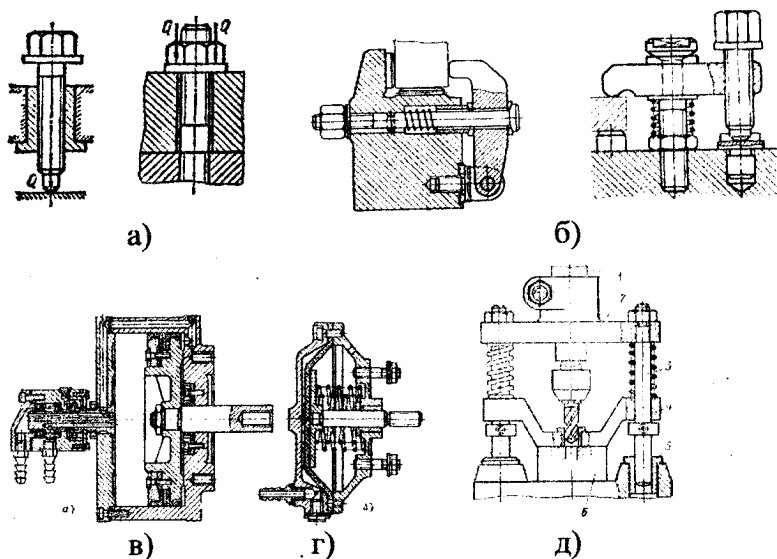


Рисунок 2.26 – Види силових приводів пристроїв:

- а) гвинтовий привід для безпосереднього затиску заготовки;
- б) важільно-гвинтові приводи; в) поршневий пневмопривід;
- г) діафрагмовий пневмопривід; д) автоматизований затиск заготовки пружинами при свердлінні

## **2.5.4 Основні принципи призначення пристроїв для виконання операції**

При виборі варіанта конструкції пристрою необхідно враховувати:

- тип виробництва;
- технічні вимоги на виготовлення деталі;
- кількість деталей та строки їх виготовлення;
- форму та розміри технологічних баз.

В одиничному і дрібносерійному виробництвах широко застосовують універсальні пристрої (патрони, лещата, ділильні універсальні головки, поворотні столи тощо), а також спеціальні пристрої, створені на базі комплектів УЗП.

У середньосерійному виробництві перевагу треба надавати спеціалізованим пристроям, які мають змінні встановлювальні елементи, а також можуть бути оснащені механізованими приводами.

У великосерійному і масовому виробництвах застосовують головним чином спеціальні пристрої, які скорочують допоміжний і основний час більше, ніж універсальні, при більш високій точності.

Вибір пристроїв повинен базуватися на аналізі витрат на реалізацію технологічного процесу у встановлений проміжок часу при заданій кількості виробів. Аналіз витрат повинен передбачати порівняння варіантів пристроїв, що відповідають однаковим вимогам і забезпечують вирішення однакових завдань у конкретних виробничих умовах.

При виборі системи пристрою доцільно використовувати рекомендації ГОСТ 14.305-86 «Правила выбора технологической оснастки».

Остаточне рішення щодо системи та конструкції пристрою треба приймати на підставі техніко-економічного обґрунтування.

## Питання для самоперевірки

- 1 Що входить до складу Т-системи механічної обробки?
- 2 З яких елементів складаються технологічні можливості робочого місця?
- 3 Як класифікуються металорізальні верстати?
- 4 До яких типів належать верстати груп 1, 2, ..., 9?
- 5 Як класифікуються металорізальні верстати за ступенем універсальності?
- 6 Як класифікуються металорізальні верстати за ступенем точності?
- 7 Як класифікуються металорізальні верстати за ступенем автоматизації?
- 8 Як класифікуються металорізальні верстати з ЧПК?
- 9 Наведіть класифікацію металорізальних інструментів.
- 10 Назвіть основні типи токарних різців.
- 11 Назвіть основні типи осьового інструмента.
- 12 Назвіть основні типи фрез.
- 13 Що таке комбінований інструмент?
- 14 Назвіть сучасні інструментальні матеріали та межі їх доцільного використання.
- 15 Типова конструкція токарного різця.
- 16 Елементи різальної частини токарного різця.
- 17 Назвіть кути різальної частини токарного різця.
- 18 Назвіть основні параметри режимів різання та одиниці їх вимірювання.
- 19 Як визначається глибина різання при точінні, розточуванні, свердленні, прорізання канавок тощо?
- 20 Як визначається подача на оберт та хвилинна подача при фрезеруванні?
- 21 Що таке пристрої і для чого вони призначені?
- 21 Наведіть класифікацію пристроїв за цільовим призначенням.
- 22 Що таке універсально-збірні пристрої (УЗП)?
- 23 Встановлювальні елементи пристроїв.
- 24 Затискні та силоутворюючі елементи пристроїв.
- 25 Основні принципи призначення пристроїв.

## Список літератури

1. Захаркін О. У. Технологічні основи машинобудування: навчально-методичний посібник / О. У. Захаркін. – Суми : Вид-во СумДУ, 2004. – 98 с.
2. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: навчальний посібник / П. О. Руденко. – Київ : Вища школа, 1993. – 414 с.
3. Цветков В. Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов / В. Д. Цветков. – М. : Машиностроение, 1972. – 240 с.
4. Мосталыгин Г. П. Технология машиностроения: учебник для вузов по инженерно-экономическим специальностям / Г. П. Мосталыгин, Н. Н. Толмачевский. – М. : Машиностроение, 1990. – 288 с.: ил.
5. Справочник технолога – машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – Т.1. – 656 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.
7. Космачев И. Г. Технология машиностроения / И. Г. Космачев. – Л. : Лениздат, 1970. – 400 с.
8. Дриц М. Е. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учеб. для вузов / М. Е. Дриц, М. А. Москалев. – М. : Высш. шк., 1990. – 447 с.: ил.
9. Справочник по технологии резания материалов: в 2 кн. / ред. нем. изд.: Г. Шпур, Т. Штеферле; пер. с нем. В. Ф. Колотенкова и др.; под ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение. 1985. – Кн. 1. – 616 с.: ил.
10. Троицкий Н. Д. Глубокое сверление / Н. Д. Троицкий. – Л. : Машиностроение, 1971. – Табл. 20, Ил. 92. Библ. 51 назв., 176 с.
11. Краткий справочник металлиста / под общ. ред. П. Н. Орлова, Е. А. Скороходова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение. 1987. – 960с.: ил.



Навчальне видання

**Захаркін Олександр Улянович**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ  
МАШИНОБУДУВАННЯ**  
**(основні способи обробки поверхонь  
та технологічні обробляючі системи для їх реалізації)**

Навчальний посібник

Комп'ютерне верстання та оформлення обкладинки О. У. Захаркіна  
Редактор Н. В. Лисогуб  
Коректор Т. М. Швець

Формат 60x84/16. Ум. друк арк. 8,14. Обл.-видарк. 6,84. Тираж 300 пр. Зам. № 92.

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідчення суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007