

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

**МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ  
ГАЛУЗЕВИХ ПРОЦЕСІВ ТА  
ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ**

Конспект лекцій

*Електронний ресурс*

Харків – 2025

**Рецензенти:**

**А. М. Чернюк** – кандидат тех. наук, доцент каф. електротехніки та електроенергетики, ННІ «УПА» ХНУ імені В. Н. Каразіна;

**О. А. Пермяков** – доктор тех. наук, професор каф. технології машинобудування та металорізальних верстатів, НТУ «ХП».

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна  
(протокол № 11 від 25 червня 2025 року)*

**Механізація** та автоматизація галузевих процесів та технологічне устаткування :  
М 55 конспект лекцій [Електронний ресурс] / уклад. А. О. Скоркін. – Харків : ХНУ імені  
В. Н. Каразіна, 2025. – (PDF 154 с.)

Конспект лекцій призначений для студентів освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм навчання спеціальностей 015 «Професійна освіта (015.34 Машинобудування)», 015 «Професійна освіта (015.38 Транспорт)».

Мета дисципліни – формування когнітивних, афективних та психо- моторних компетентностей в сфері розробки типових технологічних процесів обробки деталей машин для різних типів виробництва.

**УДК 621.01**

© Харківський національний університет  
імені В. Н. Каразіна, 2025  
© Скоркін А. О., уклад., 2025

## ЗМІСТ

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Вступ .....                                                                   | 4   |
| 1 Машинобудівне виробництво та його характеристика .....                      | 5   |
| 2 Якість виробів машинобудування. Основи базування<br>в машинобудуванні ..... | 16  |
| 3 Методи попередньої обробки заготовок .....                                  | 29  |
| 4 Методи обробки зовнішніх поверхонь тіл обертання .....                      | 39  |
| 5 Методи обробки внутрішніх поверхонь обертання та отворів .....              | 61  |
| 6 Методи обробки плоских поверхонь.....                                       | 81  |
| 7 Методи обробки різьбових поверхонь .....                                    | 96  |
| 8 Методи обробки зубчастих поверхонь.....                                     | 109 |
| 9 Електрофізичні й електрохімічні методи обробки .....                        | 128 |
| 10 Типові технологічні процеси обробки деталей машин .....                    | 144 |
| Література .....                                                              | 152 |

## ВСТУП

Формування готовності фахівців з прикладної механіки до майбутньої професійної діяльності пов'язане із набуттям компетентностей щодо розробки технологічних процесів механічної обробки типових деталей, визначення методів обробки конструктивних елементів деталей, вибору обладнання, технологічного оснащення, режиму обробки поверхонь та розробки карт налагодок до технологічних операцій. У зв'язку з цим виникає завдання сформувати у майбутніх фахівців когнітивні, афективні та психомоторні компетентності в сфері розробки типових технологічних процесів обробки деталей машин для різних типів виробництва з використанням сучасних досягнень науки та техніки. Після вивчення дисципліни майбутній фахівець повинен бути здатним розв'язувати завдання, пов'язані з технологічною підготовкою виробництва для типових деталей машин.

Мета дисципліни – формування когнітивних, афективних та психомоторних компетентностей в сфері розробки типових технологічних процесів обробки деталей машин для різних типів виробництва.

Завдання дисципліни:

- отримання студентами знань про основні методи обробки конструктивних елементів найбільш розповсюджених в машинобудуванні деталей;

- вивчення теоретичних положень щодо розробки типових технологічних процесів обробки деталей загального машинобудування;

- формування навичок аналізу креслеників деталей машин, обґрунтованого вибору методів обробки, обладнання та технологічного оснащення;

- формування навичок розробки карт налагодження для виконання операцій механічної обробки деталей загального машинобудування.

# 1 МАШИНОБУДІВНЕ ВИРОБНИЦТВО ТА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКА

## 1.1 Загальні поняття та визначення

Машинобудівне виробництво є однією з провідних галузей, де створюються знаряддя праці та предмети споживання. Рівень виробництва машин, обладнання, приладів визначає технічний прогрес інших галузей економіки держави. Загальні поняття та визначення представлені в джерелах [1; 2; 3; 4].

Технологія виготовлення машин, апаратів, приладів, механізмів складається з операцій, внаслідок виконання яких заготовки перетворюються на деталі, а потім на вироби. Терміном заготовка визначають предмет праці, з якого виготовляють деталь.

*Виріб* – це будь-який предмет або набір предметів виробництва, який необхідно виготовляти на підприємстві. Розрізняють вироби основного й допоміжного виробництва. Виробами основного виробництва називають ті, що підприємства виготовляють для реалізації. Вироби допоміжного виробництва призначені для власних потреб виробництва. Якщо підприємства виготовляють вироби для реалізації та на власні потреби, їх називають виробами основного виробництва.

Установлюються наступні види виробів:

- а) деталі;
- б) складальні одиниці (вузли);
- в) комплекси;
- г) комплекти.

Деталь є виробом, виготовленим з однорідного матеріалу, без застосування складальних операцій (вал, гвинт, кришка й ін.).

*Складальною одиницею, вузлом* – називається виріб, складові частини якого необхідно з'єднувати між собою на виробничому підприємстві за допомогою складальних операцій (верстат, автомобіль, редуктор і ін.).

*Комплексом* називається два і більш специфікованих вироби, не з'єднаних на виробничому підприємстві за допомогою складальних операцій, але призначених для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій (наприклад, потокова лінія верстатів). У комплекс крім виробів, що виконують основні функції, можуть входити деталі, складальні одиниці і комплекти, призначені для виконання допоміжних функцій.

*Комплект* – це два і більше вироби, не з'єднаних на виробничому підприємстві за допомогою складальних операцій, та які представляють набір виробів, що мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру (наприклад, комплект запасних частин, комплект інструменту і т.д.).

## **1.2 Виробничий і технологічний процеси**

Виробничим процесом називається сукупність окремих процесів, що виконується для одержання з матеріалів і напівфабрикатів готових машин (виробів).

До виробничого процесу входять крім основних, безпосередньо пов'язаних з виготовленням деталей і складанням з них машини, процесів ще і усі допоміжні процеси, які забезпечують можливість виготовлення продукції (транспортування матеріалів і деталей, контроль деталей, виготовлення пристроїв і різального інструменту і т. ін.).

Технологічним процесом називають поступову зміну форми, розмірів, властивостей матеріалу або напівфабрикату з метою одержання деталі або виробу відповідно до заданих технічних вимог.

Технологічний процес механічної обробки є частиною загального виробничого процесу виготовлення усієї машини.

Виробничий процес поділяється на наступні етапи [2; 3]:

- 1) виготовлення заготовок деталей – лиття, кування, штампування або первинна обробка прокатного матеріалу;
- 2) обробка заготовок на металорізальних верстатах для одержання деталей з остаточними розмірами і формами;
- 3) складання вузлів і агрегатів (або механізмів);
- 4) остаточне складання всієї машини;
- 5) регулювання й випробування машини;
- 6) фарбування й оздоблення машини (виробу).

## **1.3 Види (типи) виробництва та їх характеристика**

Залежно від розміру виробничої програми, характеру продукції, а також технічних і економічних умов виконання виробничого процесу усі виробництва умовно поділяються на 3 основних види (типи): одиничне (індивідуальне), серійне і масове [2; 3, 4].

*Одиничним* називається виробництво, при якому вироби виготовляються одиничними екземплярами, різноманітними по конструкції або розмірам, причому повторюваність цих виробів рідка чи зовсім відсутня.

Одиничне виробництво універсальне, тому що воно охоплює різнохарактерні типи виробів, і повинно бути гнучким для виконання різноманітних завдань. Технологічний процес виготовлення деталей будується таким чином, щоб забезпечити на одному верстаті виконання декількох однотипних операцій обробки деталей різноманітних конструкцій (принцип концентрації операцій). Цех оснащується універсальним металорізальним обладнанням, універсальними верстатними пристроями (стандартними патронами, лещатами, прихватами, призмами), універсальними різальними

інструментами (стандартними різцями, свердлами, зенкерами, фрезами й т. ін.), універсальними вимірювальними інструментами (штангенциркулями, лінійками, мікрометрами).

Обладнання розміщують за технологічними групами (токарні, фрезерні, шліфувальні). Нормування операцій укрупнене. Кваліфікація робітників висока через необхідність виконання різноманітної роботи. Собівартість виготовлення деталей велика. Одиничне виробництво існує у важкому машинобудуванні, на суднобудівних заводах, підприємствах хімічного машинобудування, у ремонтних цехах й т. д.

*Серійне виробництво* характеризується обмеженою номенклатурою виробів, що виготовляються партіями або серіями, які складаються з однойменних, однотипних за конструкцією і однакових за розмірами виробів, що запускаються у виробництво одночасно. Основним принципом цього типу виробництва є виготовлення усієї партії (серії) повністю як у обробці деталей, так і у складанні.

Поняття “партія” належить до кількості деталей, а поняття “серія” – до кількості машин, що запускаються у виробництво одночасно. Кількість деталей в партії і кількість машин у серії можуть бути різними.

Мінімальний розмір партії розраховують за наступною залежністю [5]:

$$N_{\min} = \frac{t_{n-3}(1-\alpha)}{t_{um} \cdot \alpha}, \quad (1.1)$$

де  $t_{n-3}$  – час на переналагодження обладнання по провідній операції (підготовчо-заклучний час);

$t_{um}$  – штучний час по той же провідній операції;

$\alpha$  – коефіцієнт допустимих втрат часу на переналагодження обладнання (0,02–0,12): для великосерійного виробництва – 0,02–0,05; серійного – 0,03–0,08; дрібносерійного – 0,05–0,12.

Залежно від кількості виробів у партії або серії розрізняють дрібносерійне, середньосерійне і великосерійне виробництво (табл. 1.1).

Такий поділ є умовним для різних галузей машинобудування: при одній і тій же кількості машин у серії, але різних розмірів, складності і трудомісткості виробництво може бути віднесено до різних видів.

У серійному виробництві технологічний процес переважно диференційний, тобто поділений на окремі операції, що закріплені за визначеними верстатами.

*Таблиця 1.1 – Приблизний розподіл кількості машин за серійністю [3]*

| Вид виробництва | Кількість машин у серії |           |           |
|-----------------|-------------------------|-----------|-----------|
|                 | великих                 | середніх  | дрібних   |
| Дрібносерійне   | 2...5                   | 6...25    | 10...50   |
| Середньосерійне | 6...25                  | 26...150  | 51...300  |
| Великосерійне   | Понад 25                | Понад 150 | Понад 300 |

Використовується високопродуктивне оснащення, причому разом з універсальним використовують спеціалізоване і спеціальне обладнання. Застосовують спеціалізовані і спеціальні пристрої, універсальні і спеціальні різальні і вимірювальні (граничні калібри і шаблони) інструменти. Серійне виробництво значно економніше, ніж одиничне через краще використання обладнання, спеціалізацію робітників, підвищення продуктивності праці.

Серійне виробництво є найбільш поширеним типом виробництва у загальному і середньому машинобудуванні (верстатобудування, виробництво компресорів, насосів, обладнання для харчової і лісової промисловості, транспорту та ін.).

Масове виробництво характеризується вузькою спеціалізацією і великим обсягом випуску виробів, що безупинно виготовляються протягом значного періоду. Існує два види масового виробництва:

Поточно-масове виробництво, при якому здійснюється безперервність руху деталей по робочим місцям, розташованим у порядку послідовності технологічних операцій, що закріплені за визначеними робочими місцями і виконуються приблизно за однаковий (або кратний) проміжок часу, що відповідає такту випуску деталей [3; 5]:

$$t_{\text{с}} = \frac{60F_{\text{д}}m}{N}, \quad (1.2)$$

де  $F_{\text{д}}$  – дійсний річний фонд часу роботи верстата при роботі у одну зміну, год;

$m$  – кількість робочих змін;

$N$  – річна програма випуску виробів.

Масове прямоточне виробництво, при якому технологічні операції також здійснюються на визначених робочих місцях, що розташовані у порядку операцій, але час на виконання окремих операцій не завжди однаковий (або кратний такту), внаслідок чого у деяких верстатів утворюються заділи і рух деталей здійснюється з перервою.

Масове виробництво можливе і економічно вигідне при випуску достатньо великої кількості виробів, коли усі витрати на організацію масового виробництва окупляться і собівартість одиниці продукції буде нижчою, чим при серійному виробництві.

При масовому і великосерійному виробництвах технологічний процес будується за принципом диференціації або за принципом концентрації операцій.

За принципом диференціації технологічний процес диференціюється на елементарні операції з приблизно однаковим часом виконання (тактом) або кратні такту; кожний верстат виконує одну визначену операцію. Використовують спеціальні і вузькоспеціалізовані верстати; пристрої для обробки повинні бути теж спеціальними (часто такі пристрої є невід'ємною частиною верстату).

За принципом концентрації технологічний процес передбачає концентрацію операцій, що виконуються на багатошпиндельних автоматах, напівавтоматах, агрегатних, багатопозиційних, багаторізцевих верстатах, окремо на кожному верстаті або на автоматизованих верстатах, що зв'язані у одну лінію (автоматичні лінії), виконуючих декілька операцій при малій витраті основного (технологічного) часу. (Автомобільне і тракторне виробництво).

Використовуються спеціальні і спеціалізовані різальні інструменти; в якості вимірювальних інструментів використовують граничні калібри, а також автоматичні вимірювальні пристрої.

Організація постачання робочого місця основними і допоміжними матеріалами, напівфабрикатами, різальним, вимірювальним і допоміжним інструментом, пристроями й т. ін. повинна забезпечити безперебійність роботи.

Собівартість продукції дуже низька через велику програму випуску виробів. Масове виробництво застосовується у автомобіле- і тракторобудуванні, двигунобудівні, підприємствах по виготовленню мотоциклів, велосипедів, холодильників й т. ін.

Тип виробництва можна охарактеризувати за коефіцієнтом закріплення операцій [6]:

$$K_{zo} = \frac{\sum O}{\sum P}, \quad (1.3)$$

де  $\sum O$  – кількість різних операцій;

$\sum P$  – кількість робочих місць з різними операціями.

По результату розрахунку визначають тип виробництва:

- масове виробництво –  $KZO = 1$ ;
- великосерійне виробництво –  $KZO \geq 1 \dots 10$ ;
- середньосерійне виробництво –  $KZO \geq 10 \dots 20$ ;
- дрібносерійне виробництво –  $KZO \geq 20 \dots 40$ ;
- одиничне виробництво –  $KZO$  не регламентується ( $>40$ ).

#### **1.4 Основні технологічні методи обробки деталей машин**

Виробництво машин, приладів, апаратів і інших виробів машинобудування складається з таких етапів: отримання заготовок; обробка заготовок; складання складальних одиниць; загальне складання виробів; контроль, регулювання та випробування виробів; комплектація і упаковка виробів. Виготовлення машин починається з виробництва заготовок (рис. 1.1).

Розрізняють три основних види заготовок: машинобудівні профілі, штучні і комбіновані. Машинобудівні профілі виготовляють постійного перетину (наприклад, круглого, шестигранного або труби) або періодичного.

У великосерійному і масовому виробництві застосовують також спеціальний прокат. Штучні заготовки отримують литтям, куванням, штампуванням або зварюванням. Комбіновані заготовки – це складні заготовки, які одержують з'єднанням (наприклад, зварюванням) окремих більш простих елементів. В цьому випадку можна знизити масу заготовки, а для більш навантажених елементів використовувати матеріали, що відповідають вимогам.

Заготовки характеризуються конфігурацією і розмірами, точністю отриманих розмірів, станом поверхні і т. д.

Форми і розміри заготовки в значній мірі визначають технологію як її виготовлення, так і подальшої обробки. Точність розмірів заготовки є найважливішим фактором, що впливає на вартість виготовлення деталі. При цьому бажано забезпечити стабільність розмірів заготовки в часі і в межах партії запуску. Загальна класифікація технологічних методів виготовлення заготовок представлена на рис. 1.2.

В машинобудівному виробництві значна доля обробки деталей машин виконується *механічним способом* [3]. Обробка зі зняттям стружки – це різання матеріалу лезовим та абразивним інструментом. Пластичне деформування відноситься до обробки без зняття стружки – це утиснення металу, яке виконується обкочуванням або розкочуванням роликками, калібрування отворів шарилом або оправкою, накочування рифлення. При попередній обробці металевих заготовок використовується холодна правка. Дробострумина обробка під час якої оброблювана поверхня отримує пластичне деформування, яке називають дробоструминний наклеп, що допомагає підвищити твердість та міцність поверхні. Виконують такий вид обробки для термічно оброблених деталей в спеціальному обладнанні під дією потоку сталевий або чавунної дробини, що викидається дробометом.

До *хіміко-механічної обробки* відносять доводку (притирання), полірування, заточування твердосплавного інструменту [3].

Доводку, притирку притирами, які виготовлені переважно з чавуну, міді або латуні та шаржовані дрібно зерновими абразивними порошками, мікопорошками та пастами. Матеріал порошку повинен бути м'якше ніж матеріал оброблюваної деталі. Матеріал поверхневого шару вступає в хімічну реакцію з поверхнево-активними речовинами (ПАР), які введені в зону обробки та утворюють легкоруйнівні хімічні сполуки, або піддається адсорбційно-хімічній дії застосовуваного реагенту. Під час адсорбування на поверхні оброблюваного тіла ПАР інтенсифікують розвиток слабких місць (дефектів), мікрощілин і тим самим полегшують подальшу механічну обробку. Всі ПАР (пасти і рідини), що застосовуються для хіміко-механічної обробки (ХМО), поєднують принципи хімічного перетворення і адсорбційно-хімічного впливу. При ХМО металів зазвичай використовують олеїнову, стеаринову кислоти і каніфоль. Найбільш поширеним видом ХМО є полірування поверхні металу, скла або каменю.



Рисунок 1.1 – Класифікація заготовок для виготовлення деталей у машинобудуванні

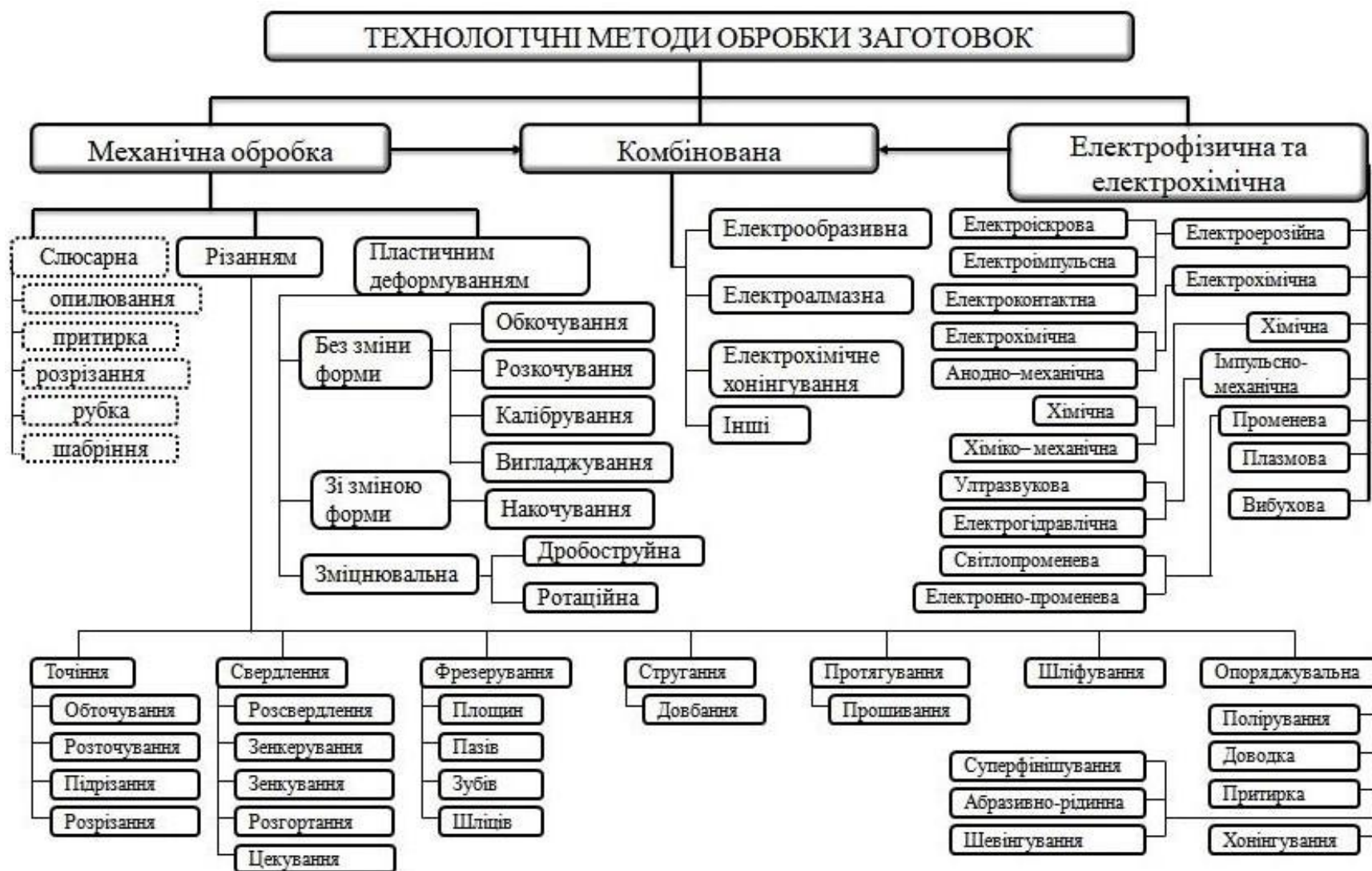


Рисунок 1.2 – Технологічні методи обробки заготовок

Полірування м'якими колами, які виготовлені з сукна, бязі, повсті, паперу, шкіри виконується за допомогою полірувальних паст, що містять поверхнево-активні речовини, які хімічно впливають на опрацьований матеріал.

Загострювання і доведення твердосплавного інструменту виконують в розчині сірчаної кислоти за допомогою абразивного порошку і металевих дисків.

Сутність електрохімічних методів обробки полягає в застосуванні електричної енергії у формі електролізу. Одним з таких методів є електрополірування, яке здійснюється в звичайних електролітичних ваннах із застосуванням спеціальних електролітів і відповідних режимів струму.

*Термічна обробка* застосовується з метою змінити структуру металу для отримання механічних і фізичних властивостей, що відповідають технічним вимогам. Термічна обробка деталей машин може бути застосована на початковій, проміжній і кінцевій стадіях технологічного процесу. Вибір операцій термічної обробки обумовлюється конструктивними та експлуатаційними вимогами, а також вимогами технології механічної обробки.

*Хіміко-термічна обробка* металевих деталей застосовується з метою зміни фізико-хімічних та механічних властивостей деталей, наприклад підвищити жароміцність, зносостійкість, шляхом зміни хімічного складу поверхневого шару металу, який штучно насичується азотом (азотування), алюмінієм (алітування), вуглецем і азотом одночасно з наступним загартуванням (ціанування) і деякими іншими елементами, а також насичення низьковуглецевої сталі вуглецем з наступним загартуванням (цементация) [3].

До термічних методів обробки відносять старіння. Старіння має на меті привести структуру відливки в стан рівноваги – звільнити заготовку від внутрішніх напружень, що виникають при застиганні металу або при попередній механічній обробці (обдиранні).

Старіння буває природне і штучне. Метод природного старіння полягає в тому, що заготовка після лиття або після обдирання витримується на відкритому повітрі протягом 0,5–6 місяців і більше. Штучне старіння переважно здійснюється термічною обробкою заготовки шляхом нагрівання її в печі (електричної, газової, нафтової) при температурі 450–500° С, витримки протягом 12–15 годин і охолодження протягом 2,5–3 годин разом з піччю, після чого заготовка остаточно охолоджується на повітрі. Штучне старіння можливо виконувати обстукуванням деталі на підвісі, струшуванням, пропусканням електричного струму, пропусканням деталі через мийну машину з холодною і гарячою водою, шліфуванням необроблюваних поверхонь деталі ручними шліфувальними кругами.

Старіння застосовується переважно для великих литих деталей від яких вимагають стабільність форми і розмірів, наприклад для станин металорізальних верстатів.

*Електроіскровий метод обробки* [7, 8] металів полягає в тому, що між двома зближеними металевими електродами, що знаходяться під струмом (анод – деталь, яку обробляють), виникає електроіскровий розряд,

внаслідок чого відбувається місцеве спрямоване руйнування (електроерозія) металу – анода. Цей метод електрообробки застосовують для отримання наскрізних і глухих отворів різного профілю в металевих заготовках (наприклад, в штампах) при обробці загартованих металів, твердих сплавів та інших важкооброблюваних струмопровідних матеріалів.

Анодно-механічний метод полягає в тому, що при проходженні постійного струму через електроліт і електроди відбувається процес розчинення поверхні анода з утворенням плівки, яка примусово знімається обертовим диском. Метод обробки застосовується при розрізанні важкооброблюваних металів, заточування і доведення різального інструменту з твердих сплавів, оздоблюваному шліфуванні твердих магнітних сплавів.

Анодно-механічне розрізання металу здійснюється диском-електродом, що обертається з великою швидкістю. Диск-електрод приєднаний до негативного полюса (затискача), заготовка – до позитивного. В зону обробки подається водний розчин рідкого скла – електроліт; між диском і заготовкою безперервно проходить електричний струм. Врізання диска досягається його поперечною подачею. Диск виготовляється з матеріалу з твердістю нижче твердості заготовки, яку розрізають – з м'якої сталі, міді, чавуну.

*Ультразвуковий метод* полягає в тому, що енергія віброуючого інструменту у вигляді ультразвукових коливань повітря передається частинкам абразивного мікропорошку, які надходять зваженими у воді або маслі під торцеву поверхню інструменту і руйнують опрацьований матеріал [9, 10]. Цей метод дозволяє обробляти отвори будь-якого профілю в деталях, виготовлених з важкооброблюваних матеріалів, таких, як, наприклад, алмаз, скло, кераміка, тверді сплави, кварц та ін.

*Гальванічний метод*, який заснований на електролізі, використовують для покриття поверхонь деталей шаром інших металів. Для покриття використовують такі матеріали як хром, нікель, цинк, мідь та ін. Хромування поверхонь деталей проводиться з метою запобігання їх пошкодження від корозії, збільшення опірності механічному зношуванню, продовження терміну служби, відновлення розмірів зношених поверхонь та для надання деталям красивого виду і блиску [9].

Нікелювання застосовується для надання виробам красивої блискучої поверхні та для запобігання корозії деталей.

Обмідненню піддають частини цементованої деталі, які не підлягають подальшому загартуванню, для запобігання їх від науглецьовування з метою поліпшення подальшої механічної обробки.

*Металізація* – нанесення покриття за допомогою розпилювання (пульверизації) розплавленого металу, яке застосовується для ремонту і відновлення зношених деталей, виправлення браку, підвищення жаротривкості деталей (алітування – покриття алюмінієм), надання антикорозійних властивостей (оцинкування, алітування). Під час процесу металізації до сопла апарату подається дріт з металу, службовця матеріалом для покриття, до якої підводяться кисень і ацетилен, що дають при горінні високу

температуру (до 3000°C), дріт плавиться; розплавлений метал розпорошується стисненим повітрям, що поступає до сопла під тиском, з силою вдаряється об поверхню деталі і міцно до неї пристає. Термічна металізація – це процес під час якого деталі нагрівають разом з розплавленим металом покриття (наприклад, алюмінієм) для зміни хімічних властивостей поверхневого шару з метою підвищення жаротривкості деталей і додання їм антикорозійних властивостей. Покриття твердими сплавами з метою підвищення зносостійкості деталей проводиться шляхом наварки або наплавлення твердих сплавів на поверхні деталей [10].

*Зварювання металів* – один із способів з'єднання металевих деталей; який поділяють на хімічне (газове, термітне і ін.) і електричне (електродугове, контактне і ін.). Зварювання може замінити пайку, клепку, ковку, лиття, а також забезпечити економію металу, що зменшує трудомісткість виготовлення продукції, здешевлює виробництво.

Під час і після обробки деталей проводиться їх очистка, промивка, просушка та покриття мастилом. Очищення проводиться механічними або хімічними способами, промивка – в мийних баках або мийних машинах, просушка – обдування стисненим повітрям. Деталі покривають змащенням з метою запобігання корозії.

### **Питання для контролю**

1. Що таке виріб, назвіть види виробів? Що таке складальна одиниця, комплекс, комплект?
2. Дайте визначення виробничому та технологічному процесу.
3. Назвіть типи виробництва та дайте їм характеристику.
4. Назвіть основні технологічні методи обробки деталей машин.

## 2 ЯКІСТЬ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ. ОСНОВИ БАЗУВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

### 2.1 Показники якості машини і її складових частин

*Якість машини*— це сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти визначені потреби відповідно до її призначення [11].

*Показники якості машини:*

1) технічний рівень, який визначає ступінь досконалості машини (потужність, к.к.д, продуктивність, економічність і т. д.);

2) виробничо-технологічні показники (або показники технологічності конструкції), які фіксують ефективність конструктивних рішень з точки зору забезпечення оптимальних витрат праці і засобів на виготовлення виробу, його експлуатацію, технічне обслуговування, ремонт;

3) експлуатаційні показники (надійність виробу, ергономічна характеристика, естетична оцінка).

*Надійність*— це властивість виробу зберігати значення установлених параметрів функціонування у визначених межах, які відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування і транспортування [11].

### 2.2 Точність геометричних параметрів і якість поверхонь деталей машин. Фактори, які впливають на точність обробки

Точність деталі за геометричними параметрами характеризується п'ятьма видами відхилень: за розміром, за формою, за розташуванням, за хвилястістю, за шорсткістю [12, 13].

При нормуванні точності розмірів деталей розрізняють номінальні, дійсні і граничні розміри. Віднімаючи від дійсних і граничних розмірів номінальний, знаходять дійсні і граничні відхилення.

Номінальний розмір  $D_n$ , який отримують у результаті інженерних розрахунків, у більшості випадків округлюють до найближчого стандартного значення. Округлення розмірів скорочує їх загальну кількість у машинобудуванні.

Дійсні розміри і дійсні відхилення визначають у результаті виміру реальних об'єктів.

Розміри, якими обмежують допустимі зміни дійсних розмірів, називають граничними.

Найбільшому граничному розміру  $D_{нб}$  відповідає верхнє граничне відхилення ВВ, а найменшому  $D_{нм}$  — нижнє граничне відхилення НВ (рис. 2.1;

2.2). Граничні відхилення можуть бути додатними, від'ємними або нульовими.

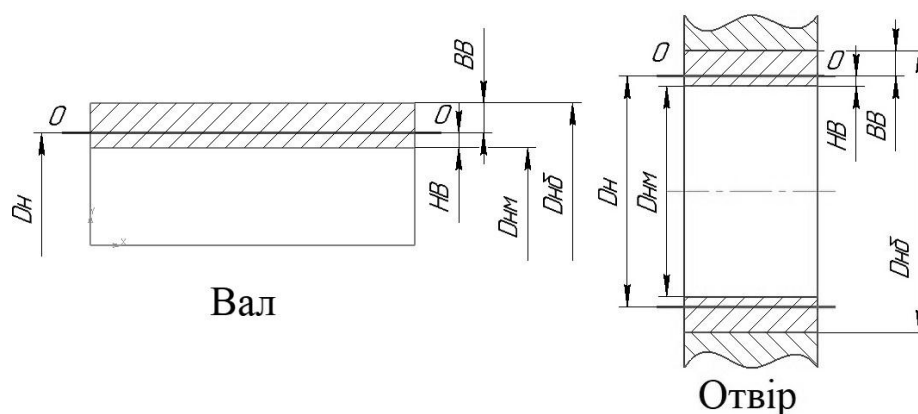


Рисунок 2.1 – Поля допусків для вала і отвору

Різницю між граничними розмірами або граничними відхиленнями називають допуском розміру:  $\delta = D_{HB} - D_{HM}$ , або  $\delta = BB - HB$ , де BB – верхнє відхилення; HB – нижнє відхилення.

Наприклад: для розміру  $45^{+0,01}_{-0,04}$  дійсні розміри можуть бути в межах 45,01 – 44,96 мм. Допуск розміру в цьому випадку:  $\delta = 45,01 - 44,96 = 0,05$  мм або  $\delta = 0,01 - (-0,04) = 0,05$  мм

Допуск є показником, який характеризує точність і відображує затрати на обробку. Чим менше допуск, тим вище точність, тим більш трудомісткою буде обробка заготовки.

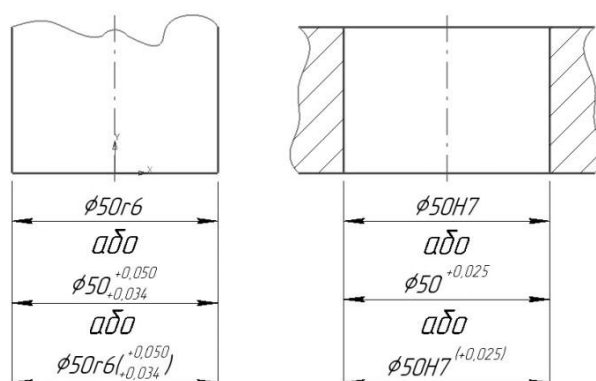
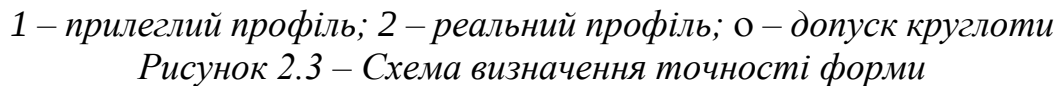


Рисунок 2.2 – Приклад позначення полів допусків на кресленнях

Відносний рівень точності розмірів регламентується квалітетами. Для розмірів від 1 до 10000 мм використовується 19 квалітетів точності (IT01, IT0, IT1...IT17). Поле допуску – латинськими прописними літерами для отвору – A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, Js, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC, для вала: a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc. Значення допуску зростає із збільшенням номеру квалітету. При механічній обробці точність розмірів змінюється в межах від IT14 до IT5.



*Рисунок 2.3 – Схема визначення точності форми*

*Відхилення розташування поверхні (профілю) – це відхилення її (йо-*

Наприклад, відхилення співвісності відносно осі базової поверхні

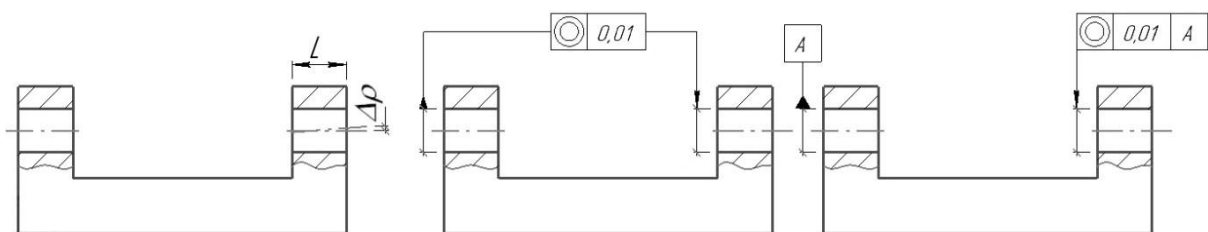


Рисунок 2.4 – Схема визначення точності розташування

Вимірюючи циліндричну деталь у поперечному перерізі по взаємно

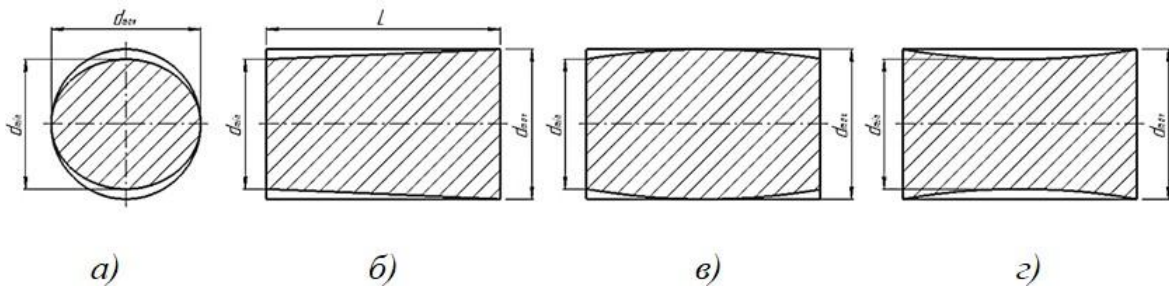


Рисунок 2.5 – Схема виміру відхилення форми

При розгляді відхилення розташування реальної поверхні без заміни її прилеглою оцінюється сумарне відхилення форми і розташування.

Наприклад, радіальне биття циліндричної поверхні визначають  $\Delta\delta$  найбільшої й найменшої відстаней від точок реальної поверхні до базової осі  $O$  (рис. 2.6).

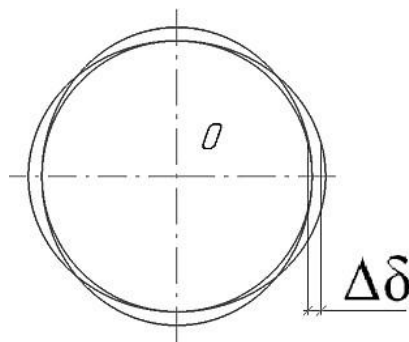


Рисунок 2.6 – Схема виміру радіального биття

Класифікація допусків форми та розташування представлена у табл. 2.2.

*Хвилястість і шорсткість* не визначають відхилення форми деталі, а характеризують рельєф її поверхні.

*Хвилястість* – це сукупність нерівностей, що періодично чергуються з відносно великим кроком, що перевищує при вимірі шорсткості базову довжину.

*Шорсткість поверхні* – це сукупність нерівностей з відносно малими кроками і висотою, що оцінюють на базовій довжині (рис. 2.7).

Параметри шорсткості підрозділяються на три групи: параметри висоти ( $Ra$  – середнє арифметичне відхилення профілю,  $Rz$  – висота нерівностей профілю по 10 точкам,  $R_{max}$  – найбільша висота нерівностей профілю), параметри кроку ( $Sm$  – середній крок нерівностей,  $S$  – середній крок нерівностей профілю по вершинах), відносну опорну довжину профілю  $t_p$ .

При визначенні показників шорсткості поверхні використовують єдину базу – середню лінію  $m$ . Середня лінія має форму номінального профілю і проводиться так, щоб у межах базової довжини  $l$  середнє квадратичне відхилення точок профілю від цієї лінії було мінімальним (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Класифікація допусків форми та розташування

| Група допусків                       | Вид допуску                                    | Знак         |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|
| Допуски форми                        | Допуск прямолінійності                         | $\perp$      |
|                                      | Допуск площинності                             | $\square$    |
|                                      | Допуск круглоти                                | $\bigcirc$   |
|                                      | Допуск циліндричності                          | $\text{cyl}$ |
|                                      | Допуск профілю поздовжнього перерізу           | $\equiv$     |
| Допуски розташування                 | Допуск паралельності                           | $\parallel$  |
|                                      | Допуск перпендикулярності                      | $\perp$      |
|                                      | Допуск нахилу                                  | $\angle$     |
|                                      | Допуск співвісності                            | $\odot$      |
|                                      | Допуск симетричності                           | $\equiv$     |
|                                      | Позиційний допуск                              | $\Phi$       |
|                                      | Допуск перетину осей                           | $\times$     |
| Сумарні допуски форми і розташування | Допуск радіального або торцевого биття         | $\nearrow$   |
|                                      | Допуск повного радіального або торцевого биття | $\text{cyl}$ |
|                                      | Допуск форми заданого профілю                  | $\text{C}$   |
|                                      | Допуск форми заданої поверхні                  | $\text{D}$   |

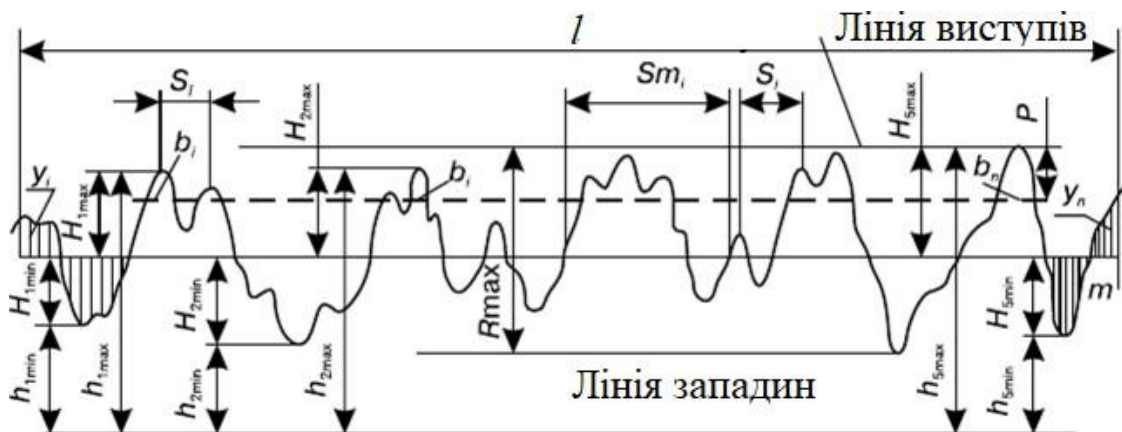


Рисунок 2.7 – Профіль поверхні деталі

$Ra$  визначають за абсолютним значенням відхилень профілю  $y(x)$ ,  $(y_i)$  у межах базової довжини:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (2.1)$$

де  $n$  – кількість дискретних обмірюваних відхилень;

$Rz$  визначають як середнє арифметичне суми абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів  $H_{max}$  і глибин п'яти найбільших западин  $H_{min}$  у межах базової довжини:

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |H_{max_i}| + \sum_{i=1}^5 |H_{min_i}| \right) \quad (2.2)$$

*Середній крок нерівностей  $Sm$*  визначають як середнє арифметичне значення кроку нерівностей  $Sm_i$  у межах базової довжини:

$$Sm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Sm_i \quad (2.3)$$

*Середній крок нерівностей профілю по вершинах  $S$*  – це середнє арифметичне значення кроку нерівностей профілю по вершинах  $S_i$  у межах базової довжини:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (2.4)$$

*Відносна опорна довжина профілю  $t_p$*  визначається як відношення опорної довжини профілю  $\eta_p$  до базової довжини:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i \cdot p_i \quad (2.5)$$

*Опорна довжина профілю  $\eta_p$*  – це сума довжин відрізків у межах базової довжини, що відтинаються на заданому рівні в матеріалі виступів профілю лінією, еквідистантної середній лінії.

*Економічна точність механічної обробки* – це точність, що при мінімальній собівартості обробки досягається при нормальних виробничих умовах, що передбачають роботу на справному обладнанні з застосуванням необхідних пристроїв і інструментів, при кваліфікації робітників, що відповідає характеру роботи.

*Досяжна точність* – це точність, яку можна досягти при обробці в особливих, найбільш відповідних умовах, невласливих для даного виробництва, висококваліфікованими робітниками, при значних витратах часу, не зважаючи на собівартість обробки.

Таблиця 2.2 – Класи шорсткості

| Клас шорсткості поверхні | Середнє арифметичне відхилення профілю $R_a$ , мкм |       | Висота нерівностей $R_z$ , мкм | Базова довжина $l$ , мм |
|--------------------------|----------------------------------------------------|-------|--------------------------------|-------------------------|
| 1                        |                                                    | 50    | 320...160                      | 8                       |
| 2                        |                                                    | 25    | 160...80                       |                         |
| 3                        |                                                    | 12,5  | 80...40                        |                         |
| 4                        |                                                    | 6,3   | 40...20                        | 2,5                     |
| 5                        |                                                    | 3,2   | 20...10                        |                         |
| 6                        | 2,5...1,25                                         | 1,6   |                                | 0,8                     |
| 7                        | 1,25...0,63                                        | 0,8   |                                |                         |
| 8                        | 0,63...0,32                                        | 0,4   |                                |                         |
| 9                        | 0,32...0,16                                        | 0,2   |                                | 0,25                    |
| 10                       | 0,16...0,08                                        | 0,1   |                                |                         |
| 11                       | 0,08...0,04                                        | 0,05  |                                |                         |
| 12                       | 0,04...0,02                                        | 0,025 |                                |                         |
| 13                       |                                                    | 0,012 | 0,1...0,05                     | 0,08                    |
| 14                       |                                                    | –     | 0,05...0,025                   |                         |

*Фактори, які впливають на точність обробки:*

- неточність верстатів, що є наслідком неточності виготовлення їх основних деталей і вузлів і неточності складання, зокрема неприпустимо великих зазорів в підшипниках або напрямних, зносу поверхонь, що контактують, овальності шийок шпинделів, порушення взаємної перпендикулярності або паралельності осей, неточності або несправності направляючих, ходових гвинтів і т. п;

- ступінь точності виготовлення різального і допоміжного інструменту і його зношування під час роботи;

- похибка встановлення інструменту і налаштування верстата на розмір;

- похибки базування і установки оброблюваної деталі на верстаті або в пристосуванні;

- деформації деталей верстата, оброблюваної деталі, інструменту, пристосування під час обробки під впливом сили різання та внаслідок недостатньої їх жорсткості, деформація деталі, що виникає при її закріпленні під час обробки;

- теплові деформації оброблюваної деталі, деталей верстата та інструменту в процесі обробки і деформації, які виникають під впливом внутрішніх напружень в матеріалі деталі.

- помилки в вимірах внаслідок неточності вимірювального інструмента, неправильного користування ним, впливу температури і т. п.

- помилки виконавця роботи.

## 2.3 Поняття про базування. Класифікація баз

*Базуванням* називається надання заготовці або виробу необхідного положення відносно обраної системи координат [14, 15].

При установці заготовок у пристроях вирішуються два різних завдання: орієнтування, яке здійснюється за допомогою базування, і створення нерухомості, що досягається закріпленням заготовок.

Ці завдання теоретично вирішуються накладенням визначених обмежень (зв'язків) на можливі переміщення заготовки (механічної системи) у просторі (рис. 2.8).

Під зв'язками розуміють обмеження позиційного (геометричного) або кінематичного характеру, що накладаються на рух точок тіла, що розглядається.

*Опорна точка* – це ідеальна точка контакту поверхонь заготовки і пристрою, яка позбавляє заготовку одного ступеню свободи, і робить неможливим її переміщення у напрямку, перпендикулярному опорній поверхні.

*Правило 6 точок.* Для повного базування заготовки в пристрої необхідно і достатньо створити в ньому шість опорних точок, розташованих визначеним способом відносно базових поверхонь заготовки.

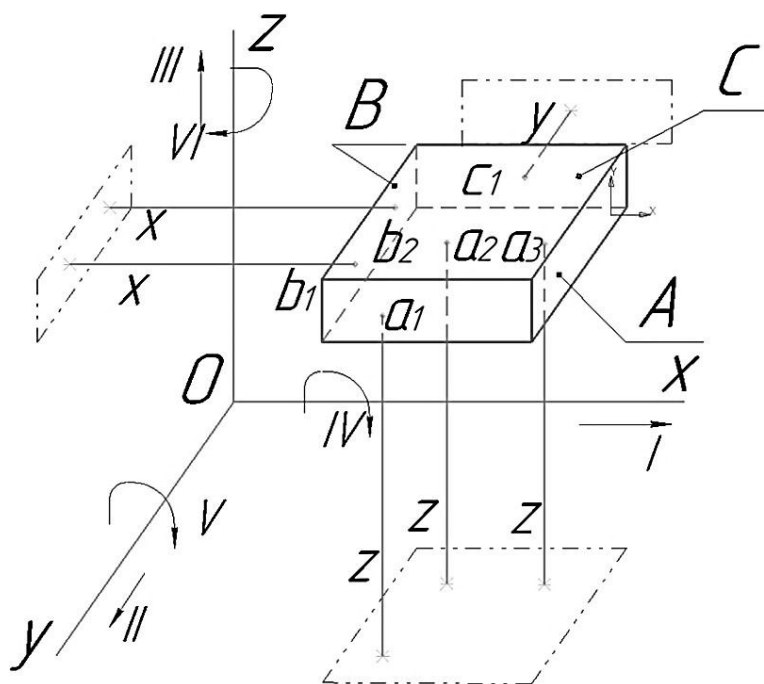


Рисунок 2.8 – Орієнтування призматичного тіла в просторі

Поверхні, лінії або точки заготовок або деталей, що використовуються при базуванні, називаються *базами*. Класифікація баз представлена на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 – Класифікація баз [14]

*Конструкторська база* – це база, що використовується для визначення положення деталі або складальної одиниці у виробі (рис. 10).

*Основна база* – це конструкторська база даної деталі або складальної одиниці, що використовується для визначення їхнього положення у виробі.

*Допоміжна база* – це конструкторська база даної деталі або складальної одиниці, що використовується для визначення положення виробу, що приєднується до них.

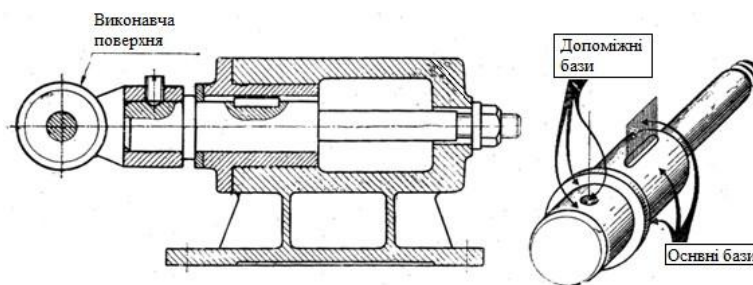


Рисунок 2.10 – Конструкторські бази [3]

*Вимірювальна база* – це база, що використовується для визначення відносного положення заготовки або виробу і засобів виміру (рис. 11).

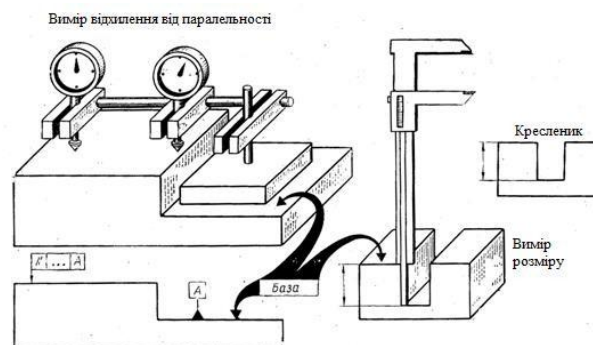


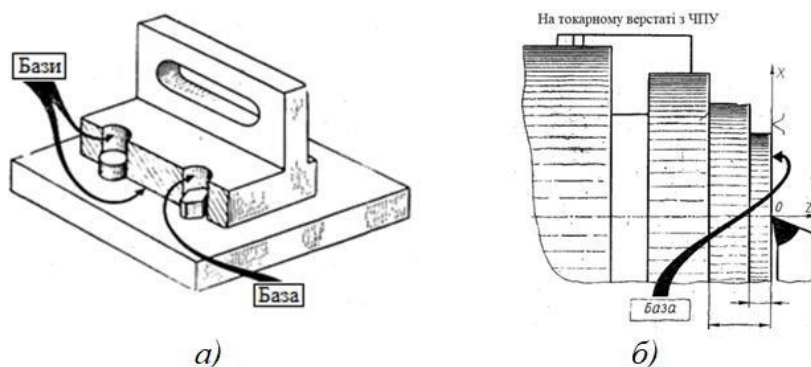
Рисунок 2.11 – Вимірювальна база [3]

*Технологічна база*– це база, що використовується для визначення положення заготовки або виробу в процесі виготовлення або ремонту.

Технологічні бази поділяються на контактні, настроювальні, перевірні, штучні.

*Контактні бази*– це технологічні бази, які безпосередньо стикаються з відповідними установочними поверхнями пристрою або верстата (див. рис. 2.12, а).

*Настроювальна база* – це поверхня заготовки, відповідно до якої орієнтуються поверхні, що обробляються (рис. 2.12, б).



а – контактна база; б – настроювальна база

Рисунок 2.12 – Типи баз [3]

*Перевірна база* – це поверхня, лінія або точка заготовка або деталі, відносно яких виконуються вивірка положення заготовки на верстаті або установка різального інструмента, а також вивірка положення інших деталей або складальних одиниць при складанні (рис. 2.13).

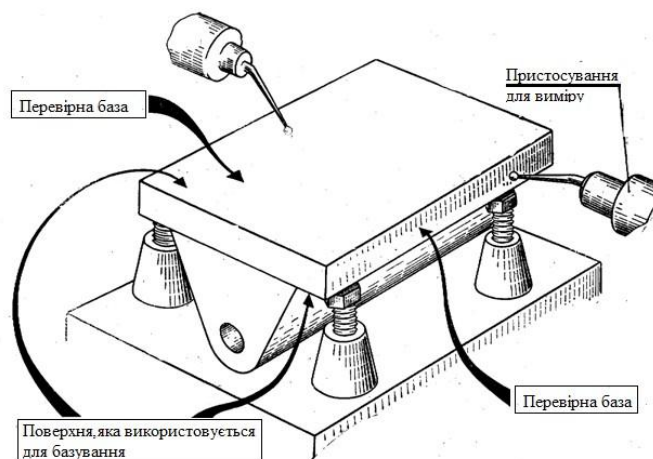


Рисунок 2.13 – Перевірна база [3]

Штучні технологічні бази створюються для можливості орієнтування і закріплення заготовки у пристрої (рис. 2.14).

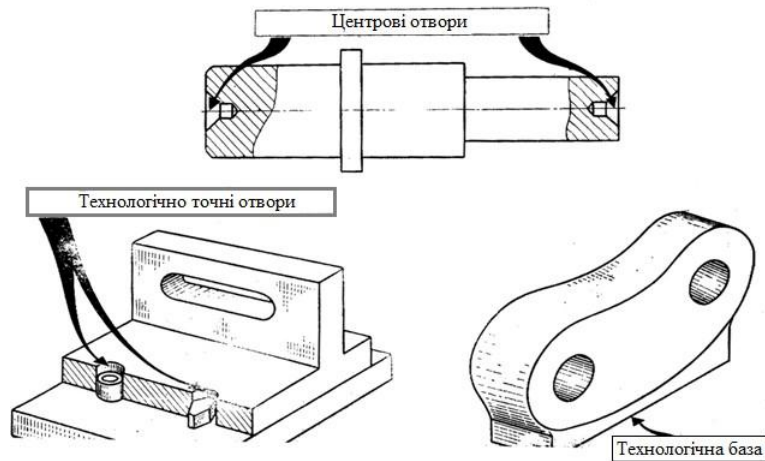


Рисунок 2.14 – Штучні технологічні бази [3]

Базування призматичного тіла. Розрізняють установочну базу I (рис. 2.15), що контактує з 3 опорними точками (позбавляє заготовку 3 ступенів свободи), напрямну базу II, що контактує з 2 опорними точками (позбавляє заготовку 2 ступенів свободи) і опорну (упорну) базу III, що контактує з 1 опорною точкою (позбавляє заготовку 1 ступеня свободи).

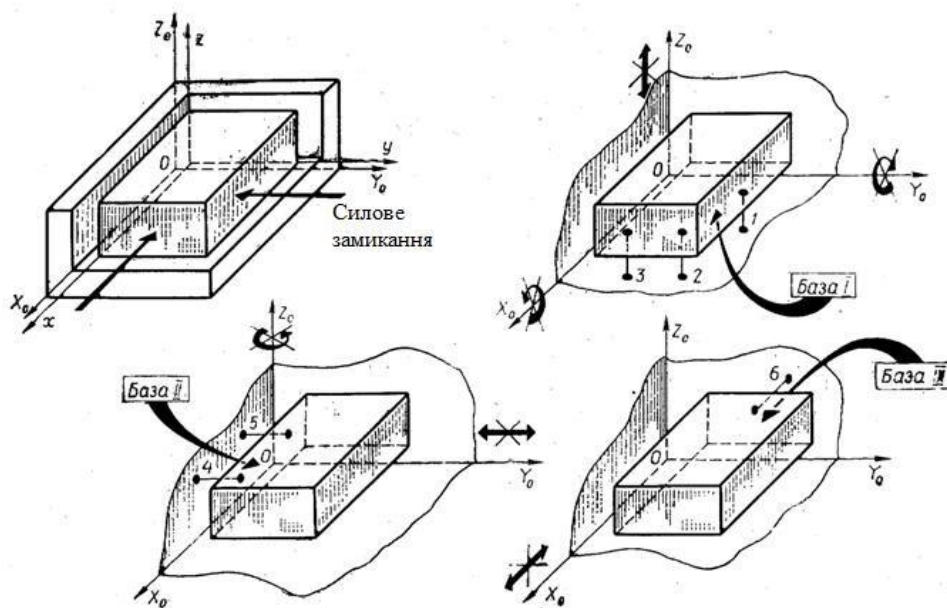


Рисунок 2.15 – Базування призматичного тіла [3]

Базування довгого циліндричного тіла ( $L > D$ ). Розрізняють подвійну-направну базу I (рис. 2.16), що контактує з 4 опорними точками (позбавляє заготовку 4 ступенів свободи), опорну базу II, що контактує з 1 опорною точкою (позбавляє заготовку 1 ступеня свободи), другу опорну базу III (шпоночна канавка), що контактує з 1 опорною точкою (позбавляє заготовку 1 ступеня свободи).

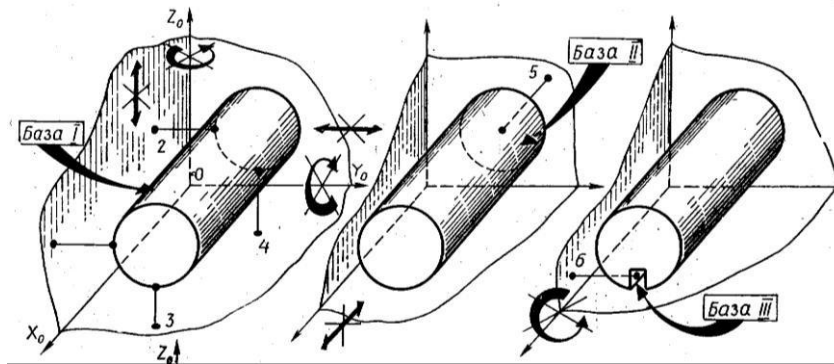


Рисунок 2.16 – Базування довгого циліндричного тіла [3]

Базування короткого циліндричного тіла ( $L < D$ ). Розрізняють установочну базу I (рис. 2.17), що контактує з 3 опорними точками (позбавляє заготовку 3 ступенів свободи), подвійну опорну базу II, що контактує з 2 опорними точками (позбавляє заготовку 2 ступенів свободи), і опорну базу III, що контактує з 1 опірною точкою (позбавляє заготовку 1 ступеня свободи).

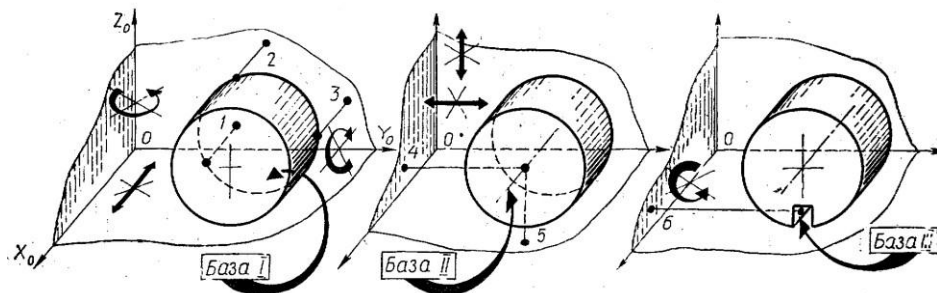


Рисунок 2.17 – Базування короткого циліндричного тіла [3]

Прихована база – це база заготовки або виробу у вигляді уявлюваної площини, осі або точки (рис. 2.18, а).

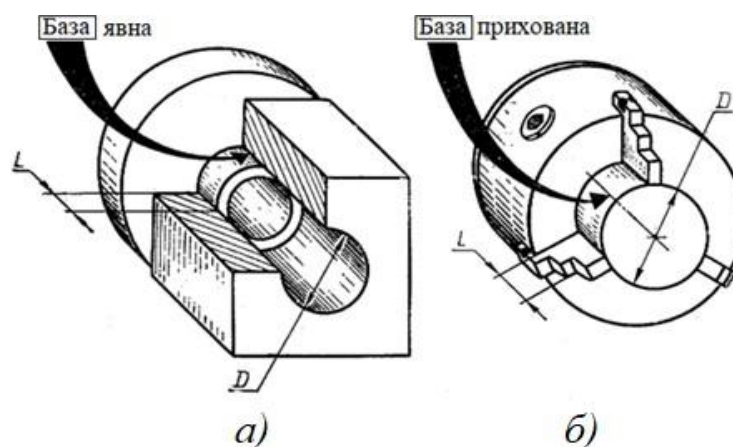


Рисунок 2.18 – Прихована і явна бази [3]

*Явна база* – це база заготовки або виробу у вигляді реальної поверхні, розмічальної лінії або точки перетинання розмічальних ліній (рис. 2.18, б).

### **Питання для контролю**

1. Розкрийте суть основних показників якості машини.
2. Як характеризується точність деталі по геометричним параметрам?
3. Як визначають точність форми поверхні?
4. Як визначають відхилення розташування поверхні (профілю)?
5. Як позначають допуски форми, допуски розташування, сумарні допуски форми і розташування?
6. Якими параметрами характеризують хвилястість та шорсткість поверхні?
7. Що таке базування, бази? Правило шести точок.
8. Класифікація баз.
9. Поясніть базування призматичного тіла.
10. Поясніть базування довгого циліндричного тіла ( $L > D$ ).
11. Поясніть базування короткого циліндричного тіла ( $L < D$ ).

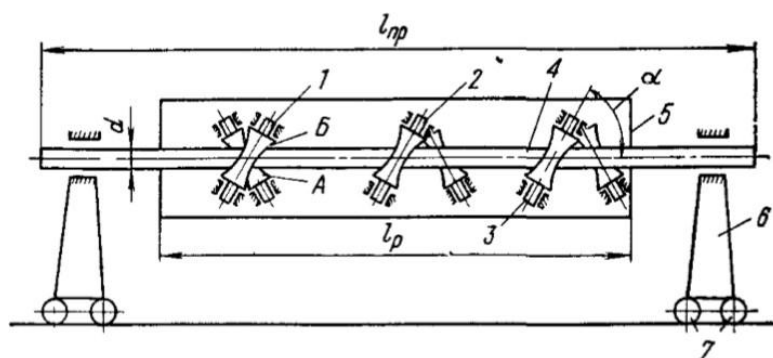
## З МЕТОДИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК

### 3.1 Правка заготовок. Обдирка прутків. Розрізання прутків, валів, труб та листів

Форма і розміри заготовки, а також стан її поверхонь впливають на подальшу обробку різанням, тому для більшості заготовок необхідна попередня підготовка, яка полягає в тому, що їм надається такий стан або вигляд, при якому можна виконувати механічну обробку на металорізальних верстатах. Особливо ретельно ця робота виконується, якщо подальша обробка здійснюється на автоматичних лініях або гнучких автоматизованих комплексах. До операцій попередньої обробки відносять зачистку, правку, обдирання, розрізання, центрування та обробку технологічних баз. Прокат у вигляді прутків піддається виправленню, обдиранню, розрізанню, центруванню. Для заготовок отриманих куванням й штампуванням виконується фрезерування і центрування торців, обдирання і попереднє розточування отворів.

Перед початком механічної обробки прутковий матеріал і заготовки для валів з метою усунення викривлення осей правлять в холодному стані. Заготовки у вигляді поковок і штамповок при значних діаметрах і довжині правлять в нагрітому стані під молотами.

Прутки і заготовки для валів можна правити на пресах ручних, гвинтових, ексцентрикових, гідравлічних, пневматичних і фрикційних. Перед правкою вали перевіряють в центрах і при цьому визначають місця, що підлягають виправленню; після цього їх правлять на пресах за допомогою призм. Для правки також використовують спеціальні правильні верстати (рис. 3.1).

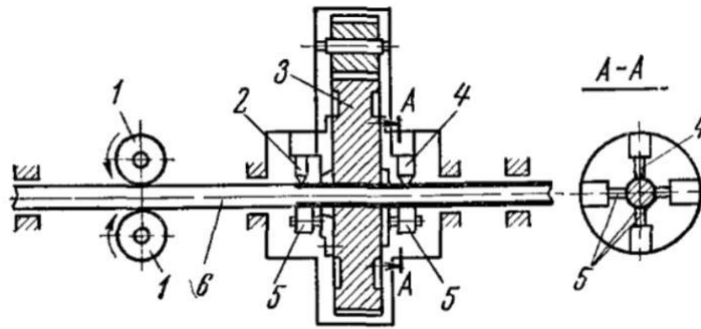


- 1, 2, 3 – пари роликів з увігнутою поверхнею;  
4 – пруток; 5 – барабан; 6 – спеціальні стояки;  
7 – пересувні ролики

Рисунок 3.1 – Загальна схема правильного верстата з трьома парами роликів [3]

Прутки пропускають через барабан від 1 до 6 разів залежно від ступеня викривлення осі прутка і вимог до прямолінійності поверхні. Точність правки досягає 0,1–0,2 мм на 1 м довжини прутка [16]. Також є правильні верстати з трьома роликми, які перебувають в нерухомому барабані і передають обертання прутки та з однією парою роликів для прутків з діаметром 3–20 мм.

Для обдирання прутків застосовують безцентрово-обдирувальні верстати (рис. 3.2), на яких можна обдирати прутковий матеріал діаметром від 15 до 80 мм, довжиною до 7 м.



- 1 – спеціальні ролики для подачі прутка;
- 2, 4 – різці для чорнового та чистового обдирання;
- 3 – зубчате колесо, яке обертає різцеві головки;
- 5 – сухарі для запобігання прогинання прутка;

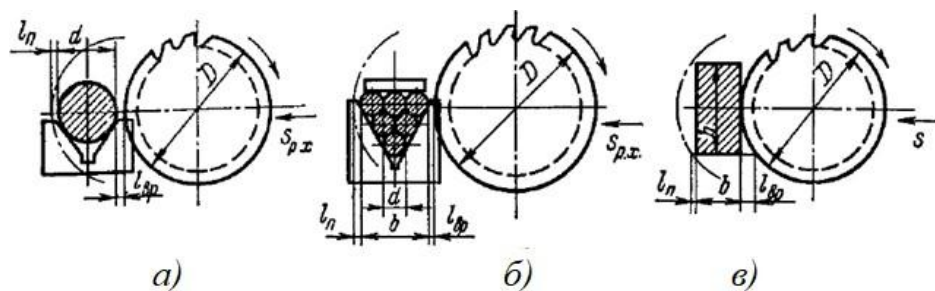
Рисунок 3.2 – Схема безцентрово-обдирувального верстата [3]

Для розрізання прутків та валів використовують розрізувальні верстати та обладнання.

Прутки і вали розрізають на приводних ножівках. Приводні ножівки розрізають прутковий матеріал ножівковим полотном, яке здійснює під деяким тиском зворотно-поступальний рух від механічного приводу. Різальні крайки зубів пиляльного полотна спрямовані в бік розрізання; полотном притискається до заготовки тільки під час робочого ходу, а при зворотному ході підводиться гідравлічним механізмом. Внаслідок цього тертя зубів о матеріал при зворотному ході виключається, знос полотна зменшується, а продуктивність ножівки збільшується. Основним робочим інструментом ножівкового обладнання є рама, яка отримує від електричного двигуна зворотно-поступальний рух під час процесу. Подача і відведення рами здійснюються за рахунок гідравлічного циліндра. Переваги використання ножівок в тому, що ширина прорізи менше, ніж при розрізанні дисковими пилами – це зменшує витрати матеріалу. До основних недоліків можна віднести нижчу продуктивність, ніж при розрізанні дисковою пилою та наявність косого зрізу.

Дискові пили широко застосовуються для розрізання прокату, прутків, балок різних профілів і труб. Розрізання прутків дисковою пилою роблять по одному або пакетом (рис. 3.3).

Верстати з дисковою пилою мають міцну конструкцію, яку доповнює зручна система управління. Під час розрізання круглого прутка або балок фасонного профілю площа перетину постійно змінюється в міру проходження пилки, внаслідок чого при рівномірній подачі інструменту відбуваються різкі зміни сили різання. Ці зміни негативно відбиваються на роботі верстата, викликаючи сильні напруги в окремих його частинах. Щоб уникнути цього, необхідно корегувати подачу відповідно до величини площі перетину, який розрізається так, щоб верстат завжди працював при однаковій силі різання, тобто зі змінною величиною подачі.



- 1 – спеціальні ролики для подачі прутка;
- 2, 4 – різці для чорнового та чистового обдирання;
- 3 – зубчате колесо, яке обертає різцеві головки;
- 5 – сухарі для запобігання прогинання прутка;

Рисунок 3.3 – Схема розрізання прокату дисковою пилою [3]

Гідравлічна система подачі (рис. 3.4) дозволяє точно встановлювати і плавно змінювати величину подачі, завдяки чому верстат працює стабільніше.

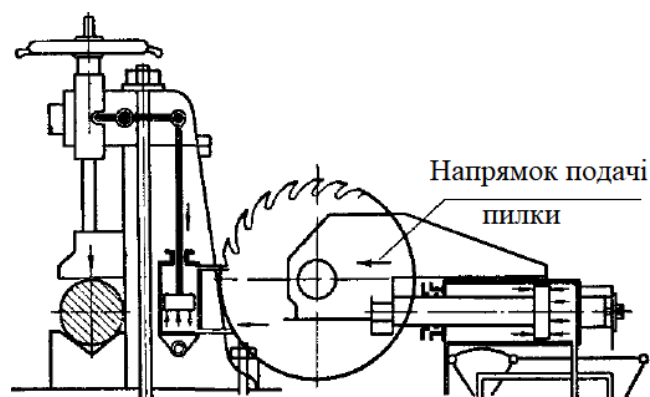


Рисунок 3.4 – Дискова пила з гідравлічною подачею[3]

Стрічковий відрізний верстат – це обладнання, яке здійснює безперервний процес різання металевих заготовок за допомогою стрічкової пилки. Замкнута стрічка товщиною 1,0–1,5 мм з зубцями з міцної сталі – основний інструмент в роботі даної конструкції. Обладнання буває вертикальне, горизонтальне (рис. 3.5) та з нахилом. Стрічкові пили застосовуються головним чином для розрізання пруткового матеріалу з кольорових металів

(латуні, червоної міді, алюмінію і ін.). Вони застосовуються також для вирізання кривошипів колінчастих валів, шатунів і інших подібних деталей. До основних переваг можна віднести незначні втрати на проріз при розрізанні стрічковою пилкою, так як товщина стрічки мала.

Фрикційною (або беззубою) пилкою називається тонкий сталевий диск, що обертається від електродвигуна (зі швидкістю 100–140 м/с). При подачі та обертанні диск внаслідок тертя в прорізі нагріває частинки металу до температури, при якій починається плавлення ( $\approx 700^\circ$ ). Розплавлений метал видаляється з прорізу самим же диском, який охолоджується повітрям і водою. Для збільшення тертя поверхню інструмента забезпечують щільною насічкою, що трохи збільшує ширину пропила. Фрикційні пили розрізають матеріал дуже швидко, що вимагає встановлення у якості приводу електродвигун великої потужності. Фрикційними пилами можна розрізати загартовані сталеві деталі, що не піддаються розрізанню звичайними пилами.



*а – Lenker HDM450 з можливістю програмування;  
б – Lenker HDM450 напів автоматичний  
Рисунок 3.5 – Стрічково-відрізний верстат [17]*

Електрична фрикційна пила розрізає матеріал шляхом спільної роботи фрикційної (беззубої) пили з електричною дугою. Інструмент, який поєднано з одним полюсом джерела електроенергії розрізає матеріал, який поєднано з іншим; при цьому утворюється вольтова дуга. Метал в прорізі плавиться, а диск тільки видаляє розплавлений метал. Поверхня металу в прорізі виходить достатньо рівною і чистою.

Розрізання по довжині круглих і шестигранних прутків, а також труб виконують на відрізних верстатах. У цих верстатів на міцній станині розташована передня бабка з порожнистим шпинделем, по обох кінцях якого розміщені трикулачкові затискні патрони. Перевагою цих верстатів є велика продуктивність, простота і невисока собівартість самого верстата і інструмента (різців). Недоліком відрізних верстатів є широка прорізь (3–5 мм), що призводить до великої втрати матеріалу. Відрізні верстати, які забезпечені двома супортами – переднім і заднім – і працюють одночасно двома різцями, мають більшу продуктивність.

Збільшення продуктивності відрізних верстатів досягається також пристроєм, що регулює і підтримує постійну швидкість різання. Вертикальні відрізні автомати пристосовані для розрізання каліброваних гнутих по всій довжині прутків. У цих верстатів пруток закладається зверху, завдяки чому вони займають малу площу в цеху. Пруток під дією своєї ваги опускається на підставку і затискається; після чого до нього підходить супорт з різцем.

Токарно-свердлильно-відрізні верстати застосовуються в заготівельних цехах для попередньої обдирання, розточування, свердління, відрізання як прутків, так поковок і штамповок. В рухомий задній бабці верстата кріпиться спіральне свердло для свердління отвору. Передній супорт служить для обдирання й розточування, задній – для відрізання заготовки від прутка (рис. 3.6).

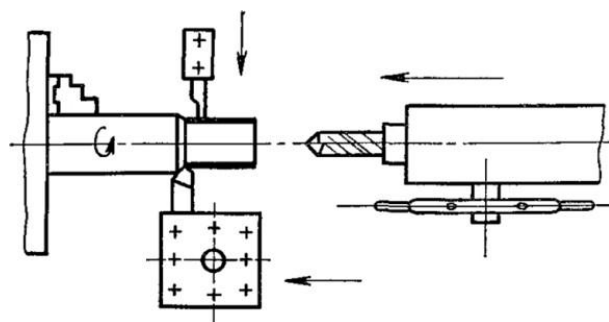
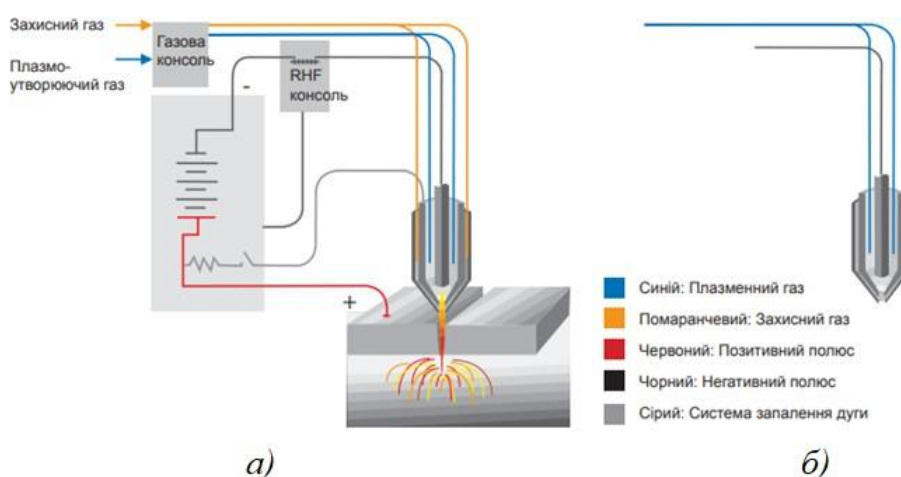


Рисунок 3.6 – Схема обробки на токарно-свердлильно-відрізному верстаті [3]

Верстати, що працюють тонким абразивним кругом, служать для розрізання прутків і труб (також загартованої сталі і труб). Застосовуються еластичні абразивні круги, товщиною 2–3 мм, завдяки чому втрата металу на проріз незначна. При розрізуванні труб великого діаметра їх необхідно повертати навколо осі. Продуктивність розрізання абразивним кругом досить висока (наприклад, пруток діаметром 40–50 мм розрізається за 5–6 с).



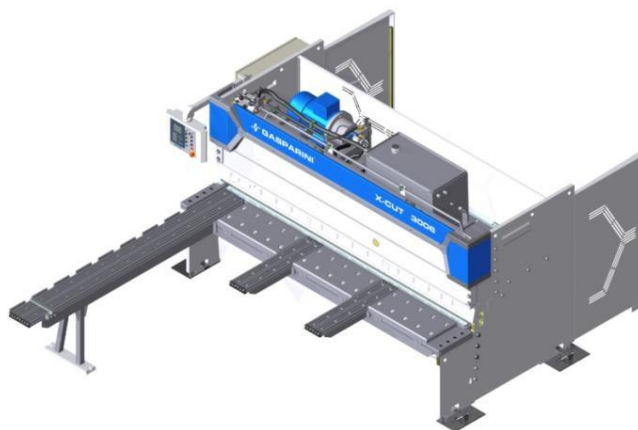
*а – високої якості, б – звичайної якості*

Рисунок 3.7 – Схема процесу плазмового різання

Крім зазначених вище способів прутки, труби та заготовки (штампування, поковки, відливки) можна розрізати на звичайних токарних (відрізними різцями), горизонтально-фрезерних (відрізними фрезами) і стругальних верстатах. Також розрізання прутків, труб і інших може проводитися наступними методами: анодно-механічним, електроіскровим, ультразвуковим, електролітичним, електронно-променевим, за допомогою лазера, вибуху і плазмовим струменем [18].

Прутковий матеріал можна розрізати на пресах і ножицями, що застосовується головним чином в заготівельних відділеннях ковальських цехів.

Для розрізання листового матеріалу зазвичай застосовують ножиці різних конструкцій: ручні, гільйотинні, роликові (рис. 3.8).



*Рисунок 3.8 – Гільйотинні ножиці X-CUT [18]*

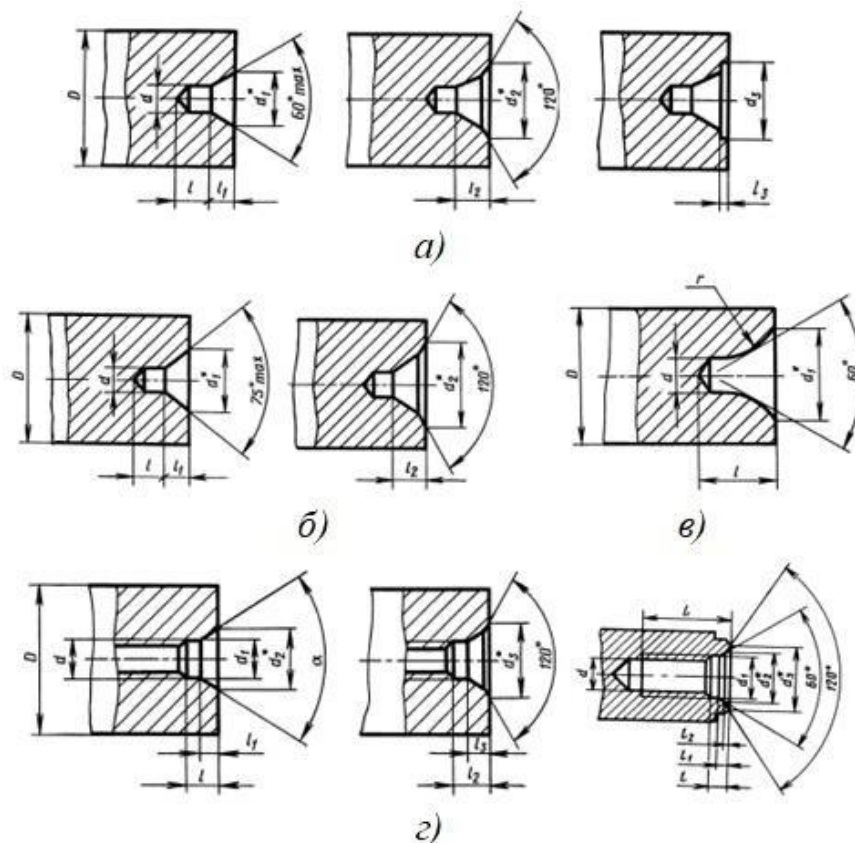
Крім зазначених способів механічного розрізання пруткового та листового матеріалу (деякі з них використовуються і для розрізання труб) застосовується також газове (автогенне), анодно-механічне, електроіскрове і ультразвукове розрізання.

### **3.2 Центрування заготовки**

Центрові отвори в деталях типу валів є базою для ряду операцій: точіння, нарізування різьби, шліфування, нарізування шліців та ін., а також для контролю і перевірки готових деталей. При ремонтних роботах центровими отворами користуються як базами для правки зношених або пошкоджених поверхонь шийок валів, для шліфування, контролю та на інших операціях. Якість виготовлення центрових отворів має великий вплив на точність більшості поверхонь деталі, які отриманні під час механічної обробки. Тому центрові отвори повинні бути виготовлені з необхідною точністю, конусністю їх повинна точно збігатися з конусністю центрів верстата. При недотриманні цих вимог центрові отвори швидко втрачають форму і розміри та ушкоджують центри верстата.

Центрові отвори у заготовок (деталей) в більшості випадків виконують з кутом конуса  $60^\circ$ . Іноді при обробці великих, важких деталей цей кут збільшують до  $75^\circ$  або  $90^\circ$ . Центр верстата повинен стикатися з центровим отвором заготовки лише по поверхні конуса, вершина центру не повинна упиратися в заготовку [19]. Тому центрові отвори завжди мають циліндричну частину малого діаметра  $d$  і конічну поверхню з найбільшим діаметром  $D$  і кутом конуса  $\alpha$  (рис. 3.9, *а*). Іноді центровий отвір має ще другу конічну поверхню з великим діаметром  $D_0$  кутом при вершині конуса  $120^\circ$  (рис. 3.9, *б*), яка робиться з метою уникнути появи на торцях валу задирок при невеликому зносі центрових отворів, оберегти їх при випадковому пошкодженні торців вала або мати можливість підрізати ці торці без зменшення опорної поверхні центрових отворів.

Центрування заготовок виконується на свердлильних, розточувальних (великих заготовок) токарних і револьверних верстатах, а в серійному і масовому виробництвах на спеціальних одно- або двобічних centruвальних верстатах та фрезерно-центрувальних верстатах, які центрують обидва кінці вала одночасно.



*а – центрові отвори з кутом конуса  $60^\circ$  та форми А, В, Т;  
б – центрові отвори з кутом конуса  $75^\circ$  та форми С, Е;  
в – центровий отвір з дугоподібною твірною, форма R;  
г – центровий отвір з метричною різьбою, форми F, H, P*  
Рисунок 3.9 – Конструкції центрових отворів [19]

Центрування заготовок виробляють двома інструментами: спіральним свердлом, яким свердлять циліндричний отвір малого діаметру, і зенківкою, яка утворює конічну поверхню (рис. 3.10, *а*) або спеціальними комбінованими centruвальними свердлами (рис. 3.10, *б*), які виконують свердління і зенкування.

На фрезерно-центрувальних верстатах (рис. 3.11) на заготовці спочатку фрезерують торцеві поверхні одночасно з обох кінців, після чого комбінованими центрувальними свердлами свердлять отвори.

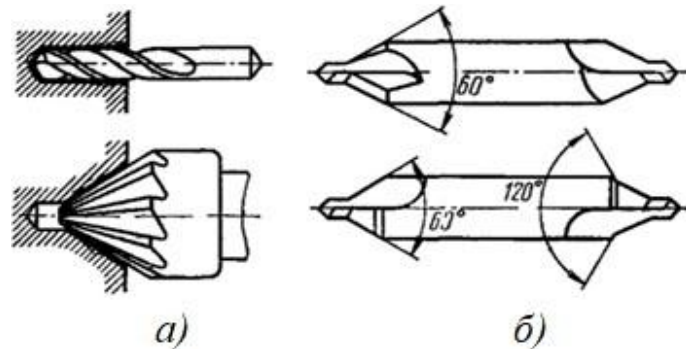


Рисунок 3.10 – Процес центрування та комбіновані центрувальні свердла

В великосерійному та масовому виробництві обробку торців і центрування заготовок виконують за допомогою одного або двох широких твердосплавних різців, встановлених разом зі стандартним комбінованим центрувальним свердлом в спеціальній інструментальній голівці.

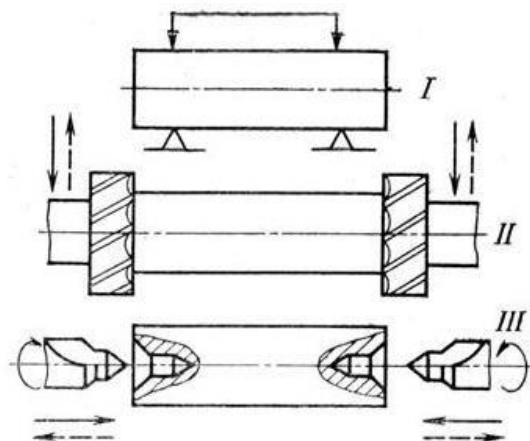


Рисунок 3.11 – Схема обробки заготовки на фрезерно-центрувальному верстаті [3]

Підрізної різець оснащують пластинкою з твердого сплаву, а центрувальне свердло виготовлено зі швидкорізальної сталі, то при одному числі оборотів головки інструменти працюють приблизно з оптимальними швидкостями різання, незважаючи на різницю в діаметрах обробки.

При роботі на токарному верстаті (рис. 3.12, а) інструментальна головка 1 встановлюється в шпиндель верстата і отримує обертання. Заготовка 2 встановлюється в затискному пристосуванні 3, яке змонтоване на каретці супорта і отримує поступальний рух подачі до упору 4. Для установки заготовки по довжині використовується регульований упор 4.

Інший варіант (рис. 3.12, б) заготовка 3 встановлюється у токарний верстат в отвір шпинделя до упору 4, затискається в трикулачковому патроні і отримує обертальний рух. Інструментальна головка 2 кріпиться за допомогою спеціальної державки в різцетримачі 1 верстата. Таку обробку можливо виконувати і на горизонтально-фрезерному верстаті (рис. 3.12, в). В розглянутих схемах обробляється спочатку перший торець, потім після повороту заготовки – другий.

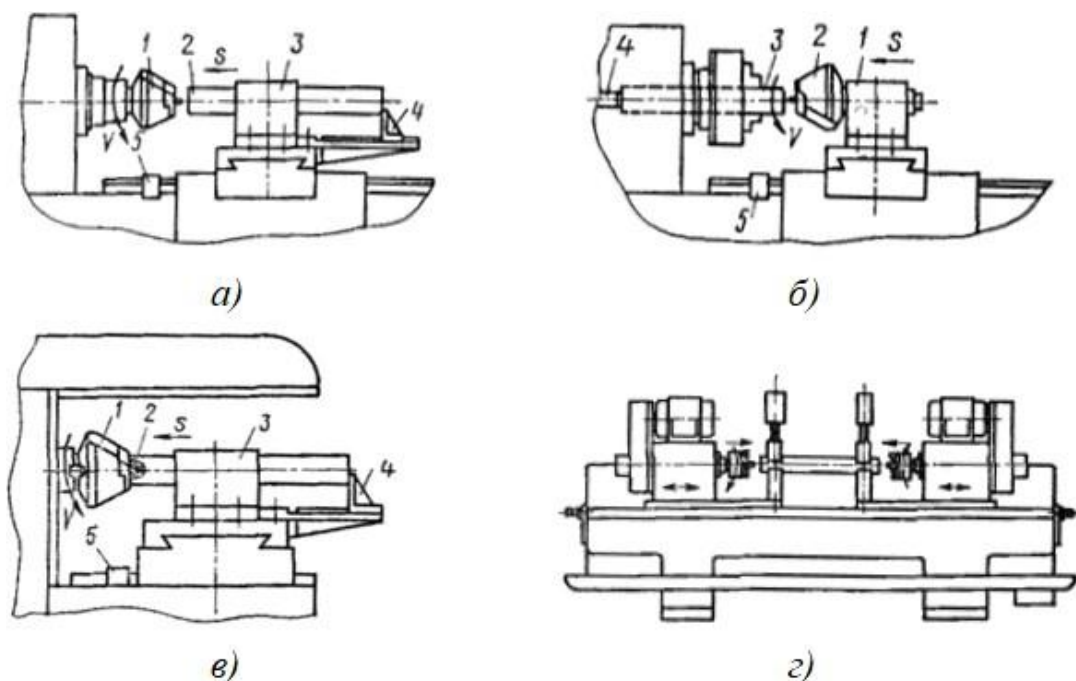
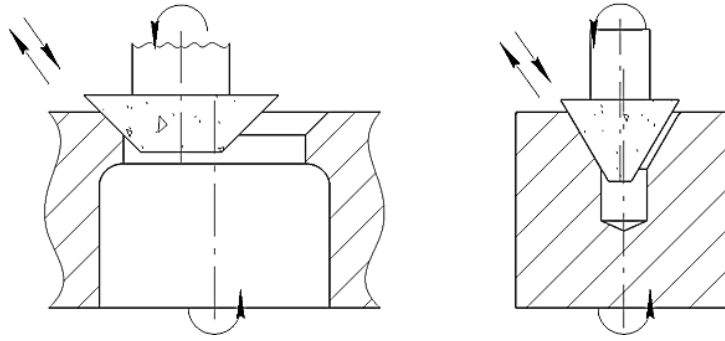


Рисунок 3.12 – Схеми центрування за допомогою спеціальної інструментальної головки [3]

Найкращим варіантом з точки зору отримання високої точності і продуктивності є обробка на спеціальному двосторонньому верстаті (рис. 3.12, г) агрегатного типу. У порівнянні з фрезерно-центрувальним верстатом, цей замість чотирьох шпинделів має всього два і для заготовки не потрібно забезпечувати горизонтальну подачу.

Після термічної операції та перед відповідальними операціями центрові отвори слід виправляти повторним центруванням. У разі якщо деталь проходить загартування, а потім шліфується в центрах, то після гарту центри необхідно очистити від окалини. Виконується це при шліфуванні спеціальними шліфувальними кругами на центрошліфувальних верстатах (рис. 3.13, 3.14).



*Рисунок 3.13 – Схема правки центрального отвору*



*а)*



*б)*

*а – вертикальний центрошліфувальний верстат мод. Henninger ZS 102/201/1000; б – горизонтальний центрошліфувальний вузол мод.*

*Henninger ZS25 для встановлення на токарний верстат*

*Рисунок 3.14 – Центрошліфувальні верстати [21]*

### **Питання для контролю**

1. Які дії застосовують до пруткової заготовки перед початком механічної обробки?
2. Яке обладнання використовують для правки заготовок?
3. Назвіть способи розрізання прутків?
4. Які операції виконують на токарно-свердильно-відрізних верста-тах в заготівельних відділеннях?
5. Призначення, типи, конструктивні особливості центрових отворів?
6. Назвіть інструмент і обладнання для центрування заготовок.

## 4 МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗОВНІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

### 4.1 Технологічні можливості обробки лезовим інструментом, схеми обробки, технологічне оснащення, інструмент, контроль якості поверхні

Обробка зовнішніх поверхонь тіл обертання (циліндричних, конічних і фасонних і торцевих) виконується за допомогою операції точіння [15]:

- при чорновому точінні видаляють основну частину припуску (до 70%), одержують точність 14–12 квалітетів і шорсткість  $Ra = 12,5–50$  мкм;
- при напівчистовому точінні видаляють 20–25% припуску, одержують точність 13–11 квалітетів і шорсткість  $Ra = 12,5–3,2$  мкм;
- при чистовому точінні одержують точність 10–8 квалітетів і шорсткість  $Ra = 6,3–1,6$  мкм;
- при тонкому точінні одержують точність 8–6 квалітетів і шорсткість  $Ra = 1,6–0,4$  мкм.

Операції точіння виконуються на токарних, токарно-револьверних, токарно-карусельних універсальних верстатах, полуавтоматах та автоматах, токарних оброблювальних центрах (рис. 4.1). Обточування деталі також можна виконати на розточувальному верстаті з використанням спеціального пристосування.



а – двовісний токарний верстат з ЧПУ [Accuway \(Тайвань\)](#);

б – токарно-гвинторізний верстат CU400M

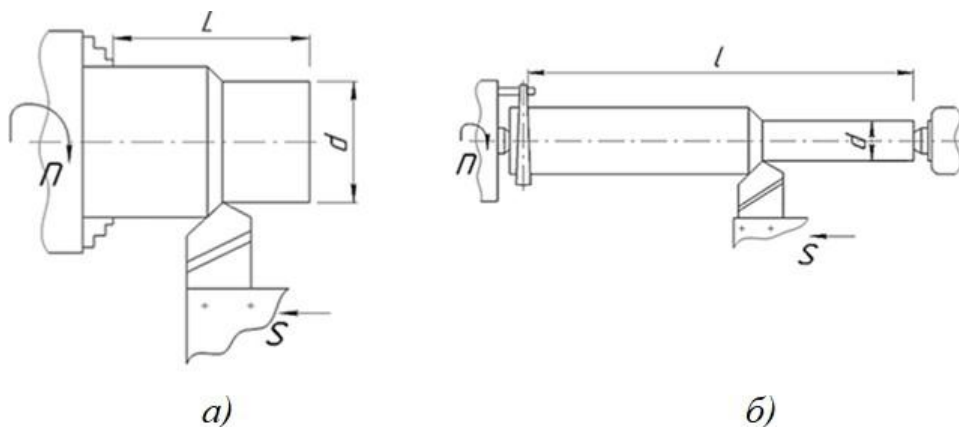
Рисунок 4.1 – Приклади сучасних токарних верстатів [22]

Головним рухом є обертання шпинделя. Рух подачі одержує різальний інструмент. Головний параметр токарних верстатів – найбільший діаметр  $D$  оброблюваної заготовки над станиною. До основних параметрів відносяться найбільший діаметр  $D_1$  ( $D_1 < D$ ) оброблюваної заготовки над

супортом, найбільша відстань  $L$  між виступаючими кінцями центрів передньої і задньої бабок.

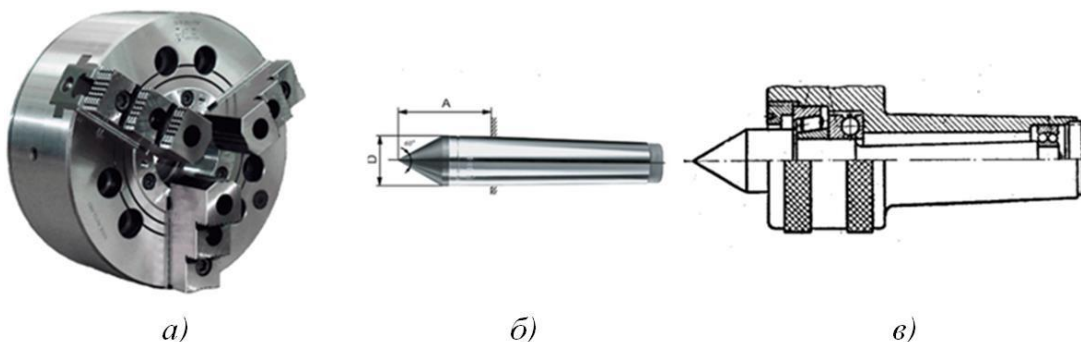
Основні схеми обробки зовнішніх поверхонь на токарних верстатах представлені на рис. 4.2–4.4.

У залежності від форми і розмірів деталі обробку виконують за допомогою різних пристроїв. Короткі деталі ( $l/d < 5$ ) обробляють при консольному закріпленні заготовки (рис. 4.2, а) в самоцентрувальному трикулачковому або чотирикулачковому патроні (рис. 4.3, а). При точінні довгих деталей ( $l/d > 5$ ) правий кінець заготовки повинний мати додаткову опору – центр (рис. 4.2, б; 4.3, б, в). Для цього в торці деталі свердлять центровий отвір. Дрібні і середні деталі встановлюють в звичайних упорних центрах з кутом конуса при вершині  $60^\circ$ . У разі необхідності підрізування торця деталі з боку задньої бабки використовують полуцентр. Заготовки з отвором встановлюють в центрах збільшеного діаметру із зрізаною вершиною конуса, причому передній центр часто виконують рифленим, щоб обробляти деталь без повідка. Заготовки малого діаметра встановлюють в зворотньому центрі, з використанням конусних фасок на зовнішній поверхні заготовки. Для обробки з високими швидкостями різання використовують обертовий центр (рис. 4.3, в). Точність обробки в цьому випадку нижче (радіальне биття становить 0,01 мм).



*а – у патроні; б – у центрах*

*Рисунок 4.2 – Схема обробки деталей*



*а – трикулачковий патрон; б – нерухомий центр;*

*в – центр, що обертається*

*Рисунок 4.3 – Схема обробки з високими швидкостями різання*

При обробці важких заготовок використовують установку в чотирикулачковому патроні та центрі, що обертається (рис. 4.4).

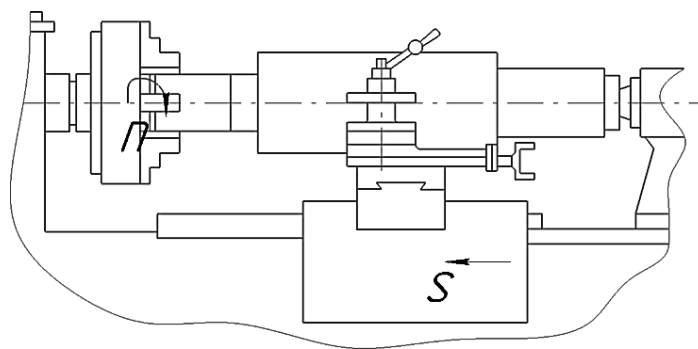
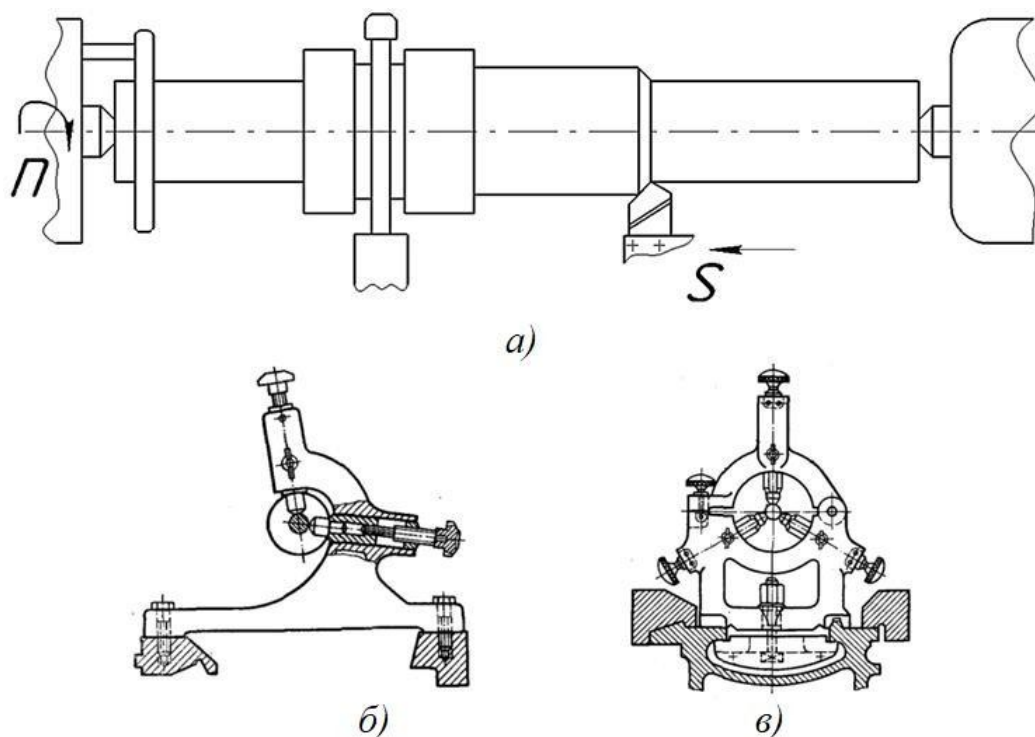


Рисунок 4.4 – Обробка заготовки в чотирикулачковому патроні та центрі

При обробці у центрах на шпиндель встановлюють повідковий патрон, а на лівий кінець заготовки – хомутик або утискають деталь в трикулачковому патроні. У шпиндель передньої бабки встановлюють нерухомий центр, а у піноль задньої бабки – центр, що обертається (див. рис. 4.3).

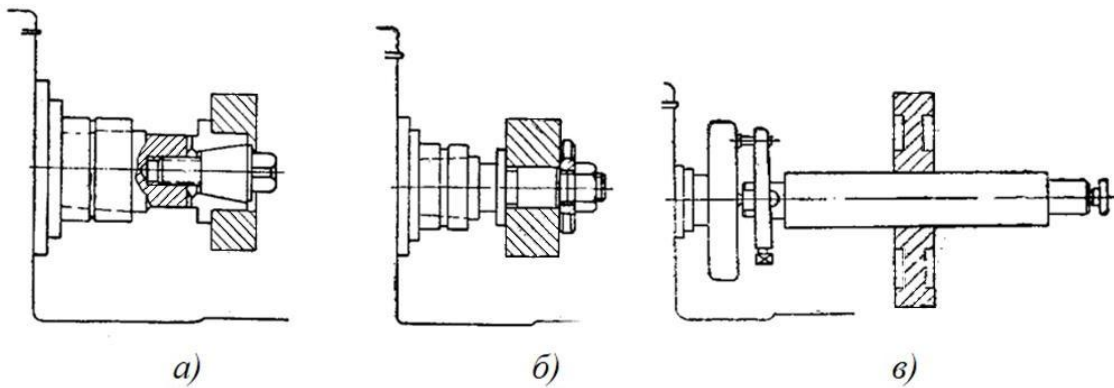
Для дуже довгих деталей ( $l/d > 10$ ) застосовують додаткові опори – люнети. Рухомий люнет кріпиться до каретки супорта (рис. 4.5, а), а нерухомий – до станини верстата (рис. 4.5, б). Нерухомий люнет – для ступінчастих і важких валів; рухомий люнет – для гладких валів.



а – з люнетом, б – рухомий люнет; в – нерухомий люнет

Рисунок 4.5 – Схема обробки довгих деталей [23]

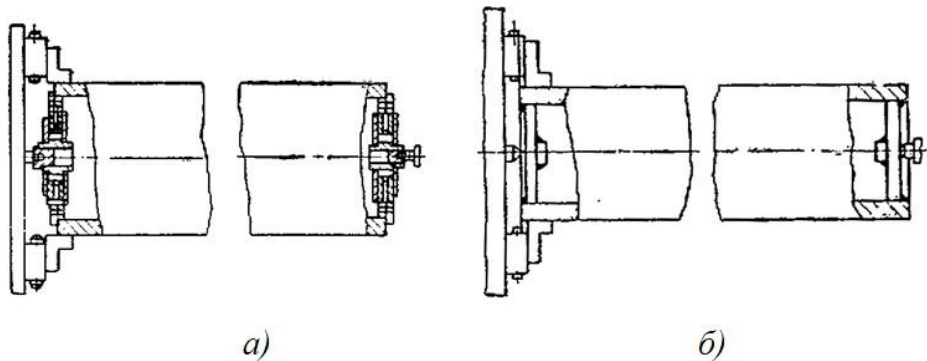
Точіння зовнішніх поверхонь заготовки при наявності в неї точного отвору виконують на оправках, установча поверхня яких може бути жорсткою або розсувною (цанговою). По способі кріплення на верстаті оправки можуть бути шпиндельними (консольними, з конічним хвостовиком) (рис. 4.6, а, б) і центровими (рис. 4.6, в).



*а – розсувна; б – жорстка; в – центрова*

*Рисунок 4.6 – Оправки шпиндельні [25]*

Для заготовок типу труб використовують центри йоржові (для отворів  $d < 200$  мм, точність установки 0,5 мм), хрестовини регульовані і центри (для отворів  $d = 400–1500$  мм, точність установки 0,5 мм) (рис. 4.7, а), хрестовини вварені і центри (для отворів  $d > 1500$  мм, без вивірки) (рис. 4.7, б).



*а – хрестовини регульовані і центри; б – хрестовини вварені і центри*

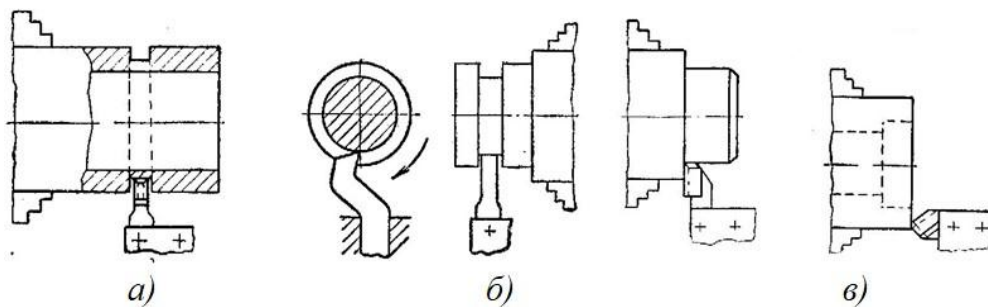
*Рисунок 4.7 – Хрестовини і центри для заготовок типу труб [3]*

Із збільшенням розмірів верстата зростає ступінь його механізації. При значенні параметру  $D = 800–1000$  мм верхні (різцеві) полозки мають механічний привод, що дозволяє механізувати точіння конусів за способом повороту напрямних верхніх полозків.

У більш великих верстатів передбачається одночасне включення рухомих частин супорта, що дозволяє обробляти конічні поверхні за способом двох подач. Верстати з  $D > 1600$  мм мають 2 супорти. У особливо великих верстатів з  $D \geq 2000$  мм один з супортів – тільки гвинторізний. У важких верстатах не тільки супорти, але й задня бабка, а у особливо великих

верстатах і піноль мають прискорені механічні переміщення. Верстати з *числовим програмним управлінням* (ЧПУ) оснащуються верстатними пристроями – патронами з гідро- або пневмоприводами.

На токарних верстах різцями також виконують відрізання та підрізання поверхонь тіл обертання (рис. 4.8).



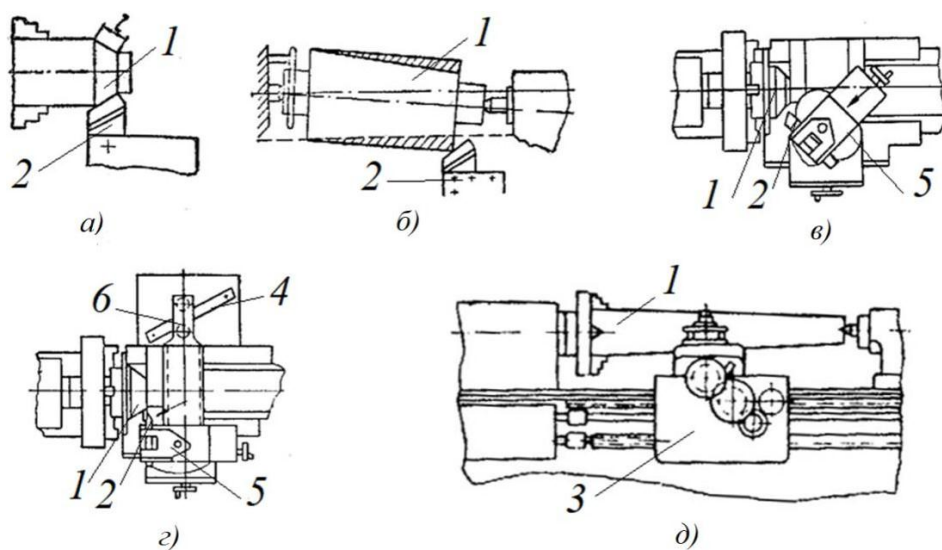
*а – відрізання прямим різцем для тонкостінних деталей;*

*б – відрізання відігнутим різцем для товстостінних деталей;*

*в – підрізання торців*

*Рисунок 4.8 – Схеми обробки торцевих поверхонь тіл обертання [3]*

Зовнішні конусні та фасонні поверхні на тілах обертання можна виконати за наступними схемами (рис. 4.9, рис. 4.10). На рис. 4.9 та 4.10: 1 – заготовка; 2 – інструмент; 3 – супорт; 4 – копір; 5 – різцетримач; 6 – упор.



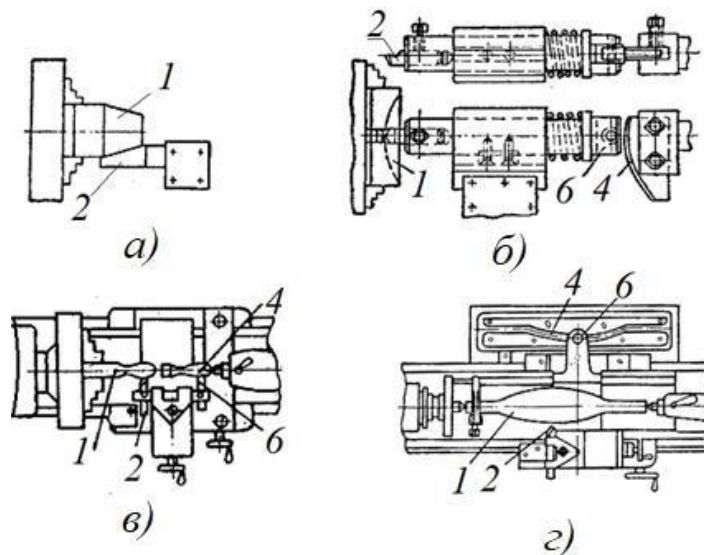
*а – широким різцем; б – шляхом зсуву задньої бабки;*

*в – шляхом зсуву верхніх поздовжніх і поперечних супортів;*

*г – за копіром; д – при одночасній поздовжній і поперечній подачі (або за програмою на верстаті з ЧПУ)*

*Рисунок 4.9 – Схеми обробки конусів [3]*

Фасонні поверхні виконують з використанням фасонного різця, за копіром, а також на верстаті з ЧПУ.



*а – фасонним різцем; б – торцевих поверхонь за копіром;  
в – за копіром, закріпленим у задній бабці;  
г – за копіром, закріпленим на кронштейні ззаду (або спереду)*  
Рисунок 4.10 – Схеми обробки фасонних поверхонь на токарних верстатах [3]

Основним різальним інструментом є *різець*. За допомогою різців можна точити зовнішні поверхні обертання, підрізати плоскі торцеві поверхні, прорізати канавки, відрізати заготовку, а також обробляти фасонні поверхні при прямолінійному напрямку подачі.

Різці класифікують за призначенням, напрямком руху, формою різальної частини і за конструкцією.

За призначенням різці (рис. 4.11) підрозділяються на прохідні 6, 8 і прохідні упорні 4, підрізні 1, відрізні і прорізні 5, розточувальні 9, 10, фасонні 2 (рис. 4.12), різьбові 7, різці для чистової обробки 3 і інші.

За напрямком руху: праві 6 і ліві 1, радіальні і тангенціальні.

За формою різальної частини: прямі 6, 3, відігнуті 1, 4, 8, 9, 10, відтягнуті 5, 7 і вигнуті.

За конструкцією різці поділяються на суцільні і збірні (рис. 4.12) з різними способами кріплення різальної пластини, різцеві блоки.

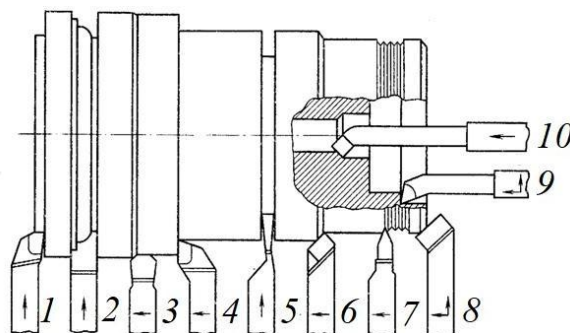
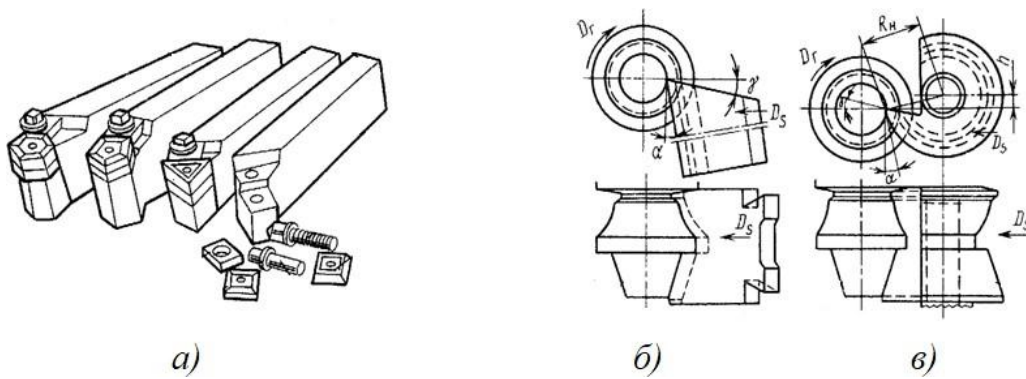


Рисунок 4.11 – Основні типи токарних різців

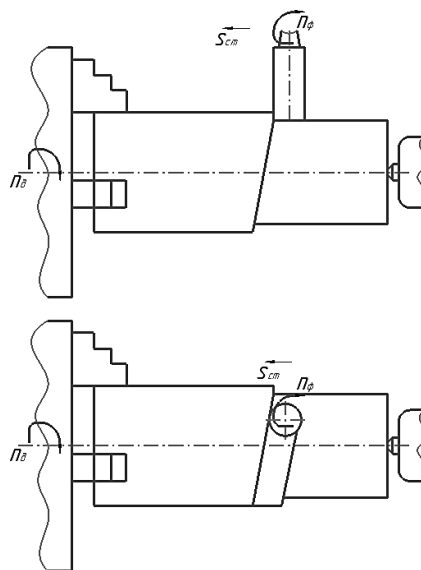


*а – різці з механічним кріпленням пластини*

*б – фасонні різці призматичні; в – фасонні різці круглі*

*Рисунок 4.12 – Конструктивні особливості токарних різців [26]*

Одним з продуктивних методів обробки зовнішніх поверхонь обертання є *фрезерування (фрезоточіння)*. Такий метод реалізують на спеціальних фрезерних верстатах при обробці заготовок східчастих валів, колінчастих валів та інших, вертикально-фрезерних верстатах і верстатах з ЧПУ, токарних оброблювальних центрах, кінцевими фрезами (рис. 4.13). Точність обробки забезпечує 9–10 квалітет,  $Ra = 12,5 \dots 6,3$  мкм.



*Рисунок 4.13 – Схема фрезоточіння*

Протягування зовнішніх циліндричних поверхонь застосовують в масовому виробництві і виконують на верстатах спеціального призначення (верстатах для протягування шийок колінчастого вала двигунів внутрішнього згорання) [24]. При протягуванні заготовка обертається, а плоска протяжка прямолінійно переміщається. Кожен зуб протяжки працює як різець, а ширина протягування відповідає ширині оброблюваної поверхні. Протягування є високопродуктивним методом обробки і забезпечує точність по 8–7 квалітетами і  $Ra = 6,3 \text{--} 0,2$  мкм.

## 4.2 Особливості обробки на revolverних і карусельних верстатах, токарних автоматах і напівавтоматах

*Токарно-револьверні* (скорочено *револьверні*) *верстати* відрізняються від токарно-гвинторізних відсутністю задньої бабки, замість якої установлено revolverний супорт, на якому змонтовано revolverну головку. У revolverних верстатах також відсутні ходові гвинти. У гніздах revolverної головки можна закріпити різці, свердла, зенкери, розгортки, мітчики, плашки і т. д. Причому у одному гнізді можна закріпити декілька інструментів, що дозволяє скоротити машинний час. Наявність механізму для повороту revolverної головки, а також упорів і інших механізмів дозволяє скоротити допоміжний час. Через складне налагодження токарно-револьверні верстати доцільно застосовувати у серійному виробництві.

Основною ознакою класифікації revolverних верстатів є розташування осі повороту revolverної головки. Існує два види revolverних верстатів: з вертикальною і горизонтальною віссю обертання revolverної головки.

На revolverних верстатах з *вертикальною віссю обертання revolverної головки* (рис. 4.14, а) поруч з revolverним супортом є також супорт, як і на токарному верстаті, який отримує поздовжню і поперечну подачі. Ці верстати дозволяють вести обробку одночасно інструментами поздовжнього і revolverного супортів. Заготовки можуть бути у вигляді прутків або поштучні. Прутки закріплюються у цангових затискувачах, а поштучні заготовки – патронами.

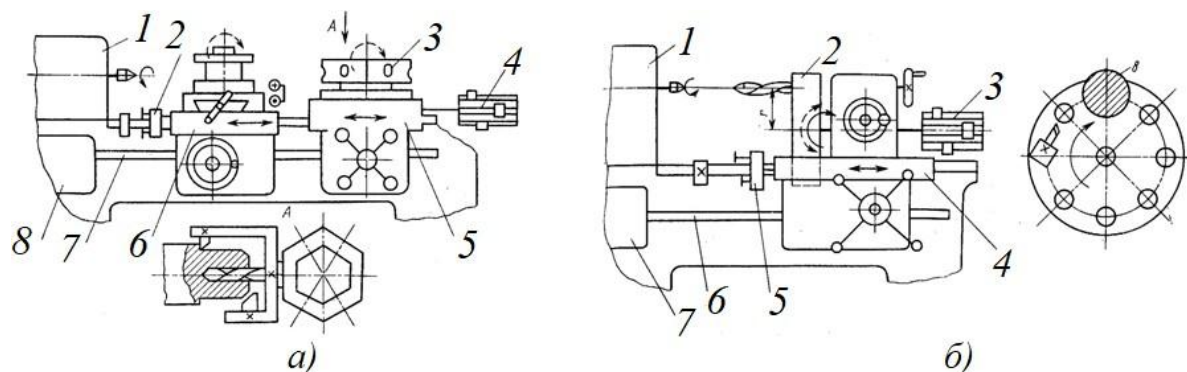


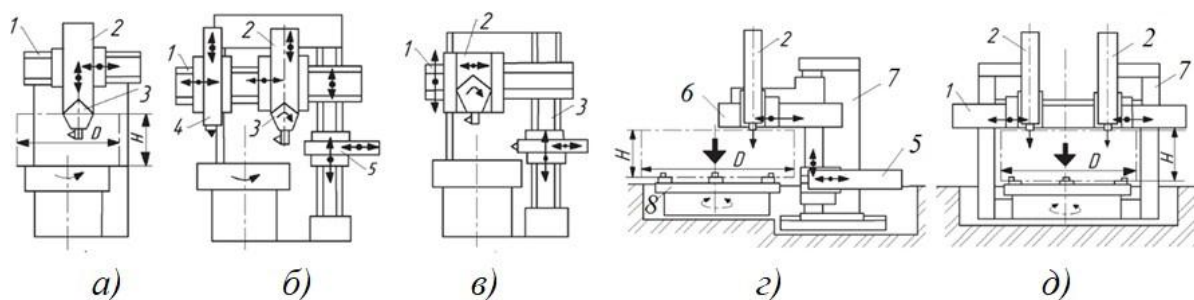
Рисунок 4.14 – Схеми revolverних верстатів [3]

Інструмент супорта 6 отримує поздовжню і поперечну подачі. На супорті установлений барабан 2 з упорами, який використовується при ручній подачі. Revolverний супорт 5 має поздовжню подачу. На супорті змонтована revolverна головка 3. Під час відведення revolverного супорту праворуч головка повертається для зміни різального інструмента. Одночасно повертається і барабан 4 з упорами. При повороті барабану упори через відповідні перемикачі подають команду на переключення коробки

швидкостей 1 і коробки подач 8. Рух з коробки подач на супорти передається ходовим валом 7.

На револьверних верстатах з *горизонтальною віссю обертання револьверної головки* (рис.4.14, б) револьверний супорт 4 разом з револьверною головкою 2 отримують поздовжню подачу. На верстатах такого типу поперечні супорти відсутні. Для виконання таких операцій, як підрізка торцю, відрізання деталі 8, револьверна головка отримує обертання – кругову подачу. Цей рух здійснюється механічно або вручну. Для зміни різального інструмента револьверна головка отримує обертання. При цьому командо-апарат 3 подає команду на переключення коробки швидкостей 1 і коробки подач 7. На торці супорта установлений барабан упорів 5. Рух від коробки подач на механізм супорту здійснюється ходовим валом 6.

На *токарно-карусельних верстатах* обробляють важкі заготовки у яких відношення довжини (висоти) до діаметра становить 0,3–0,5. Це ротори водяних і газових турбін, зубчасті колеса, маховики. Характерною особливістю *токарно-карусельних* (скорочено *карусельних верстатів*) є горизонтальне розташування площини круглого столу (планшайби), на якій кріпиться заготовка, що отримує при обробці обертання навколо вертикальної осі (рис.4.15). Верстати з планшайбою, діаметр якої  $D \leq (2-3,5) \text{ м}$ , випускаються одностійковими (рис. 4.15, а–в), з планшайбами більшого діаметру – двостійковими (рис.4.15, г, д), на яких можна обробляти деталі діаметром до 24 м.



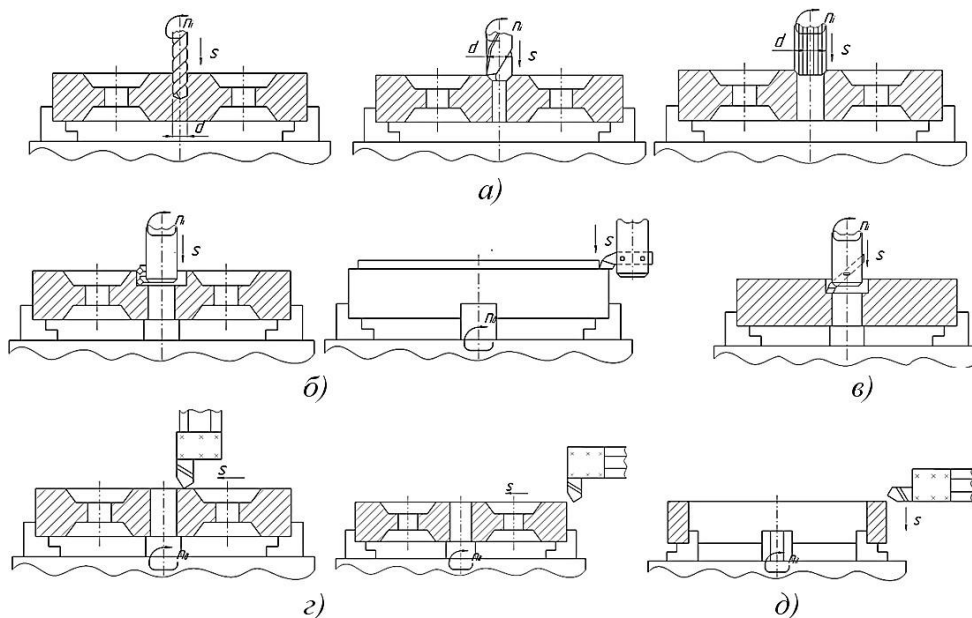
1 – поперечина; 2 – вертикальний супорт; 3 – револьверна головка;  
4 – додатковий вертикальний супорт; 5 – горизонтальний супорт;  
6 – консоль; 7 – стійка; 8 – рухомий стіл

Рисунок 4.15 – Компонування токарно-карусельних верстатів [25]

Оброблювана деталь кріпиться на планшайбі. Стояки скріплені верхньою балкою. По вертикальним напрямним стоякам переміщується траверса, а по горизонтальним напрямним траверси переміщуються супорти, на яких закріплюються різальні інструменти у револьверній головці.

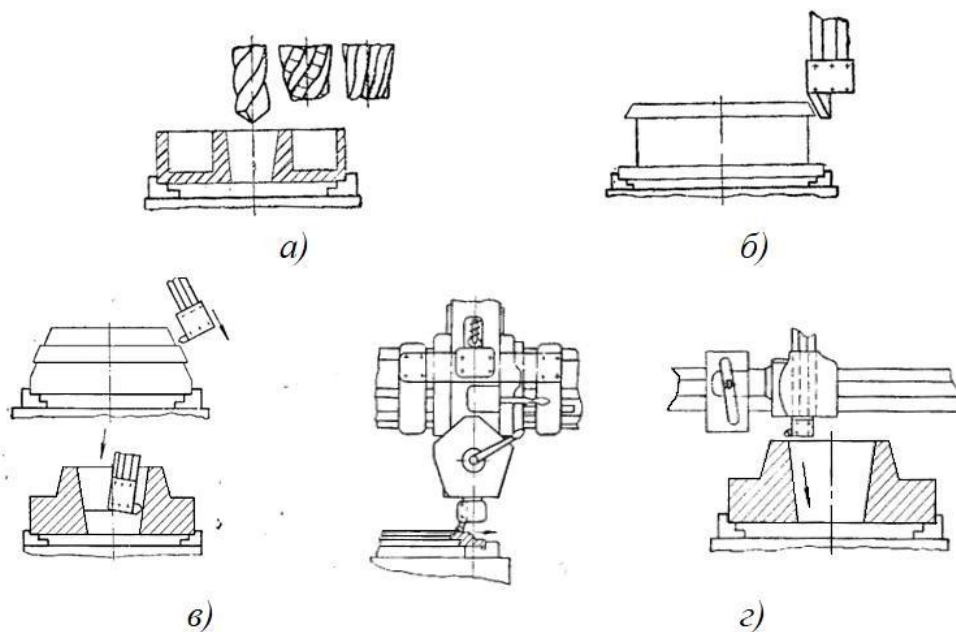
Деякі конструкції верстатів мають боковий супорт, який переміщається по вертикальним напрямним стоякам і служить для закріплення різального інструмента.

Основні схеми обробки на карусельних верстатах представлені далі (рис. 4.16; 4.17; 4.18).



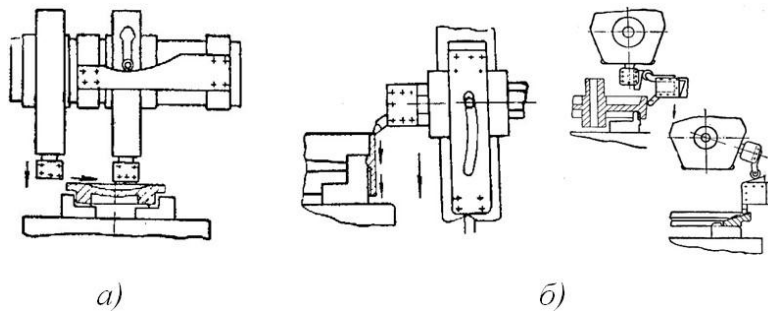
- а – свердлення, зенкування, розгортання;  
 б – чорнове і чистове розточування;  
 в – підрізання торцю підрізним різцем;  
 г – підрізання торцю вертикальним або боковим супортом;  
 д – обточування зовнішнього діаметра боковим  
 або вертикальним супортом*

*Рисунок 4.16 – Схеми обробки на карусельних верстатах*



- а – схема обробки конусних отворів профільним інструментом: свердлом,  
 зенкером і розверткою;  
 б – схема обробки зовнішнього діаметра профільним різцем;  
 в – схема обробки з розворотом на кут вертикального супорту;  
 г – схема обробки за копіром*

*Рисунок 4.17 – Схеми обробки конусних поверхонь на карусельних верстатах [23]*



*а – схема обробки вертикальним супортом випуклих або вигнутих поверхонь; б – схема обробки боковим супортом*  
 Рисунок 4.18 – Схеми обробки фасонних поверхонь на карусельних верстатах за копіром [23]

В великосерійному та масовому виробництві для обробки прутків круглого, квадратного або шестигранного перерізу, а також відлитої, кованих заготовок використовують автомати та напівавтомати. **Автомати** – верстати високої продуктивності, які без втручання людини здійснюють усі стадії робочого циклу від подачі заготовки до видачі готової деталі.

Верстат, у якому для подачі-видачі деталі потребується участь людини, а всі інші стадії робочого циклу здійснюються автоматично, називається **напівавтоматом**.

Токарні автомати та напівавтомати розрізняють за ступенем універсальності, розташуванню шпинделів і їх кількості, видом оброблюваних заготовок і іншим ознакам. Найбільше поширення набули універсальні горизонтальні одношпиндельні пруткові автомати: фасонно-відрізні, фасонно-поздовжні і револьверні.

**Фасонно-відрізні автомати** використовуються для обробки фасонних коротких деталей діаметром від 3 до 25 мм. Заготовка закріплюється в шпинделі 1 (рис. 4.19) за допомогою цангового затискувача. Верстат може мати від двох до чотирьох супортів, що переміщуються тільки в поперечному напрямку і несуть фасонний та відрізний різці. На рис. 4.19 показано два супорта 2, 3. Такі верстати мають відкидний упор 4 для прутків.

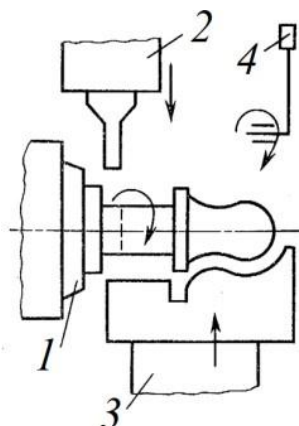
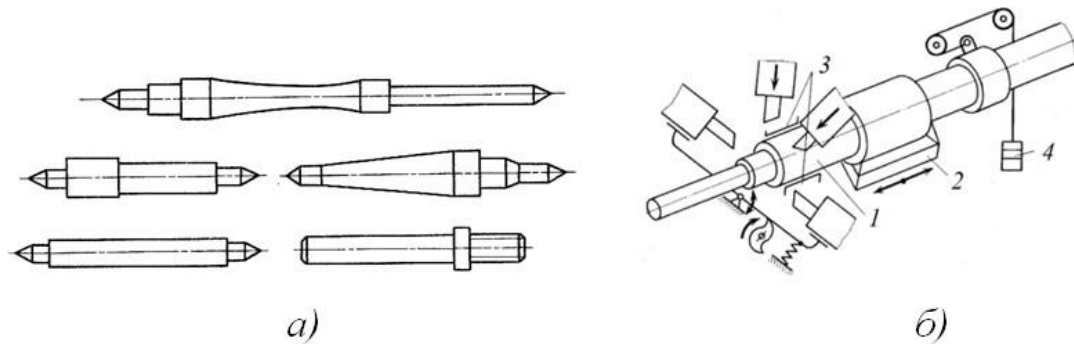


Рисунок 4.19 – Схема роботи фасонно-відрізного автомата

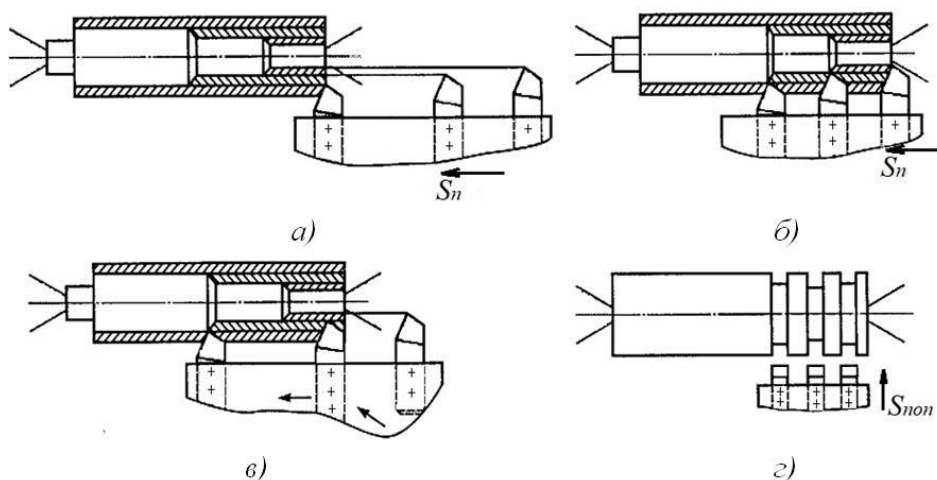
Фасонно-поздовжні верстати призначені для обробки довгих деталей малого діаметра (рис.4.20). В фасонно-повздовжніх автоматах пруток 1 (рис. 4.21) під час обробки отримує обертальний і поступальний рух разом зі шпиндельною бабкою 2.



*а – на автоматах поздовжнього точіння;  
б – на фасонно-повздовжніх автоматах  
Рисунок 4.20 – Типи деталей [24]*

Автомат має 4–5 поперечних супортів, розташованих навколо оброблюваного прутка. Вони отримують поперечну подачу від окремих кулачків. Супорти розташовані поруч з люнетом 3, в якому обертається пруток. Погоджені переміщення прутка і поперечних супортів дозволяють обробляти фасонні поверхні без застосування фасонних різців. Для нарізання різьби, свердління, фрезерування пазів використовують спеціальні пристрої. Навантаження 4 потрібне для утримування прутка в передньому положенні його при відході шпиндельної бабки назад.

На багаторіцевих напівавтоматах заготовки обробляють поперечним, поздовжнім та комбінованим рухами супортів, на яких встановлено різці. Обточування з поздовжньою подачею різців виконують так, як показано на рис.4.21 *а*, або врізанням і наступною поздовжньою подачею (рис. 4.21 *б, в*).

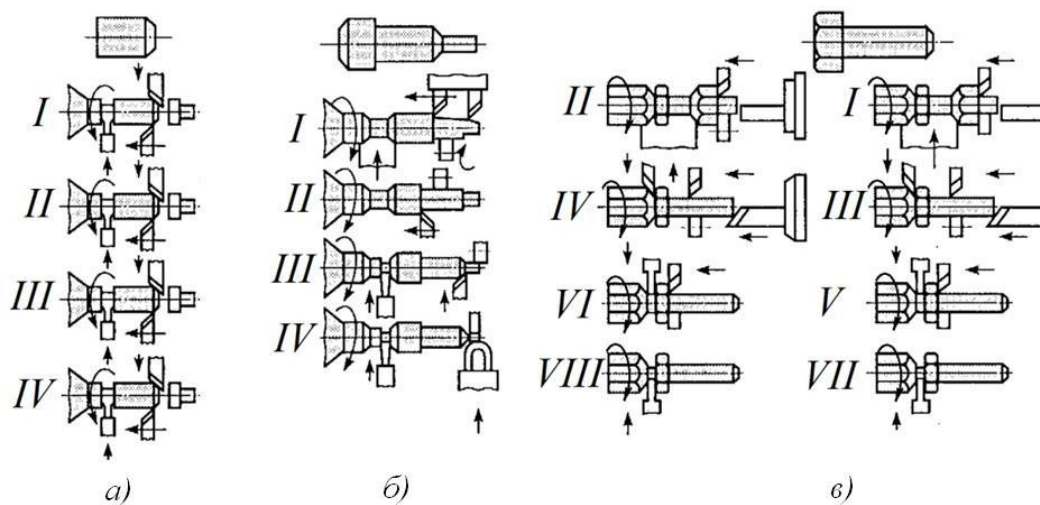


*Рисунок 4.21 – Схема багаторіцевої обробки [3]*

У першому випадку різці встановлюють на супорті з необхідним взаємним розміщенням. Працюють вони послідовно. В другому випадку різці працюють одночасно, спочатку с косим врізуванням, а потім з поздовжньою подачею (рис.4.21, б), коли довжина ступеней вала однакова. Коли довжина ступеней вала різна (рис. 4.21, в), працюють не всі різці. На напівавтоматах можна обточувати заготовки і з поперечною подачею (рис. 4.21, з).

Багатошпиндельні автомати можуть мати до восьми шпинделів. Обробку можна вести за паралельним, послідовним, паралельно-послідовним методами (рис. 4.22).

На останній позиції відрізується деталь. Використовують автоматичне контрольне обладнання, автоматичну підналагоджувальну операцію, автоматичну заміну різців.



*а – за паралельним методом одночасно чотирьох заготовок на чотиришпиндельному автоматі;*

*б – за послідовним методом однієї заготовки на чотиришпиндельному автоматі;*

*в – за паралельно-послідовним методом одночасно двох заготовок на восьмишпиндельному автоматі*

**Рисунок 4.22 – Схема обробки на багатошпиндельних пруткових автоматах[3]**

### **4.3 Методи чистової, оздоблюваної та зміцнювальної обробки зовнішніх поверхонь тіл обертання**

Для отримання поверхонь з точністю 8–5 квалітет, та шорсткістю  $Ra$  0,32–0,04 мкм остаточно обробленої зовнішньої поверхні, використовують в залежності від вимог та характеру деталі різноманітні види чистової опоряджувальної обробки. Ці умови досягаються при тонкій обробці, що виконується при великих швидкостях різання на верстатах, що мають велику жорсткість і точність. При тонкому точінні заготовок з кольорових

металів і сплавів, неметалічних матеріалів використовують різальний інструмент з алмазом, а при точінні заготовок зі сталі і чавуна – твердосплавний різальний інструмент із доведеними різальними кромками. Швидкість різання складає 100–1000 м/хв. Та більше при подачі 0,03–0,1 мм/об та глибині 0,05 – 0,1 мм (для алюмінієвих сплавів).

*Шліфування* – найбільш розповсюджений вид абразивної обробки, що забезпечує точність 8–6 квалітетів і шорсткість  $Ra = 0,32\text{--}0,16$  мкм.

Види шліфування:

– грубе (обдирне) – припуск до 1 мм на діаметр і більше, використовується під час обдирання заготовок;

– чорнове – одноразове або попереднє після токарної та до термічної обробки, використовують для підготовки поверхні до остаточної обробки, одержують точність 9–8 квалітетів і шорсткість  $Ra = 6,3\text{--}0,4$  мкм;

– чистове, буває одноразове остаточне або попереднє – використовують для підвищення точності форми та розташування, одержують точність 7–6 квалітетів і шорсткість  $Ra = 1,6\text{--}0,4$  мкм; остаточне (тонке) – використовують для зменшення шорсткості та підвищення точності, одержують точність 6–5 квалітетів і шорсткість  $Ra = 1,6\text{--}0,1$  мкм;

Головний рух при шліфуванні – окружна швидкість круга. Розрізняють звичайне шліфування  $V_k < 35$  м/с, швидкісне  $V_k = 35\text{--}60$  м/с, високошвидкісне  $V_k > 60$  м/с. *Подача* може бути поздовжньою  $S_{нов}$ , поперечною  $S_n$ , вертикальною  $S_v$  і ін.

*Шліфування в центрах* використовується для обробки зовнішніх циліндричних, конічних і фасонних поверхонь. Існує три види шліфування в центрах: методом поздовжньої подачі (рис.4.23, а), глибинне шліфування (рис.4.23, б) і врізне шліфування деталей із прямолінійною або криволінійною твірною (рис.4.23, в, г). В останньому випадку круг повинний бути більшої ширини, чим ширина деталі. У врізних верстатах відсутня поздовжня подача столу.

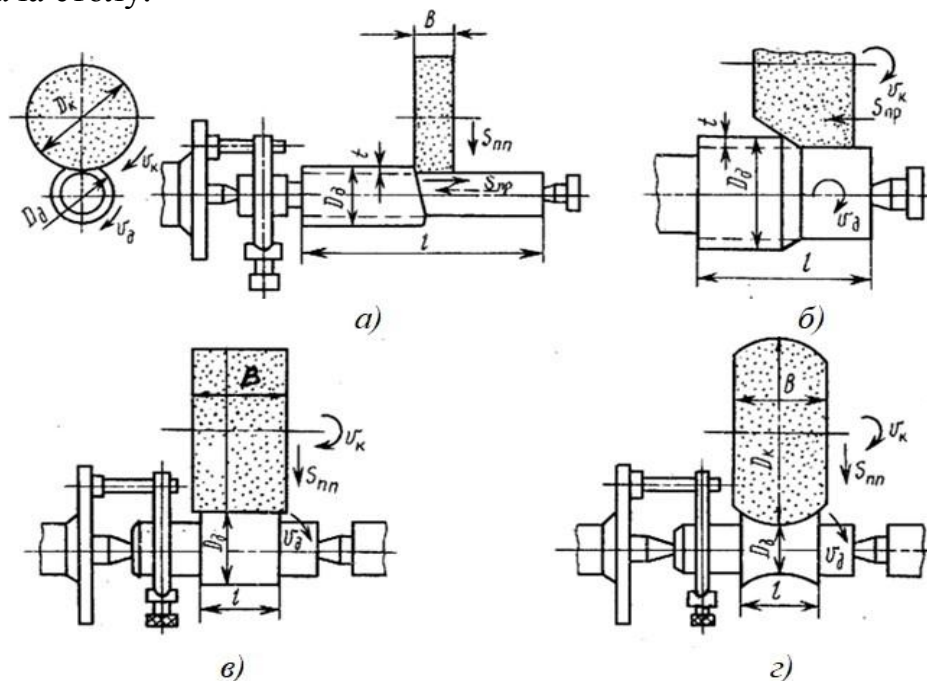


Рисунок 4.23 – Схеми круглого шліфування [3]

Види круглошліфувальних верстатів представлені на рис. 4.24.



Рисунок 4.24 – Види круглошліфувальних верстатів

круглошліфувальний верстат оснащений поворотними пристроями в передній і шліфувальній бабках. Передню і задню бабки можна повертати в межах  $\pm 10^\circ$  відносно нижньої частини столу, що використовується при шліфуванні конічних поверхонь (рис. 4.25). Шліфування конічних поверхонь з кутом нахилу не більше  $8^\circ$  виконують на простих верстатах при установці в центрах за рахунок повороту верхньої частини столу (рис. 4.25, а).

Шліфування конічних поверхонь на універсальних верстатах виконується за допомогою повороту передньої бабки (рис. 4.25, б) або шпиндельної бабки із кругом (рисунок 4.25, в).

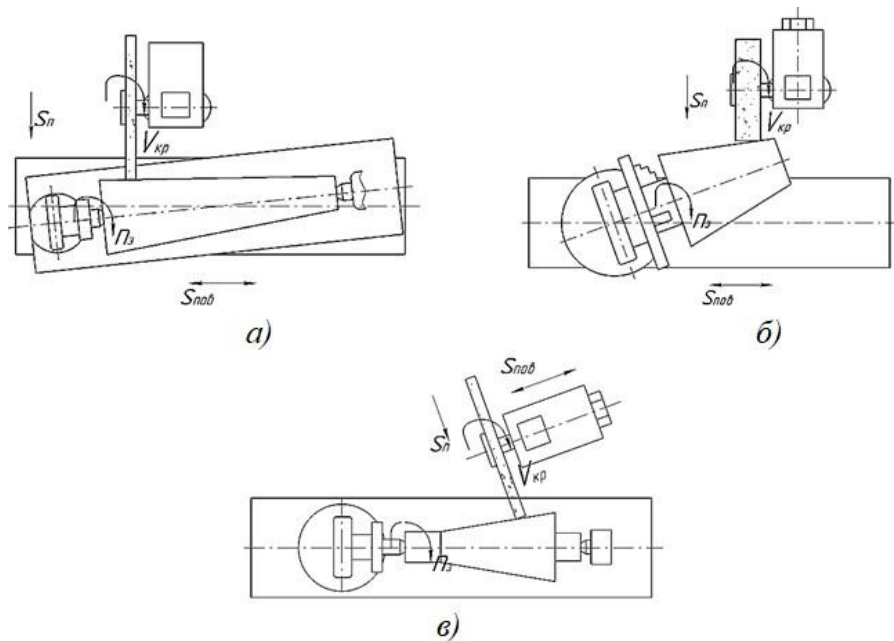


Рисунок 4.25 – Шліфування конічних поверхонь на круглошліфувальних верстатах

Додатково круглошліфувальні верстати можуть бути забезпечено системою активного контролю та приладом для шліфування торців.

Торцекруглошліфувальний верстат здійснює обробку зовнішніх циліндричних, конічних, торцевих поверхонь шліфуванням з осьовим рухом подачі і врізним шліфуванням. За допомогою врізного шліфування можливо обробити зовнішню і прилеглу торцеву поверхню за одну операцію.

Для шліфування зовнішніх поверхонь тіл обертання в великосерійному та масовому виробництві використовують спосіб безцентрового шліфування з повздовжньою подачею або врізанням.

Переваги безцентрового шліфування [3]:

- висока продуктивність (подача заготовок, досягнення необхідного розміру, видалення деталі з верстата і інші дії здійснюються автоматично). Верстат легко автоматизується та включається в автоматичні лінії;

- спосіб не вимагається центрування деталей, тому можна призначати значно менший припуск під шліфування, оскільки виключаються помилки, що виникають через неправильне центрування;

- немає необхідності застосовувати люнети при шліфуванні довгих валів.

Недоліки безцентрового шліфування:

- не можна досягти точної концентричності зовнішньої і внутрішньої циліндричних поверхонь;

- у ступінчатих валах не можна шліфувати кожну ступень окремо, так як не забезпечується концентричність кіл ступенів. У двоступеневих валах треба шліфувати одночасно обидві ступені, маючи для кожного діаметра валика два круга (круг, що шліфує та ведучий);

- налагодження та регулювання центрів шліфувальних верстатів, особливо при шліфуванні ступінчатих валів, вимагають значної витрати часу та ефективно у великосерійному та масовому виробництві.

При *безцентровому зовнішньому шліфуванні* з повздовжньою подачею (рис. 4.26) заготовка 1 розташовується між кругом 3, що шліфує і ведучим кругом 4, а знизу підтримується упором (ножем) 2. Для забезпечення повздовжнього переміщення заготовки вісь ведучого круга встановлена під невеликим кутом до осі круга, що шліфує.

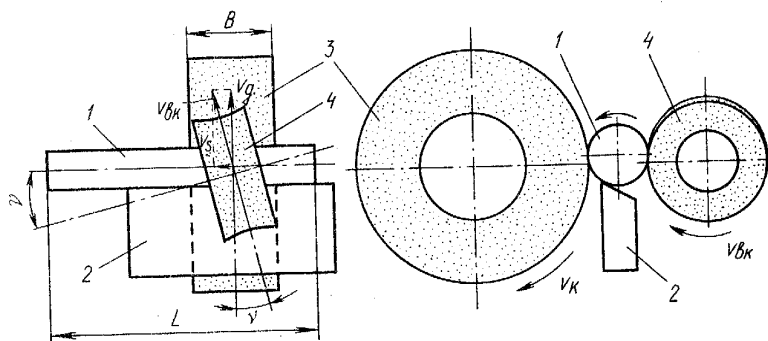


Рисунок 4.26 – Схема безцентрового зовнішнього шліфування з повздовжньою подачею

Тонке шліфування використовується для одержання 6–5 квалітету точності і шорсткості  $Ra = 0,32$  мкм і виконується на жорсткому обладнанні з високою точністю переміщення робочих органів.

При шліфуванні використовують шліфувальні круги, головки, сегменти, бруски. Ці інструменти характеризуються абразивним матеріалом, його зернистістю, твердістю, структурою, зв'язкою, конструктивними формами, розмірами. Як основні матеріали для шліфувальних інструментів використовують абразивні, алмазні і ельборові шліфувальні зерна. Маркування шліфувальних кругів виконується за ДСТУ 2424 «Круги шліфувальні. Технічні умови», ДСТУ 3647 «Матеріали шліфувальні. Класифікація. Зернистість та зерновий склад. Методи контролю», ДСТУ 18118 «Інструмент абразивний. Вимірювання твердоті піскоструминним методом» або за стандартом FEPA (Federation of European Producers of Abrasives – Федерація Європейських Виробників абразивів).

Для виготовлення абразивних інструментів в основному використовують електрокорунд різних марок (нормальний, білий, хромистий, титанистий, цирконієвий), монокорунд, карбід кремнію зелений і чорний. Наприклад: електрокорунд нормальний (марки 12А, 13А, 14А, 15А – шліфування вуглецевих і легованих сталей з великими припусками); електрокорунд білий (марки 23А, 24А, 25А – чистове шліфування, заточення різального інструмента); карбід кремнію чорний (марки 53С, 54С, 55С – обробка твердих сплавів, важкі обдирні роботи, різання металів); карбід кремнію зелений (марки 63С, 64С – для оздоблювального шліфування, заточення різального інструмента).

Зернистість вказує на розмір різальних зерен основної фракції, що використані в даному інструменті. Абразивні матеріали по зернистості підрозділяються на 3 групи: шліфзерно 200–16 розміром 2500–160 мкм; шліфпорошки 12–4 розміром 160–40 мкм; мікрошліфпорошки М63–М20 розміром 63–14 мкм і тонкі мікропорошки М14–М5 розміром 14–3 мкм (табл. 4.1). Наприклад: 63, 50 – плоске шліфування торцем круга, поперечне шліфування незагартованої сталі; 40, 32, 25 – попереднє й остаточне шліфування загартованої сталі ( $Ra = 2,5 - 0,63$  мкм); 20, 16 – чистове шліфування ( $Ra = 1,25 - 0,32$  мкм).

Таблиця 4.1 – Позначення зернистості за стандартом FEPA та ДСТУ 3647

| Зернистість      |          |          |          |          |  |           |    |
|------------------|----------|----------|----------|----------|--|-----------|----|
| Велика           |          | Середня  |          | Мала     |  | Тонка     |    |
| FEPA (ДСТУ 3647) |          |          |          |          |  | ДСТУ 3647 |    |
| F4               | F14      | F36 (50) | F90 (16) | F100(12) |  | M63       | M7 |
| F5               | F16(125) | F40      |          | F120(10) |  | M50       | M5 |
| F6               | F20(100) | F46 (40) |          | F150 (8) |  | M40       |    |
| F7               | F22      | F54 (32) |          | F180 (6) |  | M28       |    |
| F8               | F24 (80) | F60 (25) |          | F220 (5) |  | M20       |    |
| F10(200)         | F30 (63) | F70 (20) |          |          |  | M14       |    |
| F12(160)         |          | F80      |          |          |  | M10       |    |

Твердість абразивного інструмента характеризує міцність утримання абразивних зерен зв'язкою у тілі інструмента. Наприклад: м'які – М1, М2, М3; середньом'які – СМ1, СМ2 – плоске шліфування торцем круга, шліфування загартованих вуглецевих і легированих сталей, чистове кругле зовнішнє, внутрішнє, тонке шліфування; середні – С1, С2, середньотверді – СТ1, СТ2, СТ3 – кругле зовнішнє, внутрішнє шліфування незагартованих вуглецевих і легированих сталей; тверді – Т1, Т2, дуже тверді ВТ1, ВТ2 і надзвичайно тверді ЧТ1, ЧТ2 – обдирне шліфування, виправлення абразивних кругів.

Структура характеризує співвідношення між об'ємом абразивних зерен, зв'язкою і пор у тілі інструмента. Найбільш поширені круги зі структурами 1–12 (1, 2, 3, 4 – щільна; 5, 6, 7 – середня; 8, 9, 10 – відкрита; 11, 12 – високопориста).

Зв'язка визначає міцність і твердість інструмента. Наприклад: керамічна (V – за позначенням FERA) К1, К2, К4, К5, К7, К8 (усі види шліфування), бакелітова (В – за позначенням FERA) Б, Б1, Б2, Б3 (обдирне плоске і внутрішнє шліфування), вулканітова (R – за позначенням FERA) В, В1, В2, В3 (безцентрове і профільне шліфування), грифталієва ГФ (доводочні і полірувальні роботи).

Таблиця 4.2 – Позначення твердості абразивного інструменту

| М'які             | Середньо м'які | Середні | Середньо тверді | Тверді | Дуже тверді | Надзвичайно тверді |
|-------------------|----------------|---------|-----------------|--------|-------------|--------------------|
| FERA (ДСТУ 18118) |                |         |                 |        |             |                    |
| F (BM1)           | K (CM1)        | M (C1)  | O (CT1)         | R (T1) | T, U (BT)   | V W X Y Z (CT)     |
| G (BM2)           | L (CM2)        | N (C2)  | P (CT2)         | S (T2) |             |                    |
| H (M1)            |                |         | Q (CT3)         |        |             |                    |
| I (M2)            |                |         |                 |        |             |                    |
| J (M3)            |                |         |                 |        |             |                    |

Форма і розміри шліфувальних кругів, головок, сегментів, брусків регламентуються стандартами. Окремі приклади приведені у таблиці 4.3.

Приклад умовного позначення круга типу ПП розмірами  $D = 300$  мм,  $H = 20$  мм,  $d = 127$  мм із електрокорунду білого марки 24А, зернистістю 25, твердістю СТ2, структурою 6 на керамічній зв'язці:

*ПП 300x20x127 24А 25 СТ2 6 К ГОСТ 2424–75.*

До спеціальних методів оздоблювальної обробки відносяться: суперфінішування, притирання і полірування.

*Суперфінішування* – це тонкий процес абразивної обробки переважно зовнішніх циліндричних поверхонь коливними дрібнозернистими брусками (рис. 4.27).

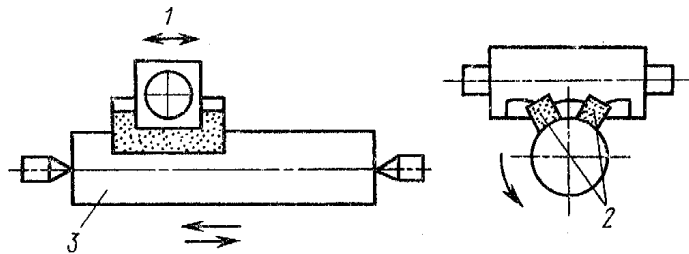


Рисунок 4.27 – Схема суперфінішування

Вібраційний рух брусків до 20 кГц і більше з амплітудою 2–5 мм при наявності обертового і поступального рухів заготовки 3 ускладнює траєкторію абразивних зерен у порівнянні з гвинтовою траєкторією при хонінгуванні, що прискорює процес зняття матеріалу і поліпшує однорідність утвореної поверхні. Особливістю суперфінішування є незначний тиск брусків 2, установлених на оброблювану поверхню, що не виправляє її форму і розташування. При суперфінішуванні можна досягти шорсткості поверхні  $Ra = 0,1\text{--}0,01$  мкм при точності 5–4 квалітет.

Таблиця 4.3 – Форми шліфувальних кругів

| Різновиди            | Абразивний інструмент |                             |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                      | Ескіз перерізу        | Позначення ДСТУ 2424 (FEPA) |
| Плоскі:              |                       | ПП (1)                      |
| прямого профілю      |                       |                             |
| з виточкою           |                       | ПВ (5)                      |
| Диски                |                       | Д (41)                      |
| Тарілки              |                       | Т                           |
| Чашки конічні        |                       | ЧК (11)                     |
| Головки циліндричні  |                       | ГЦ                          |
| Бруски хонінгувальні |                       | БХ                          |

В таблиці 4.4 в порівнянні представлено позначення шліфувального круга.

Таблиця 4.4 – Маркування шліфувального круга

|     |           |                       |             |           |           |         |                                |                      |               |                        |
|-----|-----------|-----------------------|-------------|-----------|-----------|---------|--------------------------------|----------------------|---------------|------------------------|
| ПП  | 150x20x32 | 14A                   | 50          | СТ2       | 5         | Б       | У                              | 63 м/с               | А             | 2 кл.                  |
| Тип | Розмири   | Шліфувальний матеріал | Зернистість | Твердість | Структура | Зв'язка | Наявність зміцнюючих елементів | Робоча швидкість м/с | Клас точності | Клас неврівноваженості |
| 1   | 150x20x32 | 14A                   | F36         | P         | 5         | B       | F                              | 63 м/с               |               | 2 кл.                  |

*Круг шліфувальний ПП 150x20x32 14A 50 СТ2 5 Б У 63 м/с А 2 кл*

*Круг шліфувальний 1 150x20x32 14A F36 P 5 B F 63 м/с 2 кл*

*Притирання* використовується для оздоблювальної обробки циліндричних, конічних, сферичних і інших поверхонь за допомогою притирів 1 визначеної форми (рис. 4.28). Притир виготовляються з дерева, бронзи, чавуна, скла з дуже високою точністю. Абразив у виді порошку втирають (шаржують) у притир або наносять на нього у виді пасти. Як абразивний матеріал крім електрокорунду і карбіду кремнію використовують карбід бора, оксид хрому й алмази. Методом притирання можна досягти шорсткості поверхні  $Ra = 0,16-0,01$  мкм при точності 5–4 квалітет.

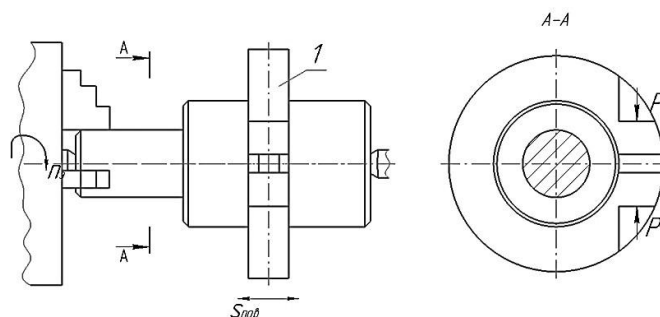
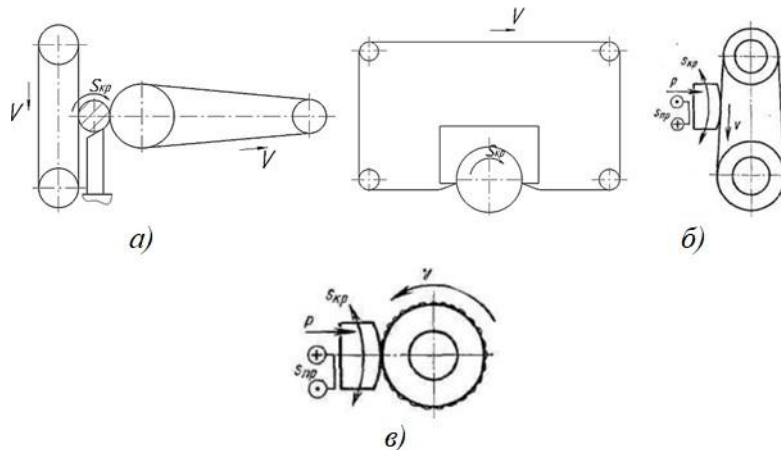


Рисунок 4.28 – Схема притирання зовнішньої циліндричної поверхні

*Полірування* виконують пастами або абразивними зернами, змішаними зі змазкою, які наносять на еластичні носії, що швидко обертаються – круги або стрічки. При цьому одночасно відбуваються процеси тонкого різання, пластичне деформування поверхневого шару та хімічні реакції під впливом на метал хімічно активних речовин. Круги виготовляються з повсті, фетру, шкіри, капрону й інших матеріалів. Стрічки виготовляються на тканинній, нейлоновій і іншій основах. Стрічкове шліфування виконують на спеціальних та універсальних верстатах (рис. 4.29). Шорсткість обробленої поверхні  $Ra = 0,16-0,063$  мкм.

Полірують на великих швидкостях (до 40–50 м/с). Заготовка підтискується до кола зусиллям  $P$  (рис. 4.29, в) і робить рухи подачі  $s_n$  і  $s_{кр}$  відповідно до профілю оброблюваної поверхні. Полірування стрічками (рис. 4.29, а, б) має ряд переваг. Робоча поверхня стрічки значно перевищує робочу поверхню круга, внаслідок чого відбувається інтенсивне розсіювання теплоти.

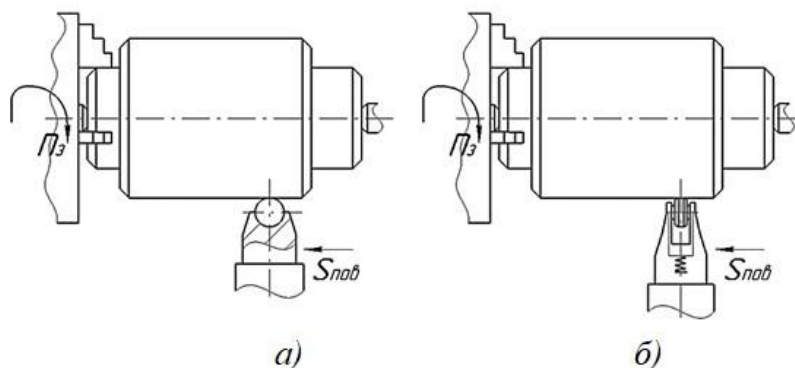
Еластична стрічка огинає всю шліфується поверхня. Тому рухів подачі може не бути.



*а – безцентрове полірування; б – полірування стрічкою, притиснутою до деталі жорстким або пружним контртілом; в – полірування кругом;  
г – полірування стрічкою фасонних поверхонь*

*Рисунок 4.29 – Схема полірування зовнішньої циліндричної поверхні*

Обкатування використовують для обробки циліндричних, конічних, фасонних зовнішніх поверхонь. Як давильний інструмент використовують ролики і кульки. Інструмент, закріплені в спеціальних пристроях, працює при поздовжній або поперечній подачі (рис. 4.30).



*а – кулькою; б – роликом*

*Рисунок 4.30 – Схема обкатування зовнішньої поверхні*

Ролики і кульки виготовляють з матеріалів: ШХ15, ХВГ, 9Х, Р6М5 і твердих сплавів. Для підвищення ефективності процесу використовують мастило, що містить поверхнево-активні речовини. Вигладжування алмазом (алмазне вигладжування), які мають незначний коефіцієнт тертя при ковзанні, високу твердість і зносостійкість. Шорсткість поверхні можна зробити дуже малою ( $R_z = 0,05\text{--}0,025$  мкм). Його використання дозволяє вигладжувати поверхні, загартовані на високу твердість (HRC 60). Робочої частини алмазу надають сферичну форму ( $R = 2\text{--}4$  мм). Вигладжують при швидкості 50–150 м/хв, подача 0,05–0,1 мм/об.

*Зміцнювальна обробка* – це процес локалізованих ударних дій інструментів на матеріал заготовки. Зони, що сприймають удари, прилягають одна до іншої. Тому значні місцеві дії сприймає практично вся оброблена поверхня.

*Ротаційна обробка* (інструментами відцентрово-ударної дії) побудована на ударах кульок чи роликів, вільно розташованих у гніздах пристроїв, що швидко обертаються під дією відцентрової сили (рис. 4.31).

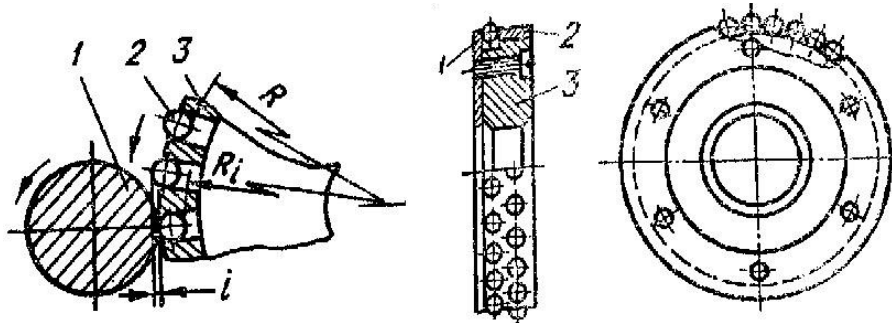


Рисунок 4.31 – Схема ротаційної обробки та конструкція інструменту[3]

Твердість поверхні збільшується на 30–80%, глибина наклепаного шару – 0,3–2,0 мм, залишкові напруги стиску – 400–800 МПа. Обробку деталей здійснюють на токарних, фрезерних та шліфувальних верстатах. Поверхня деталі змащується гасом, а шарики – сумішшю індустриальної олії (60%) і гасу (40%).

### Питання для контролю

1. Поясніть технологічні можливості обробки точінням?
2. Назвіть основні рухи різання при обробці циліндричних поверхонь лезовим інструментом на токарних верстатах?
3. Назвіть технологічне оснащення для токарних робіт: пристосування та інструменти. Класифікація різців.
4. Які види робіт можливо виконувати на токарних верстатах? Поясніть схеми оброблення.
5. Поясніть особливості конструкції і схеми обробки на токарно-карусельних верстатах.
6. Поясніть особливості конструкції і схеми обробки на токарно-револьверних верстатах, токарних напівавтоматах і автоматах.
7. Назвіть види круглого зовнішнього шліфування: схеми обробки, обладнання.
8. Поясніть схеми обробки способом безцентрового шліфування. Назвіть обладнання.
9. Поясніть схеми обробки для шліфування зовнішніх конічних поверхонь.
10. Охарактеризуйте вибір характеристик абразивних інструментів.
11. Розкрийте методи опоряджувальної обробки абразивним інструментом: суперфінішування, полірування, притирання.
12. Поясніть способи обробки поверхонь методами ППД: схеми обробки.

## 5 МЕТОДИ ОБРОБКИ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ТА ОТВОРІВ

### 5.1 Методи обробки внутрішніх поверхонь обертання та отворів лезовим інструментом, схеми обробки, технологічне оснащення, інструмент

Обробляти отвори можна зняттям і без зняття стружки. Лезовим інструментом можна виконувати свердління, зенкування, розгортання, розточування, зокрема тонке (алмазне), протягування. Абразивним інструментом здійснюють шліфування, хонінгування, суперфінішування; притирання (доведення). Обробка отворів без зняття стружки проводиться калібруванням за допомогою прошивок і кульок, які вигладжують, а також розкочування.

Виконання отворів у суцільному матеріалі з точністю 12–14 квалітетів і шорсткість поверхні  $Ra = 6,3\text{--}12,5$  мкм досягається за допомогою свердління. *Свердління* – це процес утворення отвору в суцільному матеріалі за допомогою свердла. Свердлом можна також розсвердлювати отвір, що отриманий у заготовці при литті, штампуванні або свердлінні. Для виключення відведення свердла під час обробки використовують кондуктори з направляючими кондукторними втулками (досяжна точність 10–11 квалітетів). Отвори діаметром більше 30 мм в суцільному матеріалі зазвичай свердлять двома свердлами з метою зменшення осьової сили та відведення свердла. При свердлінні отворів під різьбу діаметр свердла приймається більше внутрішнього діаметра різьби на величину  $a = 0,34\text{--}0,4$  глибини різьби.

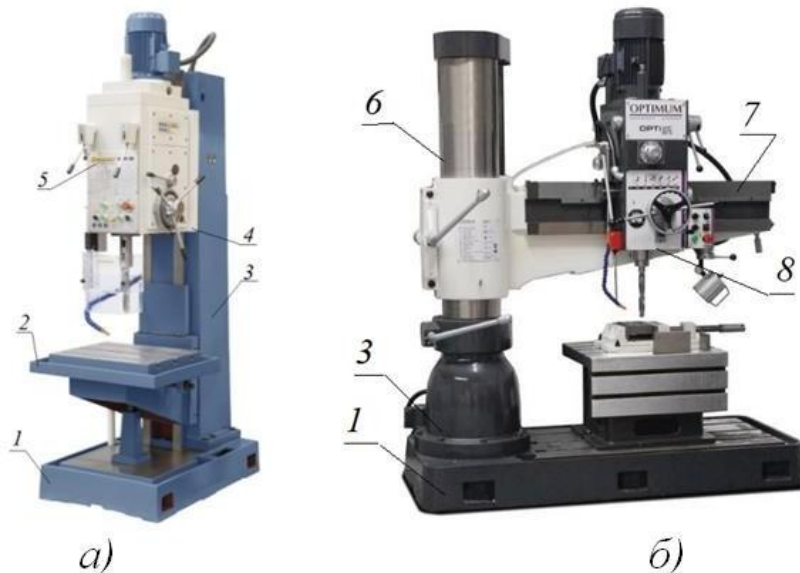
Зенкеруванням можна одержати точність 11–10 квалітетів і шорсткість  $Ra = 6,3\text{--}3,2$  мкм.

Розгортанням (чорновим) можна одержати точність 9–8 квалітетів, чистовим розгортанням – 7–6 квалітетів і шорсткість  $Ra = 3,2\text{--}1,6$  мкм.

Велику частину отворів малого і середнього діаметрів (до 100 мм) у деталях одержують на свердлильних верстатах. Інструмент виконує обидва рухи різання: головний обертальний й осьовий подачі. Головний параметр свердлильних верстатів – найбільший діаметр  $D_{нб}$  свердління отвору в сталі середньої твердості. До основних параметрів відносяться найбільший виліт  $L_{нб}$  шпинделя, найбільша відстань  $H_{нб}$  від торця шпинделя до столу або фундаментної плити, найбільший хід  $h_{нб}$  шпинделя і т. д.

Вертикально-свердлильні верстати (рис. 5.1, а) бувають одно- і багатшпиндельними, у настільному і напільному виконанні, з  $D_{нб}$  від 3 до 75 мм. Верстат може мати поворотний стіл, що дає можливість вести багатокоординатну обробку деталей по кондуктору або по розмітці без перезакріплення заготовки. Інструмент закріплюється у шпинделі, який розташоване у свердлильній бабці. На радіально-свердлильному верстаті

(рис. 5.1, б) оброблювана деталь встановлюється на столі або безпосередньо на фундаментній плиті 1 або на полу. Суміщення центрів інструмента і оброблюваного отвору виконується поворотом траверси і поздовжнім переміщенням свердлильної головки вздовж траверси. Свердлильна головка 8 може переміщуватись вздовж траверси 7 і повертатись разом з нею і поворотною гільзою 6 на  $360^0$ .



1 – фундаментна плита; 2 – «плаваючий» стіл; 3 – колона;  
4 – свердлильна бабка; 5 – коробка швидкостей зі шпинделем;  
6 – поворотна гільза; 7 – траверса (рукав); 8 – свердлильна головка  
а – вертикально-свердлильний; б – радіально-свердлильний  
Рисунок 5.1 – Свердлильні верстати [27; 28]

Горизонтально-розточувальні верстати використовуються для обробки в корпусних деталях точних отворів. На таких верстати крім розточування можливо виконувати свердління, зенкерування, нарізування внутрішньої і зовнішньої різьби, обточування циліндричних поверхонь, підрізування торців, циліндричне і торцеве фрезерування. Забезпечується точність 9–8 квалітетів, шорсткість  $Ra = 6,3\text{--}3,2$  мкм.

Установлено 3 типи горизонтально-розточувальних верстатів. Верстати середніх розмірів виготовляють по типу Б (рис. 5.2).

На напрямних станини 7 установлена передня стійка 5, що несе шпиндельну бабку 6 з висувним шпинделем 3 і планшайбою 4. Діаметр шпинделя  $d$  є головним параметром верстата. Шпиндель виконує головний обертальний рух різання і служить для закріплення різального інструмента. Задня стійка 1 з люнетом служить для підтримки розточувальних оправ (борштанг). Заготовка встановлюється на стіл 2 верстата. Планшайба має незалежне від шпинделя обертання і може нести радіальний супорт 8. На планшайбі і супорті встановлюють різці.

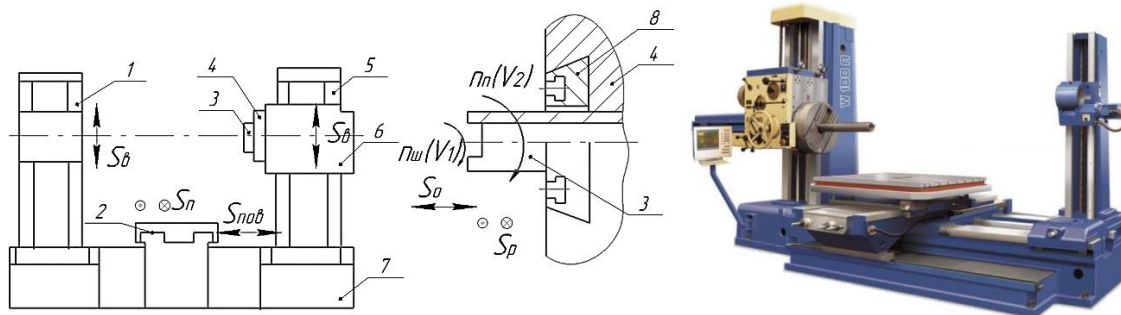


Рисунок 5.2 – Горизонтально-розточувальний верстат

Рух подачі виконується інструментом при осьовому переміщенні шпинделя ( $S_o$ ), радіальному переміщенні супорта ( $S_p$ ), вертикальному переміщенні шпиндельної бабки ( $S_e$ ), поздовжньому переміщенні передньої стійки ( $S_{nov}$ ) або заготовки при поперечному переміщенні столу ( $S_n$ ).

У верстатах типу А, по якому виготовляють переважно верстати невеликих розмірів,  $S_{nov}$  і  $S_n$  виконує стіл, а передня стійка нерухома.

Важкі верстати в основному виготовляють по типу В. Для них характерна відсутність столу, і заготовку встановлюють на станину. Передня стійка, рухлива в поперечному напрямку, може мати також і поздовжнє переміщення.

Як в свердлильних так і в розточувальних верстатах встановлення різальних інструментів різних діаметрів забезпечується за допомогою перехідних втулок. Для інструментів з циліндричним хвостовиком використовують розрізні втулки, патрони дво-, трикулачкові і цангові.

Для установки і закріплення заготовок використовують машинні лебідки, косинці, поворотні столи, струбцини, прихвати, призми й інші пристрої.

Для розточування отворів на горизонтально-розточувальних верстатах використовують двохопорні (борштанги) або консольні оправки, у які встановлюють різці.

На розточувальних верстатах для обробки поверхонь використовують різні інструменти: різці, свердли, зенкери, розгортки, мітчики, фрези. Розточувальні різці за формою поперечного перерізу стрижня підрозділяють на квадратні, прямокутні (рис. 5.3, а) і круглі (рис. 5.3, б).

Залежно від виду обробки використовують різні типи розточувальних різців: прохідні, підрізні, канавкові й різьбові. Широко застосовують пластинчасті різці – основний інструмент для розточування отворів діаметром більше 20 мм. Пластинчасті різці поділяють на одно- і дволезвійні (рис. 5.3, в). Дволезвійні пластинчасті різці виконують за розміром отвору, що розточує.

Розточувальні блоки (рис. 5.3, г) являють собою збірну конструкцію, що складається з корпусу і вставних регульованих різців 2, закріплених гвинтами 3 і 4. Різці регулюють за діаметром отвору, який розточують.

Розточувальні головки застосовують для обробки отворів великого діаметра. На рисунку 5.3, д показана рознімна розточувальна головка для

обробки отворів діаметром 130–225 мм. Підрізні різці головки попередньо встановлюють за діаметром й торцем на заданий розмір, що дозволяє обробляти декілька співвісних отворів як за діаметром, так і за торцями.

Спеціальні розточувальні головки з нерегульованими й регульованими ножами застосовують для остаточної обробки отворів після попереднього розточування їхніми різцями. Регульоване плаваюче розточувальна головка (рис. 5.3, е) має два ножі 5, що взаємно переміщаються шпонкою 7 і скріплених гвинтами 6 при упорі у гвинт 8 положення якого регулюється залежно від заданого розміру оброблюваного отвору.

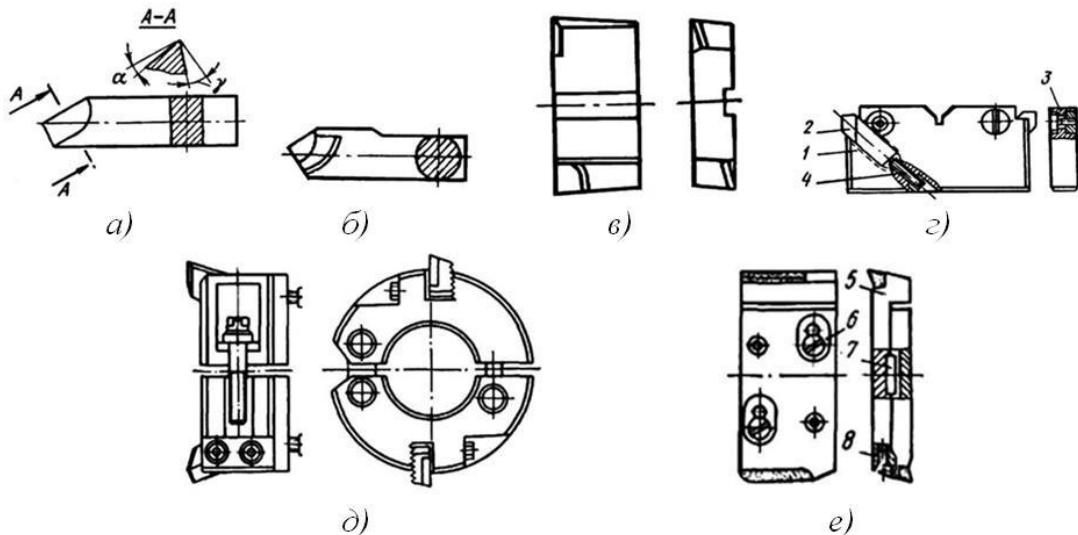


Рисунок 5.3 – Різальний інструмент для розточування отворів [26]

Пристосування для обробки заготовок на розточувальних верстатах  
 Заготовки на столі розточувального верстата закріплюють за допомогою різних універсальних пристосувань: притискних планок, верстатних болтів, косинців, призм.

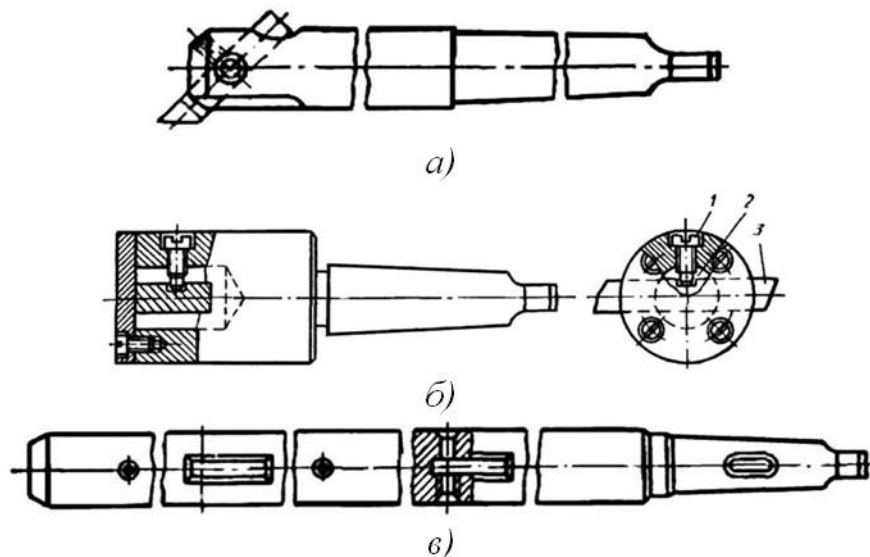
При обробці отворів і площин, розташованих під кутом до осі заготовки або один до одного, застосовують косинці. Заготовки з опорними поверхнями циліндричної форми встановлюють на призми.

Корпусні деталі відрізняються великим різноманіттям форм і розмірів оброблюваних поверхонь і точністю їхньої обробки. Залежно від цього використовують різні конструкції розточувальних кондукторів для закріплення корпусних заготовок і забезпечення правильного положення інструмента щодо оброблюваної поверхні.

Різальний інструмент на розточувальних верстатах закріплюють за допомогою допоміжного інструмента: консольних оправок, двох опорних оправок і патронів. Використання допоміжного інструмента обумовлене тим, що різець не можна безпосередньо закріплювати в розточувальному шпинделі або радіальному супорті. Розточувальні оправки мають прямокутні, квадратні або круглі отвори для установлення різців, які розташовані під кутом  $45^\circ$  або  $90^\circ$  до осі оправки. Короткі консольні оправки призначені

для закріплення одного або двох різців при розточуванні глухих і наскрізних отворів невеликої довжини.

Для розточування отворів, що перебувають на великій відстані від торця планшайби верстата, або декількох співвісних отворів використовують подовжені консольні оправлення (рис. 5.4, а). Застосовують консольні оправки також для пластинчастих плаваючих розгорнень (рис. 5.4, б). Пластинку 3 вставляють у гніздо оправлення й гвинтом 1 утримують від випадання. У той же час завдяки наявності невеликого зазору (0,1–0,15 мм) між пазом 2 пластинки 3 і гвинтом 1 точність отвору знижується.



*Рисунок 5.4 – Оправлення для закріплення різального інструменту на розточувальних верстатах*

Двоопорна розточувальна оправка (рис. 5.4, в) являє собою довгий вал з конічним хвостовиком на одному кінці для установки його в шпинделі верстата. Інший кінець оправки закріплюють у люнеті заднього стояка верстата. По довженні оправки розташовані вікна для установки стрижневих і пластинчастих різців.

Для закріплення стандартних багатолезових різальних інструментів (свердл, зенкерів, розгортки, фрез і т. п.) на розточувальних верстатах застосовують спеціальні оправки, перехідні втулки й патрони.

Горизонтально-розточувальні верстати відносяться до найпоширеніших, на їхній базі виконані конструкції інших універсальних і спеціальних розточувальних верстатах.

На розточувальних верстатах обробляють отвори, зовнішні циліндричні й плоскі поверхні, уступи, канавки, рідше конічні отвори й нарізають внутрішню й зовнішню різьбу різцями. Найпоширеніший вид обробки на розточувальних верстатах – розточування отворів. Розточування циліндричних отворів виконують різцями, установленими на консольній або двоопорній оправці.

Спіральні свердла (рис. 5.5) використовують при свердлінні або розсвердлюванні діаметром  $D$  до 80 мм із циліндричним хвостовиком ( $D = 0,10\text{--}20$  мм) і конічним хвостовиком ( $D = 6\text{--}80$  мм). Робоча частина свердла складається з різальної та напрямної частин.

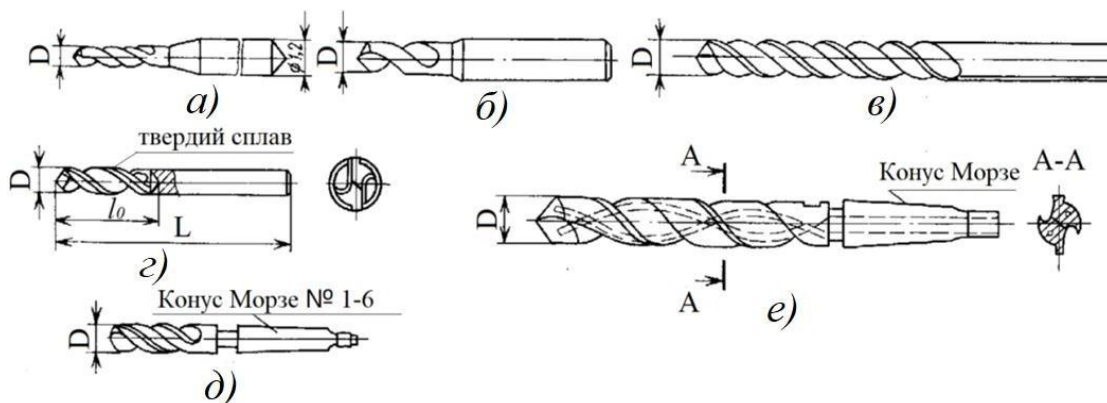


Рисунок 5.5 – Приклади спіральних свердл [26; 29]

Малорозмірні свердла (рис. 5.5, а) ( $D = 0,1\text{--}1,0$  мм) виготовляються з сталей Р6М5 і Р6М5К5, а  $D = 0,6\text{--}1,0$  мм – з твердих сплавів ВК10М та ВК15М (рис. 5.5, б). Для діаметрів  $D = 1,5\text{--}10$  мм свердла випускаються суцільні (рис. 5.3, в) і складені: з твердосплавною гвинтовою робочою частиною  $l_0$  і сталюю хвостовою частиною (рис. 5.5, г). Свердла діаметром  $D = 6\text{--}80$  мм (рис. 5.5, д) виготовляють з конічним хвостовиком. Для свердлення важкооброблюваних матеріалів використовують свердла з внутрішньою подачею МОР ( $D = 18\text{--}32$  мм) (рис. 5.5, е).

При  $d < 30$  мм і  $l > 10d$  отворів їх обробляють *рушничними свердлами* (рис. 5.6). Для створення сприятливих умов різання головна різальна кромка зміщена на  $0,2D$  від осі свердла. Свердло має внутрішній канал круглого або серпоподібного поперечного перетину для підведення МОР під тиском 2 – 4 МПа, яка виводиться разом зі стружкою по зовнішній прямій канавці.

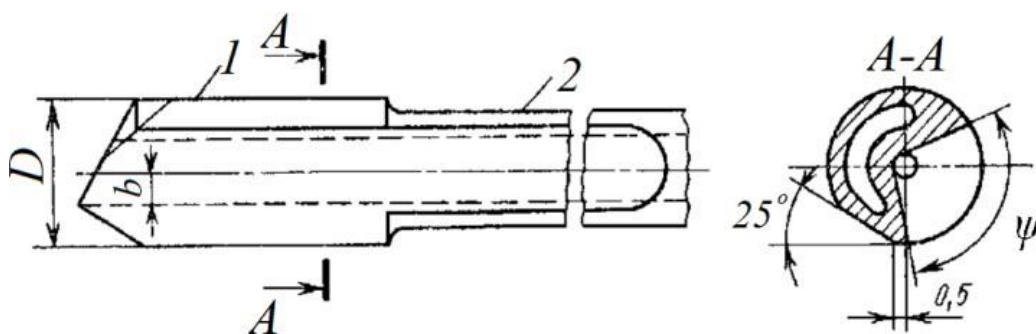


Рисунок 5.6 – Приклад конструкції рушничного свердла [29]

Наскрізні отвори більш 80 мм свердлять *кільцевими свердлами* (рис. 5.7). Кільцеві свердла мають трубчастий корпус 3 з закріпленими на торці ножами 1. Для направлення свердла на корпусі установлені кулачки 2.

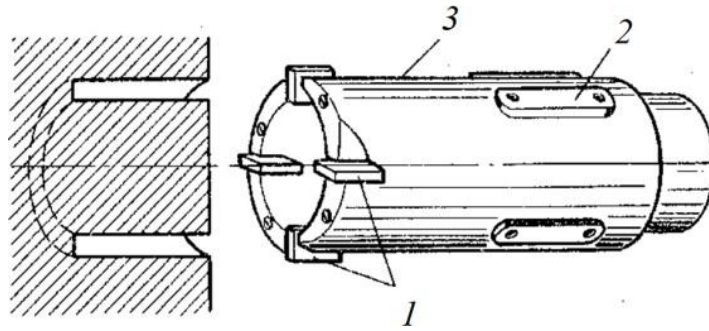


Рисунок 5.7 – Приклад конструкції кільцевого свердла [29]

Перові або плоскі свердла (рис. 5.8) прості за конструкцією, але через складні умови відведення стружки і важких умов різання їх застосовують в основному для обробки отворів глибиною  $l \leq D$ .

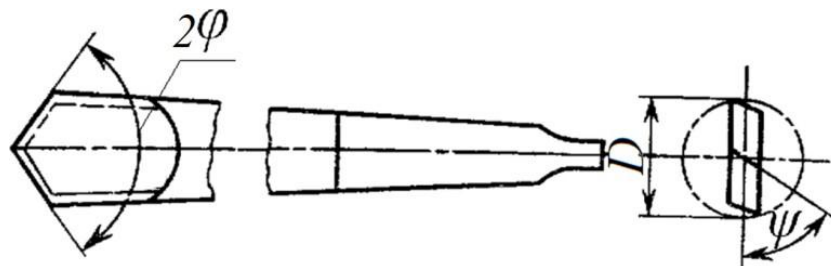


Рисунок 5.8 – Приклад конструкції перового свердла [29]

Свердла шнекові (від нем. Schnecke) (рис. 5.9) застосовують при обробці отворів ( $D = 3-30$  мм) довжиною більше  $10D$  без періодичного виведення інструмента з заготовки. Вони мають більші кути нахилу гвинтових канавок  $\omega$  ( $\omega = 60^\circ$ ), що полегшує відведення стружки з зони різання. Канавки в осьовому перетині А–А мають трикутний профіль. Для підвищення жорсткості шнекові свердла мають потовщене осердя, що дорівнює  $(0,3 - 0,35)D$ . Застосовується заточування поперечної кромки (до  $0,1D$ ).

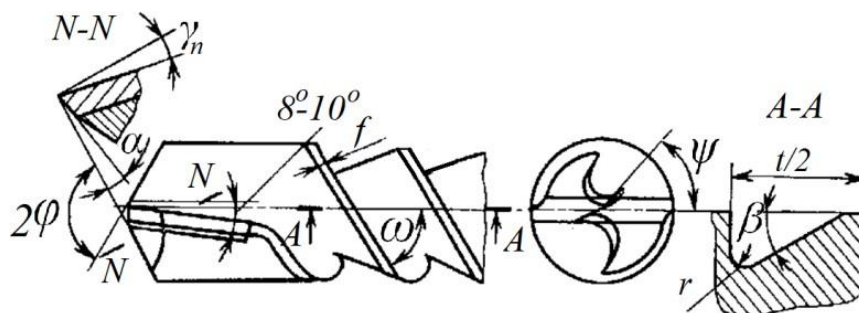


Рисунок 5.9 – Приклад конструкції шнекового свердла [29]

Ежекторні свердла (рис. 5.10) призначені для глибокого свердлення отворів діаметром  $D = 20 - 65$  мм.

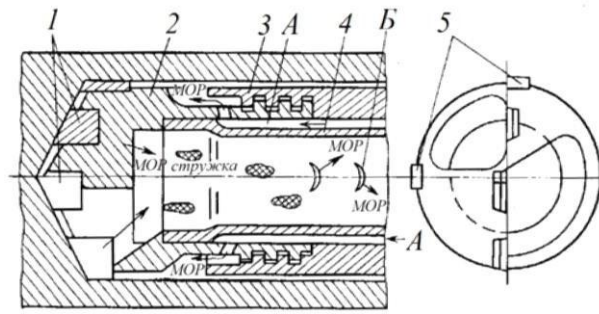
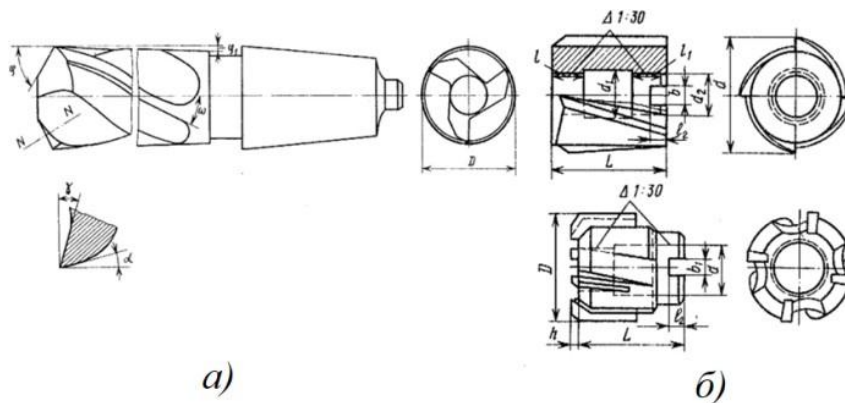


Рисунок 5.10 – Приклад конструкції ежекторного свердла [29]

Головка 2 нагвинчена на зовнішню трубку 3, що є несучим корпусом. Різальна частина 1 оснащена твердосплавними пластинами, розташованими в шаховому порядку. Тому стружка зрізається в вигляді окремих стрічок, а потім дробиться стружколамальними уступами і легко видаляється. Особливістю ежекторних свердел є ефект підсосу МОР, яка видаляється разом зі стружкою в результаті розрідження усередині свердла. Розрідження виникає через розділення прямого потоку А рідини (під тиском 2–3 МПа) на два: біля 0,7 рідини спрямовується в зону різання, а 0,3 назад через щілини Б у внутрішній канал труби 4. Ще розрідження що виникає між потоком рідини зі стружкою і потоком через щілини Б, покращує умови відведення стружки. Ежекторні свердла працюють на швидкостях різання 25–200 м/хв та подачах 0,15–0,7 мм/об. Забезпечується точність 9–11 квалітетів і  $Ra = 1,25–0,63$  мкм. Для підвищення точності обробки служать твердосплавні напрямні 5.

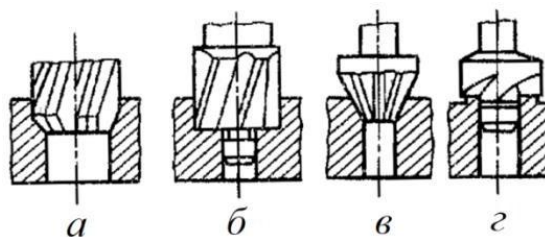
Зенкер (рис. 5.11) відрізняється від свердла більш жорсткою робочою частиною, відсутністю поперечної кромки і збільшеним числом зуб'їв (3–4).



а – зенкер з хвостовиком; б – зенкери насадні  
Рисунок 5.11 – Приклад конструкції зенкера [29]

Зенкери обробляють попередньо отримані отвори, істотно підвищуючи їхню точність, особливо по розташуванню осі. Зенкери діаметром до 40 мм виготовляються в хвостовому виконанні. Насадні зенкери (рис. 5.11, б) випускають, починаючи з діаметра 25 мм.

Спеціальні зенкери, призначені для обробки поглиблень під голівки болтів і гвинтів, називають *зенківками* (рис. 5.12, б, в). Вони бувають циліндричними і конічними. З напрямною частиною для забезпечення співвісності поглиблення і основного отвору виготовляють спеціальні зенкери – *цековки* (рис. 5.10, г).



*а – насадний; б – спеціальні*  
Рисунок 5.12 – Зенкери [3]

*Розгортки* (рис. 5.13) є багатолезовим різальним інструментом, що зрізує дуже тонкі шари матеріалу з оброблюваної поверхні. Розрізняють розвертки циліндричні і конічні. Конічні розвертки з стружкорозподільними канавками застосовують для попереднього розгортання. Розгортки виготовляють хвостовими (рис. 5.11, а) і насадними (рис. 5.11, б), із прямими і гвинтовими зуб'ями.

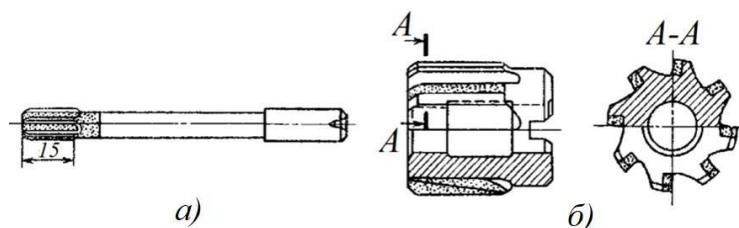


Рисунок 5.13 – Приклад конструкцій розгортки

При розточуванні отворів на токарних верстатах заготовка встановлюється в пристосуванні (універсальному або спеціальному), обертається з заданою швидкістю, а різець виконує рух з повздовжньою (рис. 5.14, а) та поперечною подачею (рис. 5.14, б). Різці встановлюються в різцетримачі безпосередньо або за допомогою спеціальної державки. При виконанні отворів осьовим інструментом свердло встановлюється у задній бабці.

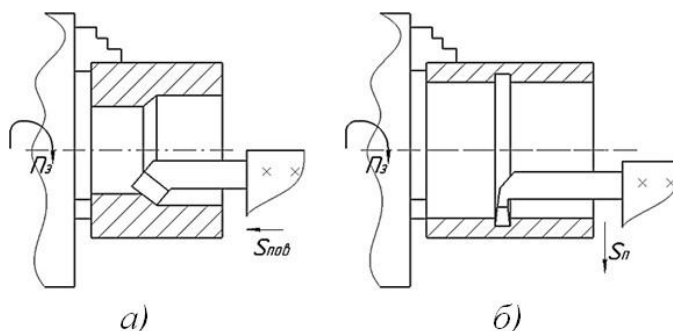
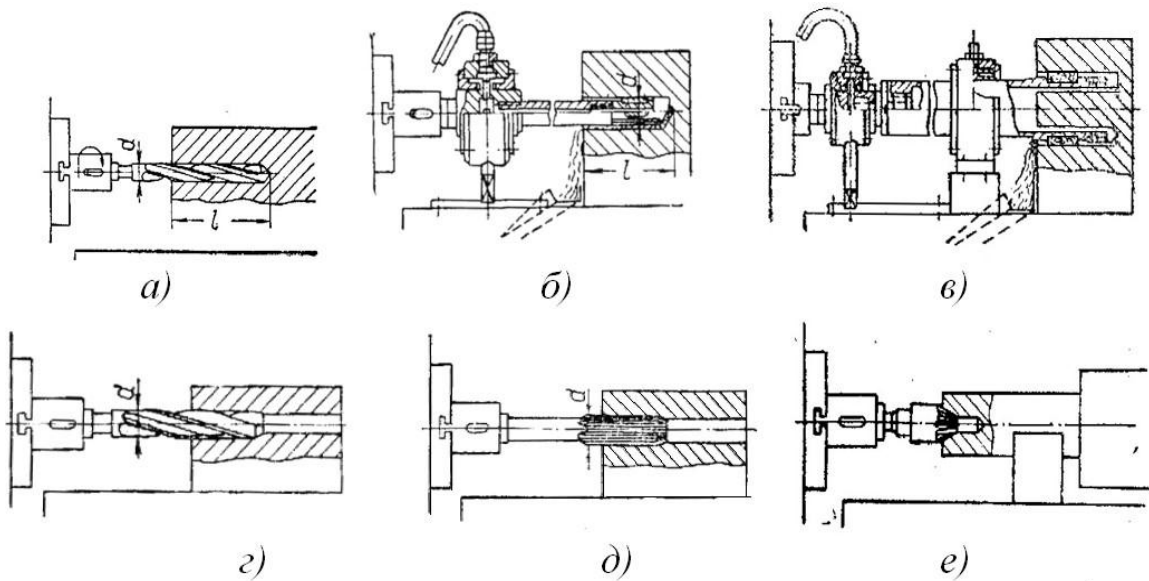


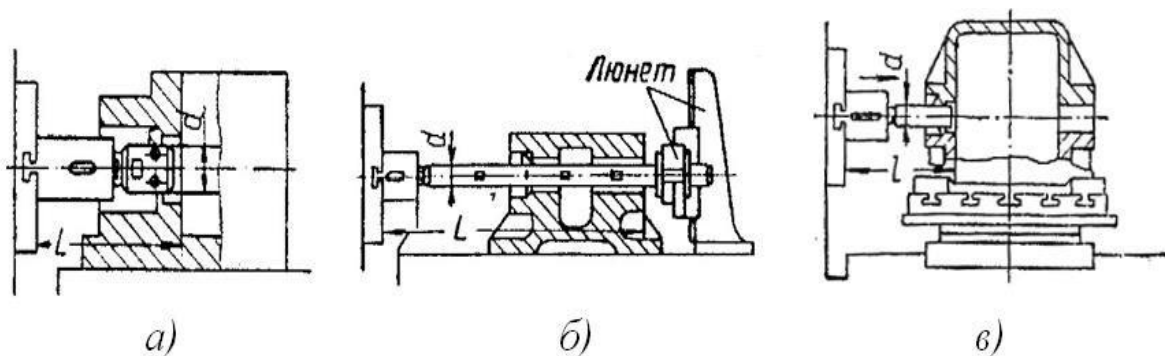
Рисунок 5.14 – Схеми розточування отворів на токарному верстаті

Схеми обробки на розточувальних верстатах представлені на рис. 5.15–5.18.



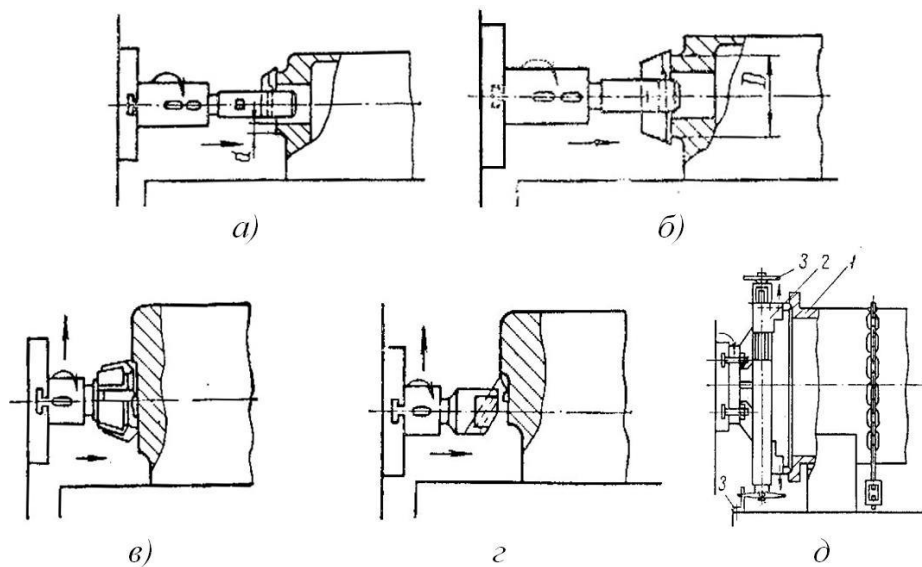
- а* – свердління спіральним свердлом, для отворів  $d < 80$  мм при  $l/d < 10$ ;  
*б* – виконання отвору свердлом для глибокого свердлення, для отворів  $d > 35$  при  $l/d > 1$ ;  
*в* – свердління трепанувальною головою, для отворів  $d > 110$  мм;  
*г* – зенкерування суцільним або насадним зенкером, для отворів  $d < 80$  мм;  
*д* – розгортання суцільною або насадною розгорткою, для отворів  $d < 80$  мм;  
*е* – центрування зенківкою або пластиною після свердлення

Рисунок 5.15 – Схеми обробки осьовим інструментом на розточувальному верстаті

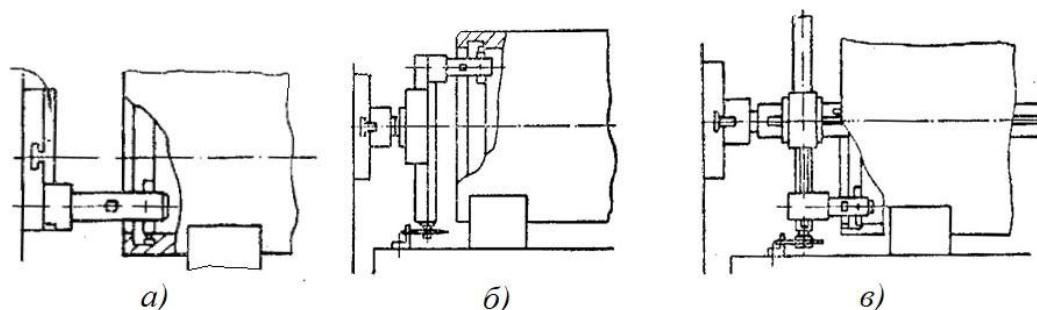


- а* – оправкою без опори шпинделя для отворів  $l < 5d$ ;  
*б* – борштангою з опорою у задньому стояку для отворів  $l > 5d-6d$ ;  
*в* – оправкою з двох сторін з поворотом деталі за наявності поворотного столу для  $l > 5d-6d$

Рисунок 5.16 – Схеми розточування отворів з однією віссю



- а – різцем осьовою подачею при невеликому припуску та ширині пластини різця більше розміру  $a$ ;*  
*б – підрізним ножем (пластиною) при невеликому припуску та діаметрі пластини більше  $D$ ;*  
*в – різцевою головкою при великому припуску і великому об'ємі робіт;*  
*г – різцем при великому припуску з торця і невеликому об'ємі робіт;*  
*д – летючим супортом, закріпленим на планшайбі при  $D > 1000$  мм*  
*Рисунок 5.17 – Схеми обробки торцевих поверхонь на розточувальних верстатах*



- а – супортом з поперечною подачею (радіальними ползками за їх наявності);*  
*б – летючим супортом, закріпленим в шпинделі при діаметрі менше 1 000 мм і відсутності ползків на верстаті;*  
*в – летючим супортом, закріпленим на борштанзі при діаметрі більше 1000 мм*

*Рисунок 5.18 – Схема обробки канавок в отворах*

Для розточування великих отворів і обточування великих торцевих площин застосовують так званий "летючий супорт", який встановлюється на борштанзі (рис. 5.18, б, в). За допомогою такого пристосування у виключних випадках можна виконувати обточування зовнішньої циліндричної

поверхні, якщо є необхідність зберегти концентричність отвору та зовнішньої поверхні або якщо виконувати обточування на іншому обладнанні неможливо.

## 5.2 Методи чистової, оздоблюваної та зміцнювальної обробки внутрішніх поверхонь обертання

Чистова обробка отворів, яка виконується осьовим інструментом – це чистове розгортання, що широко застосовується на свердлильних і токарно-револьверних верстатах для отворів діаметром до 150 мм.

Одним із методів чистового оздоблення отворів є *тонке (алмазне) розточування*. Розточування проводиться при великій швидкості, малій глибині різання і малої подачі. Крім алмазних різців для розточування застосовують різці з пластинками твердих сплавів, які також дають хороші результати щодо шорсткості і точності обробленої поверхні. Конструкції верстатів для алмазного розточування мають достатню міцність і жорсткими при відсутності вібрацій шпинделя і станини. Глибина різання при цьому методі обробки орієнтовно складає 0,05–0,10 мм при подачах 0,01–0,08 мм/об. Швидкість різання для чавуну –120–250 м/хв, для бронзи 300–400 м/хв, для бабіту 400–1000 м/хв, для алюмінієвих сплавів 500–1500 м/хв.

Тонке розточування має такі переваги, як відсутність в порах обробленої поверхні абразивних зерен, наявність яких спостерігається при обробці абразивним інструментом (при шліфуванні або хонінгуванні); легко досягається висока точність (6–8 квалітет) та низька шорсткість поверхні ( $Ra_{3,2-0,2}$ ); проста конструкція різального інструменту, оснащеного алмазом або твердим сплавом.

Чистове розточування отворів застосовується у всіх видах виробництва: у великосерійному виробництві воно виконується на багатошпиндельних верстатах, а в дрібносерійному – на токарних і одношпиндельних горизонтально-розточувальних верстатах

*Протягування*– високопродуктивний процес обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь багатолезовими різальними інструментами – протяжками і прошивками. Протягуванням забезпечують на чорновому проході – точність 11–10 квалітетів і шорсткість  $Ra = 12,5-0,8$  мкм; чистовому проході – точність 9–6 квалітетів і шорсткість  $Ra = 6,3 - 0,2$  мкм.

*Головний рух* (рис. 5.19) – переміщення інструмента уздовж осі зі швидкістю  $v = 1-20$  м/хв. Спеціального руху подачі немає: зрізання припуску здійснюється шляхом особливої конструкції інструмента – перевищення одного зуба над іншим на величину  $a = 0,01-0,4$  мм/зуб.

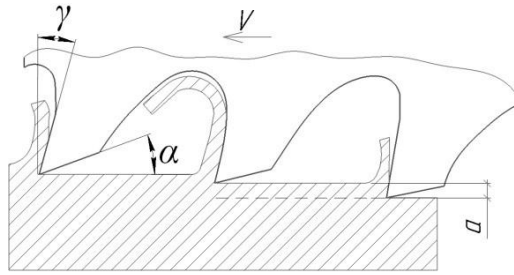


Рисунок 5.19 – Схема протягування

Протягувальні верстати бувають для внутрішнього і зовнішнього протягування. По конструктивному виконанню – горизонтальні, вертикальні і безупинної дії.

Горизонтально-протягувальні верстати (рис. 5.20), що використовують в основному для внутрішнього протягування, розвивають тягове зусилля від 25 до 100 кН.

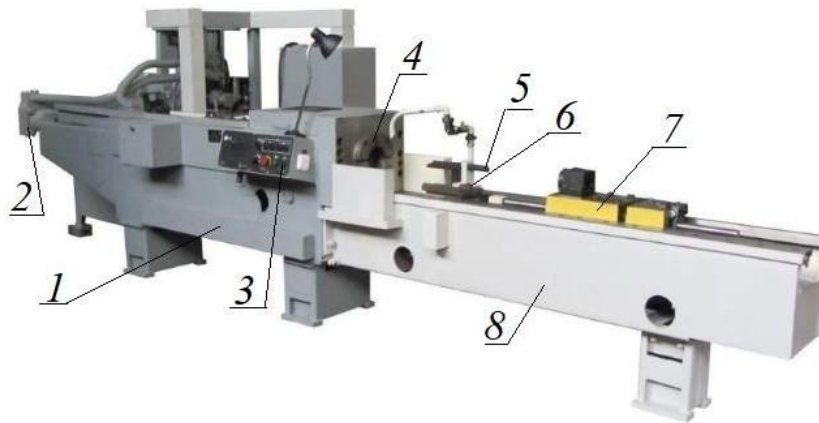


Рисунок 5.20 – Горизонтально-протяжний верстат

На станині 1 горизонтально-протяжного верстата, яка відрізняється великою довжиною при відносно малих висоті і ширині, змонтовані силовий циліндр 2 і гідростанція. Оброблювана заготовка встановлюється на планшайбу 4 безпосередньо або за допомогою пристрою. Протяжка 5 пропускається через отвір заготовки і замковою частиною закріплюється в тяговому патроні, змонтованому на штоці силового циліндра 2. При роботі з довгими протяжками задній хвостовик фіксується в каретці 7, що може переміщатися за допомогою гідроциліндра, розташованого в приставній станині 8. Протяжка підтримується роликом 6.

Вертикально-протяжні верстати займають меншу площу і розвивають тягове зусилля 50–200 кН. Випускаються для внутрішнього і зовнішнього протягування. Стіл верстата з заготовкою після протягування отвору або поверхні відводиться убік і повертається у вихідне положення після підйому протяжки.

Протяжка 1 (рис. 5.21, а) замковою частиною з'єднуються з тяговим патроном верстата. Передня напрямна з перехідним конусом забезпечує плавне входження в оброблюваний отвір і центрування в ньому інструмента. Припуск практично весь знімається різальною частиною. Калібрувальна частина підвищує точність поверхні і зменшує шорсткість. Задня напрямна перешкоджає перекосу заготовки 2 в момент виходу з її останніх калібрувальних зубів. Задній хвостовик необхідний для запобігання провисання довгої протяжки (закріплюється в каретці).

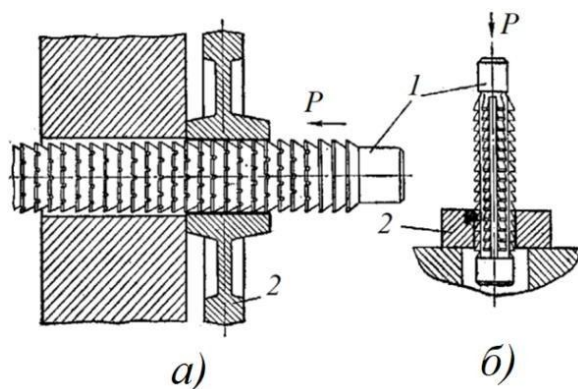


Рисунок 5.21 – Схема роботи протяжки і прошивки

Обробку прошиваннями часто виконують на пресах різних типів. Прошивки застосовують для виконання калібрувальних операцій, а також для обробки глухих отворів. Прошивки проштовхуються через отвір (рис. 5.21, б) і на відміну від протяжок, що працюють на розтяг, працюють на поздовжній вигин та стиск. Довжина прошивок 150–300 мм, що значно коротше протяжок (відсутні замкова частина і задній хвостовик).

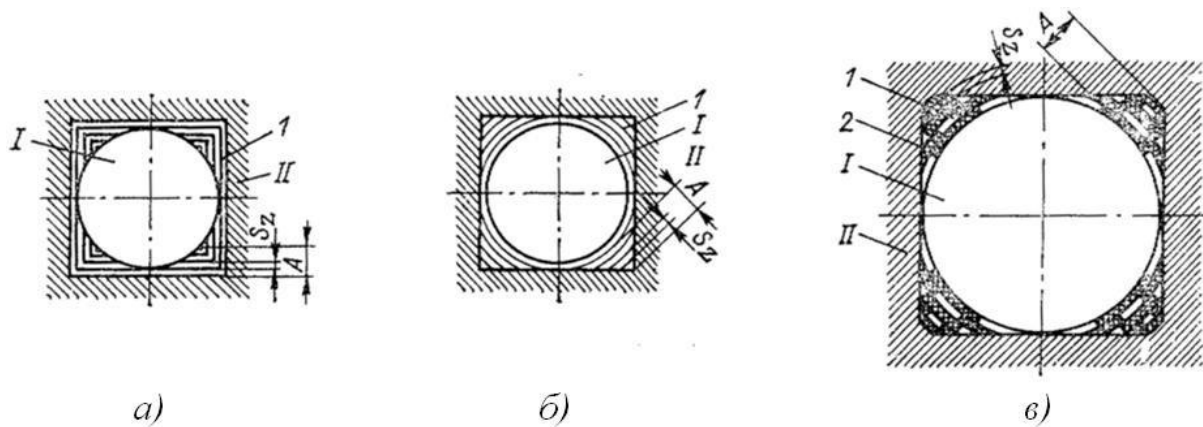
Схеми протягування:

1) *Профільна* (рис. 5.22, а) – увесь припуск знімається шарами, по всьому профілю конфігурація шарів відповідає конфігурації готового профілю; схема застосовується як остаточна; недолік її – складність виготовлення, заточування і переточування протяжки;

2) *Генераторна* (рис. 5.22, б) – припуск знімається плоскими паралельними або дугоподібними шарами;

3) *Групово змінного різання* (рис. 5.22, в) – кожний зуб зрізає тільки частину припуску за рахунок укорочення довжини регулюючих кромek зубів, що знижує навантаження на зуб, дозволяє працювати з більшими товщинами зрізу при тому ж навантаженні.

По конструкції протяжки бувають суцільні, збірні і складені. Виготовляються зі швидкорізальних сталей Р6М5, Р9Ф5, Р9М4К8, легованої сталі ХВГ.



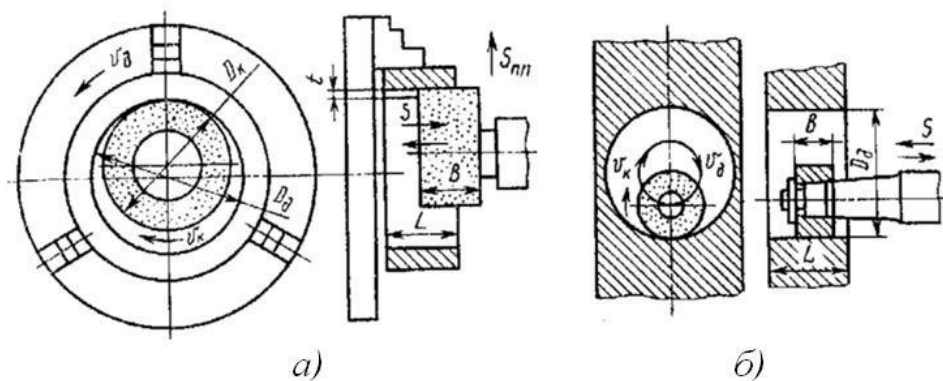
*I – протяжка; II – виріб;  $S_z$  – подача на зуб;  $A$  – припуск на протягування;  
 1 – метал, що зрізається першим зубом усіх секцій групових протяжок  
 або кожним зубом звичайних протяжок;  
 2 – метал, що зрізається другим зубом усіх секцій  
 Рисунок 5.22 – Схеми протягування [30]*

Протягування широко застосовується для обробки отворів; в багатьох випадках воно замінює розгортання циліндричних отворів; для виготовлення шліцевих (а також інших форм) отворів протягування є єдиним, практично застосовним продуктивним способом, адже довбання шліців в отворах може застосовуватися в одиничному і дрібносерійному виробництві.

На внутрішньошліфувальних верстатах отвори шліфуються наступними способами:

- 1) при обертанні деталі, яка закріплена у патроні;
- 2) при нерухомій деталі – на верстатах з планетарним рухом шпинделя;
- 3) при обертається незакріпленої деталі – безцентрове шліфування.

Внутрішнє кругле шліфування має два різновиди: у патроні (рис. 5.23, а) і планетарне (рис. 5.23, б). Патронне використовується при обробці невеликих заготовок, а планетарне – при обробці великих і важких заготовок.



*Рисунок 5.23 – Схеми патронного і планетарного шліфування [3]*

Внутрішнє кругле патронне шліфування виконується на звичайних внутрішньошліфувальних верстатах (рис. 5.24). Заготовка встановлюється в патроні 1, закріпленому на шпинделі шпиндельної бабки 3. Верстати не мають задньої бабки. Інструмент 4 розташовується на консольному шпинделі шпиндельної бабки 6, установленій на столі 7. Стіл робить зворотно-поступальний поздовжній рух. При роботі заготовка закривається кожухом 2. Пристрій 5 призначений для обробки торців заготовки.

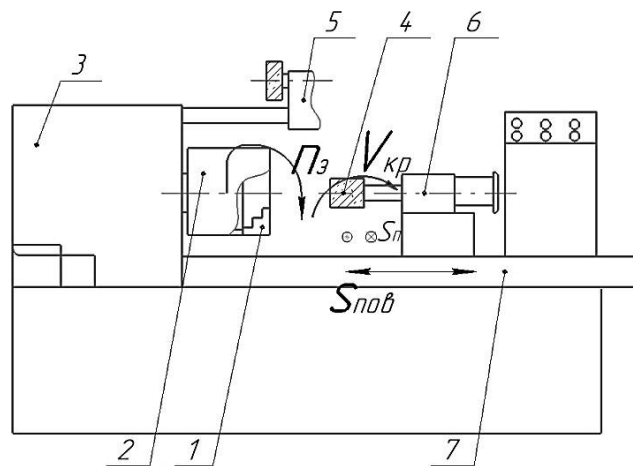


Рисунок 5.24 – Схема універсального внутрішньошліфувального верстата

Закріплення та центрування деталей при внутрішньому шліфуванні виконується в самоцентрувальних патронах. Для шліфування отворів в зубчастих колесах їх закріплюють в спеціальних патронах з центруванням роликів або кульками по початковій окружності або з центруванням спеціальними зубчастими колесами, розташованими ексцентрично по відношенню до своєї осі [3].

Для шліфування торця деталі після шліфування отвору в ній доцільно користуватися верстатами, що мають крім кола 4 для шліфування отвору друге коло 5 для шліфування торця (рис. 5.24); це забезпечує дотримання допуску паралельності торцевої поверхні до осі отвору деталі, так як шліфування йде з однієї установки деталі; при цьому збільшується продуктивність.

При використанні способу планетарного шліфування деталей нерухома, отвори шліфують на горизонтальних або вертикальних верстатах з планетарним рухом шпинделя. Шпиндель з шліфувальним кругом має чотири руху (рис. 5.23, б):

- обертання навколо своєї осі;
- планетарний рух по колу внутрішньої поверхні деталі;
- зворотно-поступальний рух уздовж осі деталі;
- поперечну подачу.

При внутрішньому безцентровому шліфуванні (рис. 5.25) заготовка 1 встановлена між ведучим роликом 2, опорним 3 і притискним роликом 4. Ведучий ролик обертається від свого привода і силами тертя обертає заготовку. Остання, у свою чергу, обертає опорний і притискний ролики.

В осьовому напрямку заготовка фіксується опорною втулкою. Шліфувальний круг 5 має індивідуальний привод. Цей вид застосовується для шліфування коротких кілець, що мають точну зовнішню поверхню.

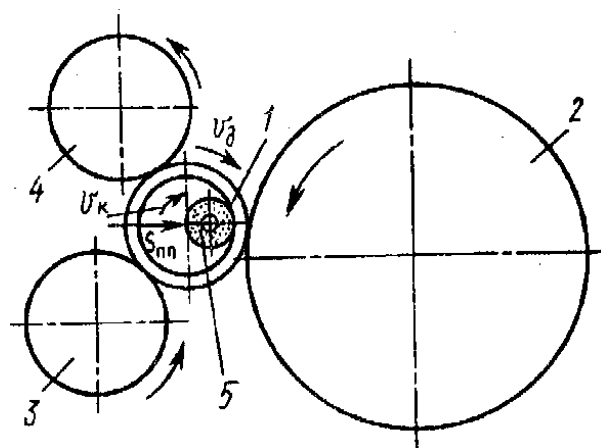


Рисунок 5.25 – Схема внутрішнього безцентрового шліфування [24]

Точність обробки при безцентровому шліфуванні по діаметру можна отримати 6–7 квалітету, а точність на концентричності і паралельності осей внутрішнього отвору і зовнішньої поверхні до 0,003 мм. Цей спосіб можна застосовувати для внутрішнього шліфування деталей діаметром від 10 до 200 мм з наскрізними і глухими отворами, а також з конічними отворами. Можна також шліфувати отвори в деталях, що мають на зовнішній поверхні уступи і буртики. Цей спосіб широко застосовується для шліфування кілець підшипників кочення. Вимірювання шліфованого отвору при безцентровому внутрішньому шліфуванні здійснюється автоматично.

Хонінгуванням називають метод обробки переважно наскрізних циліндричних поверхонь заготовки 1 дрібнозернистими абразивними брусками, закріпленими в спеціальній головці – хоні 2 (рис. 5.26). Бруски постійно притискаються до оброблюваної поверхні механічним або іншим пристроєм.

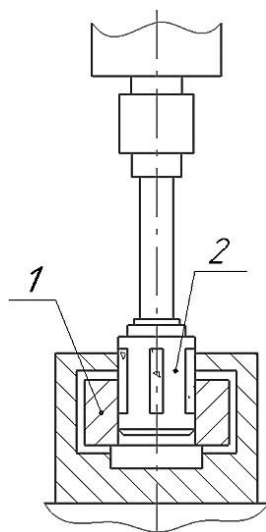


Рисунок 5.26 – Схема хонінгування

Хон 2, шарнірно з'єднаний зі шпинделем верстата, виконує обертальний і зворотно-поступальний рух відносно осі нерухомої заготовки 1. Співвідношення швидкостей цих рухів –  $V_1 > V_2$ . Хонінгуванням створюється специфічний сітчастий мікропрофіль обробленої поверхні, що сприяє кращому утриманню змазки на цій поверхні в експлуатаційних умовах. Хонінгувальні бруски виготовляють з електрокорунду для обробки сталі і карбіду кремнію для обробки чавуна. Хонінгуванням одержують точність по 6–5 квалітету і шорсткість  $Ra = 0,4–0,08$  мкм. Хонінгування виконують на спеціальних верстатах, які можуть бути одно- і багатошпиндельними, вертикальними і горизонтальними.

Хонінгування має в порівнянні з внутрішнім шліфуванням наступні переваги:

- забезпечення циліндричності поверхні отвору через відсутність відтискання інструменту, який має місце при роботі на внутрішньошліфувальних верстатах;
- відсутність вібрацій;
- плавність ходу хонінгувальної головки, що досягається завдяки гідравлічній подачі.

Припуск на хонінгування від 0,05 до 0,10 мм може бути знятий за 1–2 хв.

Процес *притирання (доведення) отворів* полягає у зменшенні шорсткості на поверхні отвору після його чистової обробки чавунними або мідними притирами (рис. 5.27), що створюють за допомогою пружин тиск на стінки отвору.

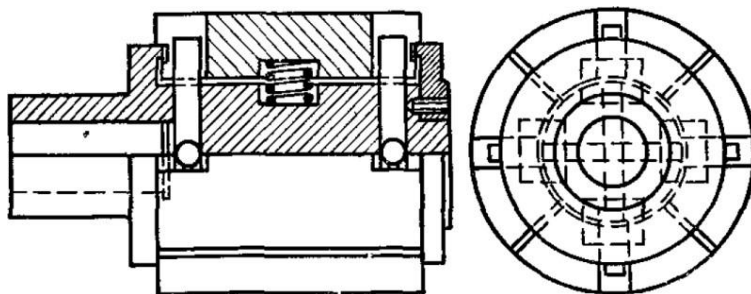


Рисунок 5.27 – Головка з чавунними притирами [24]

Притирання виконується при обертанні притиру змінно в обох напрямках на півоберта з одночасним переміщенням його вздовж осі оброблюваного отвору. Під час роботи притир поливається гасом. Таким методом отримують шорсткість поверхні по  $Ra = 0,04 – 0,16$  мкм, але вона не виправляють ні овальності, ні конусності отвору. Притирання є малопродуктивним способом обробки поверхні, так як проводиться досить повільно і тому в машинобудуванні застосовується не часто.

Обробку отворів без зняття стружки виконують такими методами, як калібрування (дорнування) прошивками (дорнами) та кульками, а також розкачування отворів.

Розкочування використовують для обробки циліндричних, конічних, плоских і фасонних поверхонь. Як давильний інструмент використовують ролики і кульки. Ролики, закріплені в спеціальних пристроях, працюють при поздовжній або поперечній подачі (рис. 5.28). При обробці внутрішніх поверхонь використовують розкатники (рис. 5.28, б, в, г), що дозволяють вести процес деформування одночасно декількома роликами.

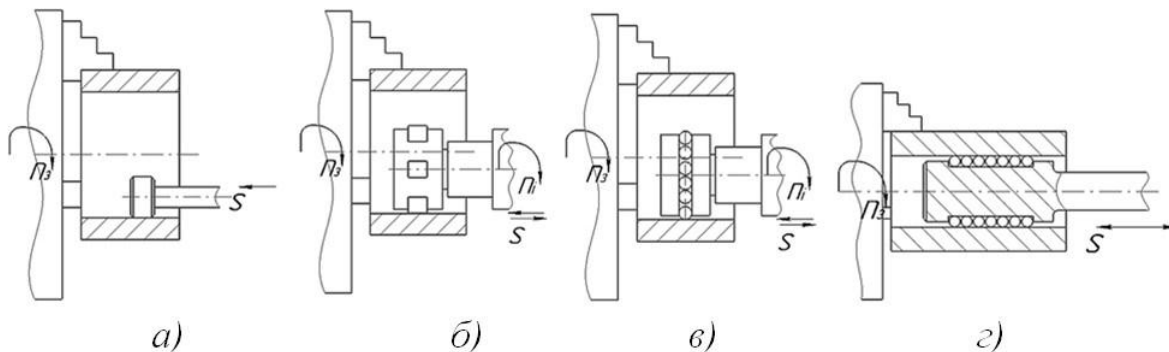


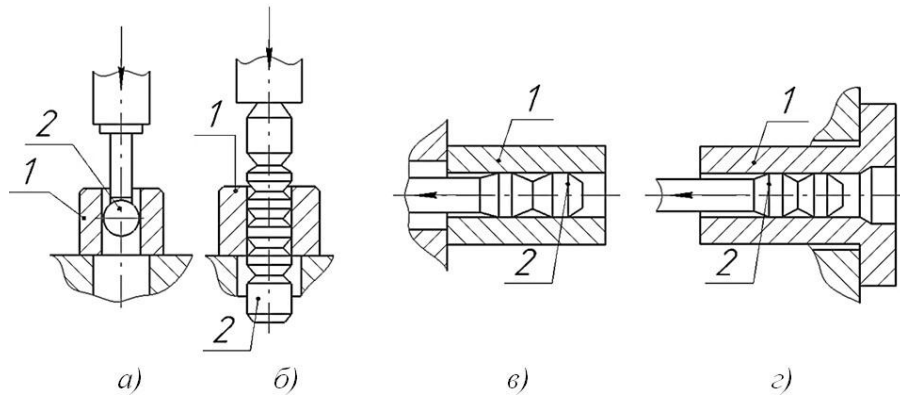
Рисунок 5.28 – Схема обкатування внутрішньої поверхні роликом та розкатником

Розкочування за допомогою розкатників застосовується для отримання щільної і гладкої поверхні отвору і проводиться сталевими, загартованими і відшліфованими роликами бочкоподібної форми (див. рис. 5.28, б, в, г). Ролики (10–12 шт.) розташовуються в сталевому корпусі, який служить для них опорною поверхнею. Недоліком розкочування є складність отримання точного циліндричного отвору внаслідок великого тиску на стінки отвору, нерівномірної товщини стінок і неоднорідності матеріалу деталі. Ці фактори викликають деформацію деталі. Швидкість розкочування до 200 м/хв, подача до 5 мм/об. Розкочування вимагає посиленого змащування робочої поверхні. Спостерігається іноді заковчування задирок, в стінки отвору може викликати небажані наслідки при експлуатації деталі, тому необхідно попередньо розгортати отвір начисто.

Калібрування отворів виконують проштовхуванням або протягуванням інструмента крізь небагато менший за розміром отвір (рис. 5.27).

Спеціальна оправка – дорн – може працювати при протягуванні і при проштовхуванні (рис. 5.29, б, в). Калібрування виконують з рясним змащуванням (сульфофрезолом). Одержують 7–6 квалітети і шорсткість  $Ra = 1,6–0,8$  мкм.

Калібрування кулькою (рис. 5.29, а) полягає в продавлюванні сталеві загартованої кульки за допомогою преса через отвір, який перед цим оброблено з високою точністю. Діаметр кульки повинен бути трохи більше діаметру отвору, отриманого після продавлювання кульки, так як в цьому випадку спостерігається явище пружного відновлення. На спеціальних пресах для калібрування кулькою передбачається автоматичне повернення кульки. Швидкість калібрування 2–7 м/хв.



*а, б – прошивхуванням кульки і оправки (на пресах);  
в, г – калібруванням зі стискуванням і з розтягуванням деталі  
(на горизонтально-протягувальному верстаті);  
(1 – оброблювана деталь; 2 – інструмент)  
Рисунок 5.29 – Схеми калібрування отвору*

Для підвищення якості поверхні у сучасному машинобудуванні використовують об'ємне електромеханічне дорнування. Під час процесу через місце контакту інструмента (дорна) з поверхнею отвору проходить струм великої сили і низької напруги, що приводить до нагрівання локальної кільцевої поверхні до температур, вище фазових перетворень. Поверхня отвору отримує більшу зносостійкість, ніж при механічному дорнуванні.

### Питання для контролю

1. Поясніть технологічні можливості свердління, зенкерування, розгортання.
2. Охарактеризуйте технологічне оснащення для обробки отворів: пристосування та інструменти.
3. Назвіть особливості обробки глибоких отворів: обладнання та різальний інструмент.
4. Поясніть особливості конструкції верстатів і схеми обробки на горизонтально-розточувальних верстатах.
5. Поясніть технологічні можливості протягування. Обробка на горизонтально- і вертикально-протяжних верстатах
6. Назвіть конструктивні особливості і схеми роботи протяжки і прошивки. Поясніть схеми зняття припуску при протягуванні.
7. Назвіть види круглого внутрішнього шліфування: схеми обробки, обладнання.
8. Назвіть види безцентрового шліфування. Схеми обробки, обладнання.
9. Поясніть опоряджувальну обробку абразивним інструментом: хонінгування, притирання.
10. Поясніть методи обробки поверхонь ППД, схеми обробки.

## 6 МЕТОДИ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ

### 6.1 Методи обробки плоских поверхонь лезовим інструментом, схеми обробки, технологічне оснащення, інструмент

До основних методів обробки плоских поверхонь лезовим інструментом відносять фрезерування, стругання, довбання, протягування.

*Фрезерування*— це високопродуктивний метод обробки площини, криволінійних поверхонь і різних канавок, уступів, виступів багатолезовими інструментами — фрезами, що виконують головний обертальний рух. Рух подачі найчастіше одержує заготовка. Фрезерування буває:

- чорнове, забезпечує 14–11 квалітет точності та шорсткість  $R_a = 12,5\text{--}3,2$  мкм;

- получистове, забезпечує 12–10 квалітет точності та шорсткість  $R_a = 3,2\text{--}1,6$  мкм;

- чистове, забезпечує 10–8 квалітет точності та шорсткість  $R_a = 1,6\text{--}0,8$  мкм;

- тонке, забезпечує 8–6 квалітет точності та шорсткість  $R_a = 1,6\text{--}0,2$  мкм.

Виконати фрезерування поверхні можливо на фрезерних верстатах серед яких в залежності від конструкції зустрічаються консольно-фрезерні верстати з горизонтальним і вертикальним розташуванням осі шпинделя, безконсольні (з хрестовим столом), поздовжньо-фрезерні, карусельно фрезерні, фрезерні верстати з ЧПУ. Крім того обробку фрезеруванням виконують на горизонтально-розточувальних верстатах, токарно-фрезерних та свердлильно-фрезерно-розточувальних обробних центрах.

Консольно-фрезерувальний верстат (рис. 6.1, а) з горизонтальним розташуванням осі шпинделя має хобот, на напрямних якого закріплюються підвіски, які служать опорами для правого кінця довгої оправки з інструментом. У верстату з вертикальним виконання встановлено шпиндельну головку, яка може повертатись навколо горизонтальної осі. Безконсольнофрезерні верстати (рис 6.1, б) застосовуються для обробки великих деталей, також оснащенні поворотною шпиндельною головою. Особливості конструкції цих верстатів — відсутність консолі, наявність масивної станини і стояки, підвищені жорсткість, потужність і швидкохідність, черв'ячно-рейковий привод подачі стола. Все це забезпечує високу точність і якість обробки при підвищених режимах різання.

У поздовжньо-фрезерних верстатів стіл може переміщатися тільки в одному — поздовжньому напрямку. На станині змонтовані стійкі, що скріплені зверху балкою. По напрямним стійок може переміщатися траверса на якій встановлені дві шпиндельні головки з вертикальними шпинделями. На напрямних стійок змонтовані дві горизонтальні шпиндельні головки. Фрезерні головки поворотні. Деталь закріплюється на столі верстата за допомогою пристроїв і одержує поздовжнє переміщення. *Головним рухом є*

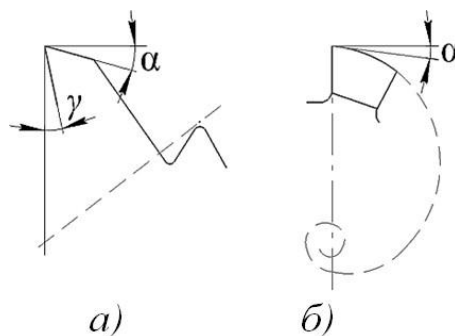
обертання шпинделів. Кожна фрезерна головка має індивідуальний привод.



*а – вертикальний консольно-фрезерувальний верстат;  
б – безконсольний фрезерувальний верстат;  
в – горизонтально-фрезерувальний верстат;  
г – поздовжньо-фрезерувальний верстат  
Рисунок 6.1 – Приклади фрезерувальних верстатів[28]*

Для закріплення деталі на верстаті при фрезеруванні використовують машинні лещата, прихвати, косинці, універсально-збірні пристрої (УЗП), упори й ін.

Усі фрези по конструкції або формі зуба бувають двох типів (рис. 6.2): фрези з гострими (а) і фрези з затилованими (б) зуб'ями.



*Рисунок 6.2 – Форма зубів фрез*

Задня поверхня затілених фрез утворена спіраллю Архімеда. Заточування зуб'їв виконується по передній поверхні. Такі фрези використовуються для обробки фасонних криволінійних поверхонь.

Фрези з гострими зуб'ями мають більш високу стійкість і дають меншу шорсткість. Фрези виготовляються з дрібними (тип 1) і великими зуб'ями (тип 2). Останні використовують при чорновій обробці, а першого типу – для чистової і напівчистової обробки.

Фрези (рис. 6.3) класифікують:

– за місцем розташування різальних зуб'їв на корпусі – на циліндричні (а), торцеві (г, д), дискові – однобічні (відрізні), двох- і тристоронні (б), кінцеві (в), фасонні (е), кутові (ж, з), черв'ячні й ін.;

– за напрямком зуб'їв відносно осі – прямозубі (б, д), зі спіральним зубом (а, в, г);

– за способом установки на верстаті – насадні (а, б, е) і хвостові (в, г, д);

– за видом інструментального матеріалу – швидкорізальні, твердосплавні, ельборові;

– за конструкцією – суцільні (зі швидкорізальної сталі), з напаяними пластинками, із круглими і багатогранними пластинками, що не переточуються, вставними (г, д) зуб'ями.

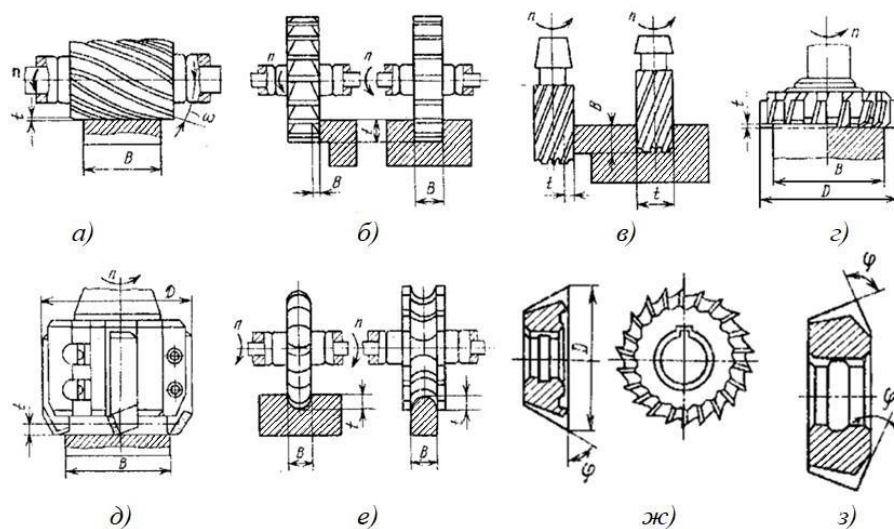


Рисунок 6.3 – Типи фрез та схеми фрезерування на фрезерувальних верстатах з горизонтальною та вертикальною віссю шпинделя [29; 31]

Всі технологічні схеми фрезерування поділяються на 2 основних типи:

– *циліндричне фрезерування* – коли різання виконується зуб'ями, розташованими на циліндричній твірній (рис. 6.3, а);

– *торцеве фрезерування* – виконується зуб'ями, що знаходяться на торцевій частині фрези (рис. 6.3, г).

При фрезеруванні циліндричними, дисковими, кутовими і фасонними фрезами застосовують дві схеми різання (схеми зняття припуску) (рис. 6.4): *зустрічне* (проти подачі) (а) і *попутне* (по подачі) (б) фрезерування.

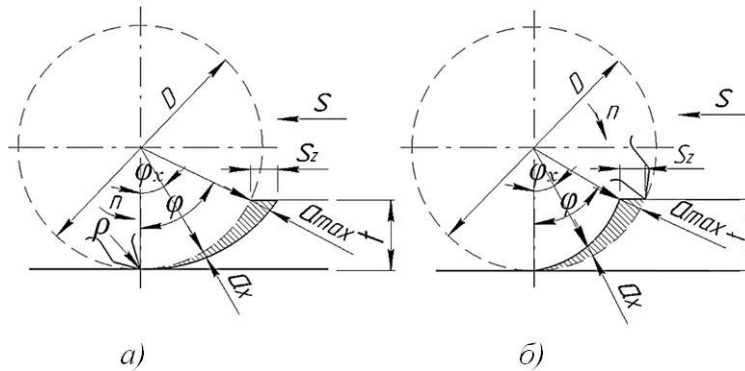
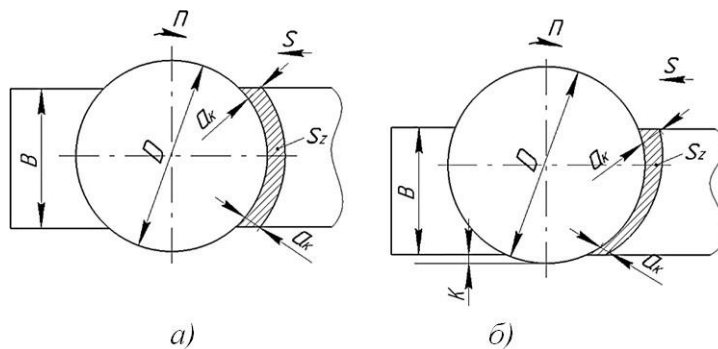


Рисунок 6.4 – Схеми зняття припуску при фрезеруванні

При роботі по зустрічній схемі навантаження на зуб'я зростає поступово і кірка оксидів на поверхні заготовки майже не впливає на стійкість зуб'їв. Цю схему використовують при чорнових операціях фрезерування. Недоліком є те, що кожний зуб ковзає по оброблюваній поверхні, а не ріже, зміцнюючи її (створюючи наклеп).

Попутне фрезерування більш ефективно при чистовій і напівчистовій обробці через те, що прослизання зуб'їв на виході значно менше і стійкість фрез збільшується у 2–3 рази.

В залежності від установки фрези відносно заготовки фрезерування може бути симетричним і несиметричною (рис. 6.5).



*a – симетричного; б – несиметричного*  
Рисунок 6.5 – Схеми торцевого фрезерування

При симетричному фрезеруванні (рис. 6.5, а) початкова  $a_n$  і кінцева  $a_k$  товщини зрізу однакові і їх величина залежить від співвідношення  $B/D$  (оптимальним є  $B/D = 0,7-0,8$ ). Несиметричне фрезерування (рис. 6.5, б) дозволяє значно зменшити товщину зрізу  $a_k$  і, отже, зменшити нормальні і дотичні напруження на зубах в момент їх виходу і при невеликих значеннях  $k$  суттєво зменшити адгезійний знос і подовжити стійкість фрез.

Циліндричними фрезами доцільно обробляти горизонтальні площини шириною до 120 мм. У більшості випадків площини зручніше обробляти торцевими фрезами внаслідок більшої твердості їхнього кріплення в шпинделі й більше плавної роботи, тому що кількість одночасно працюючих зубів торцевої фрези більше кількості зубів циліндричної фрези.

Вертикальні площини фрезерують торцевими і кінцевими фрезами. Похилі площини й скоси фрезерують торцевими і кінцевими фрезами на фрезерних верстатах, у яких фрезерна головка зі шпинделем повертається у вертикальній площині (див. рис. 6.1). Скоси фрезерують на горизонтально-фрезерному верстаті однокутовою фрезою.

Комбіновані поверхні фрезерують набором фрез на горизонтально-фрезерних верстатах. Точність взаємного розташування оброблених поверхонь залежить від твердості кріплення фрез за довжиною оправки. Із цією метою застосовують додаткові опори (підвіски), уникають використання нерозмірних за діаметром фрез.

Уступи й прямокутні пази фрезерують кінцевими і дисковими фрезами. Уступи й пази доцільніше фрезерувати дисковими фрезами, тому що вони мають більшу кількість зубів і допускають роботу з більшими швидкостями різання.

Фасонні пази фрезерують фасонною дисковою фрезою, кутові пази – однокутовою й двокутовою фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах.

Клинові пази фрезерують на вертикально-фрезерному верстаті за два проходи; прямокутний паз – кінцевою фрезою, потім скоси паза – кінцевою однокутовою фрезою. Т-подібні пази фрезерують за два проходи: спочатку паз прямокутного профілю кінцевою фрезою, потім нижню частину паза – фрезою для Т-подібних пазів.

Шпонкові пази фрезерують кінцевими або шпонковими фрезами. Точність одержання шпонкового паза – важлива умова при фрезеруванні, тому що від неї залежить характер посадки на шпонку, що сполучають із валом деталей. Фрезерування шпонковою фрезою забезпечує одержання більш точного паза; при переточуванні за торцевими зубами діаметр шпонкової фрези практично не змінюється.

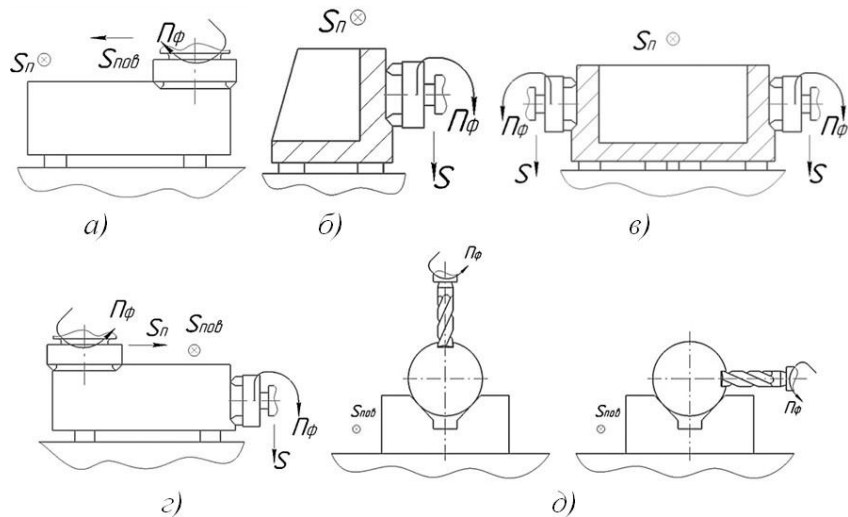
Фасонні поверхні незамкнутого контуру із криволінійною утворюючою й прямолінійною напрямною фрезерують на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах фасонними фрезами відповідного профілю.

Застосування фасонних фрез ефективно при обробці вузьких і довгих фасонних поверхонь. Широкі профілі обробляють набором фасонних фрез.

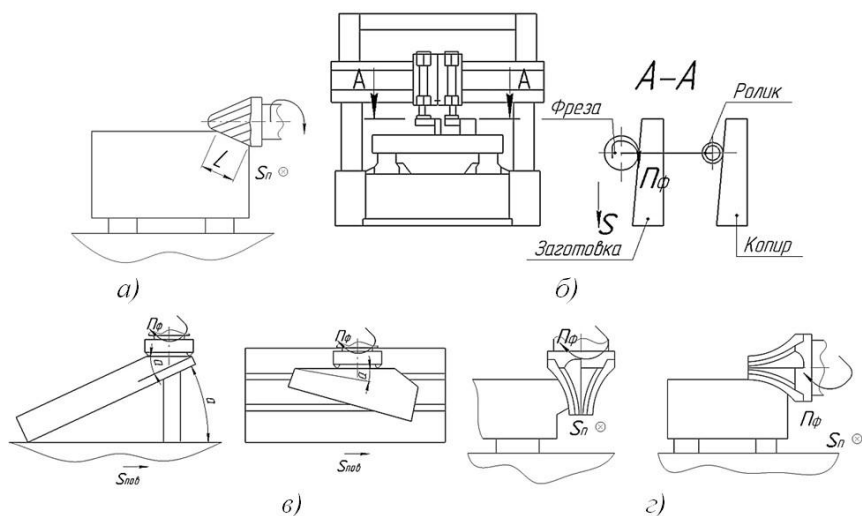
Можливі технологічні схеми обробки на поздовжньо-фрезерних верстатах (див. рис. 6.1, з) представлені на рисунках 6.6 – 6.7

На фрезерних верстатах безперервної дії фрезерують плоскі поверхні при обробці більших партій заготовок за методом безперервного торцевого фрезерування. Їх підрозділяють на карусельно-фрезерувальні й барабанно-фрезерувальні.

Особливістю барабанно-фрезерувальних верстатів є наявність барабана з горизонтальною віссю обертання. На гранях барабана в пристосуваннях установлюють заготовки, яким повільним обертанням барабана надають кругову подачу. Верстати мають одну або кілька фрезерних головок.



*а – обробка однієї площини вертикальним супортом;  
 б – обробка однієї площини боковим супортом;  
 в – обробка паралельних площин боковими супортами  
 одночасно двох площин;  
 г – обробка перпендикулярних площин боковим  
 та вертикальним супортами одночасно;  
 д – обробка шпонкових пазів вертикальним та боковим супортом*  
 Рисунок 6.6 – Схеми обробки плоских поверхонь та шпонкових пазів  
 на поздовжньо-фрезерних верстатах



*а – обробка кутових поверхонь фрезою з вертикального  
 або бокового супорта;  
 б – за копіром, кутових поверхонь деталі з використанням вертикального  
 та бокового супорта;  
 в – поворотом деталі на необхідний кут вертикальним  
 та боковим супортами;  
 г – обробка фасонних поверхонь фасонною фрезою  
 з вертикального або бокового супорта*  
 Рисунок 6.7 – Схеми обробки кутових та фасонних поверхонь  
 на поздовжньо-фрезерних верстатах

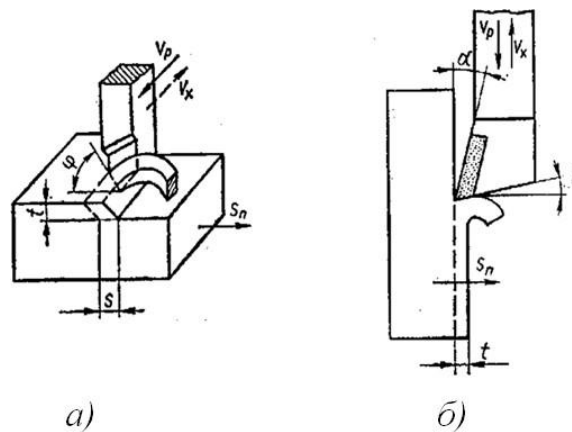
На копіювально-фрезерних верстатах обробляють фасонні поверхні складного профілю. Розрізняють контурне й об'ємне копіювальне фрезерування.

Контурне фрезерування застосовують для одержання плоских фасонних поверхонь замкнутого криволінійного контуру із прямолінійною утворюючою (наприклад, плоских кулачків, шаблонів і т. п.). Об'ємне фрезерування застосовують для одержання об'ємних фасонних поверхонь (наприклад, лопаток турбін, прес-форм і т. п.).

Стругання і довбання використовують при обробці плоских і фасонних поверхонь в одиничному і дрібносерійному виробництві.

Процес стругання доцільно використовувати при обробці довгих і вузьких поверхонь. Струганням і довбанням можна одержати точність 13–7 квалітетів і шорсткість  $Rz = 80\text{--}40$  мкм, а при застосуванні чистових (широких) різців при струганні  $Rz = 10\text{--}6,3$  мкм.

Обробку струганням ведуть на стругальних верстатах. При обробці на поперечно-стругальному верстаті різець здійснює зворотно-поступальний рух (*головний рух*) (рис. 6.8, а). Вектор  $v_p$  показує напрям робочого ходу різця, а вектор  $v_x$  – напрям холостого ходу. В кінці холостого ходу стіл з заготовкою виконує поперечне переміщення на величину подачі  $S_n$ .



а – стругання; б – довбання

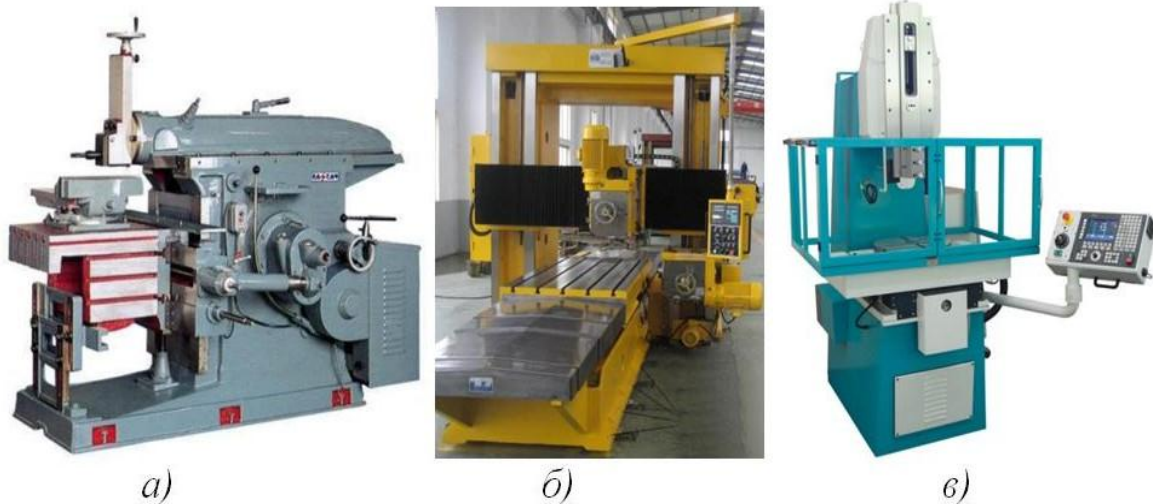
Рисунок 6.8 – Процеси обробки на верстатах [3]

Процес довбання відбувається на довбальних верстатах. Повзун з різцем отримує зворотно-поступальний рух у вертикальному напрямі (рис. 6.9, б). Заготовка після холостого ходу інструмента здійснює рух подачі.

Стругальні верстати бувають поперечно- і поздовжньо-стругальними. У поперечно-стругальних верстатів (рис 6.9, а) *головний рух* забезпечується зворотно-поступальним переміщенням повзуна, на супорт якого встановлюється різець. Заготовка за допомогою лещат, прихватів і інших пристроїв закріплюється на столі верстата й одержує *поперечну або вертикальну подачу*. Вертикальне переміщення столу використовується як настановне.

*Поздовжньо-стругальні верстати* (рис 6.9, б) призначені для обробки великогабаритних деталей. Головним рухом є зворотно-поступальне переміщення столу, на якому закріплюється заготовка. На двох стояках розташована траверса, на якій змонтовані два верхніх супорти. Траверса переміщається по стояках у вертикальному напрямку (настановне переміщення). Супорти можуть переміщатися по траверсі. На стояках змонтовані бічні супорти, що теж можуть переміщатися. Подачу одержують різці під час холостого ходу заготовки. Подача переривчаста і виконується за кожен подвійний хід заготовки.

*Процес довбання* виконується на довбальних верстатах (рис. 6.9, в), принцип роботи яких аналогічний роботі поперечно-стругальних верстатів, тільки вони вертикального виконання. Головний параметр верстата – довжина ходу повзуна. Повзун з різцем одержує зворотно-поступальний рух у вертикальному напрямку. Заготовка, що закріплюється на столі, може одержувати поздовжнє, поперечне або кругове переміщення. Довбання застосовують для обробки внутрішніх фасонних поверхонь, шпонкових канавок і ін.



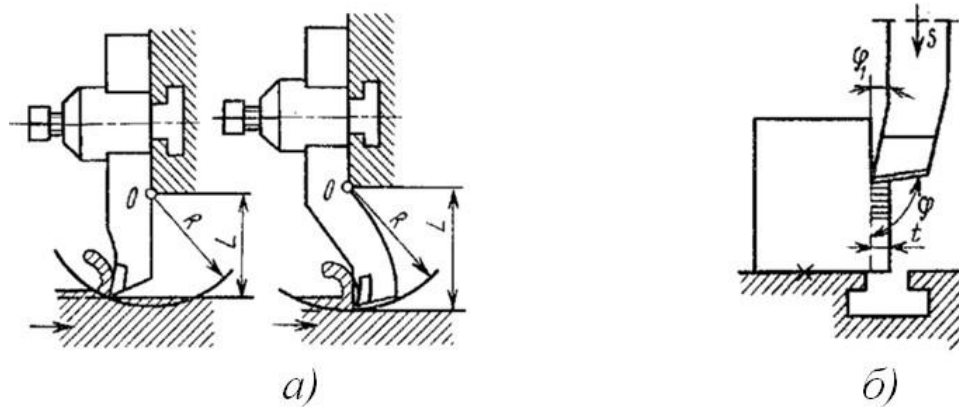
*а – поперечно-стругальний;  
б – поздовжньо-стругальний;  
в – довбальний*

*Рисунок 6.9 – Стругальні та довбальні верстати [27]*

При струганні і довбанні заготовка закріплюється в лещатах, прихоплювачами.

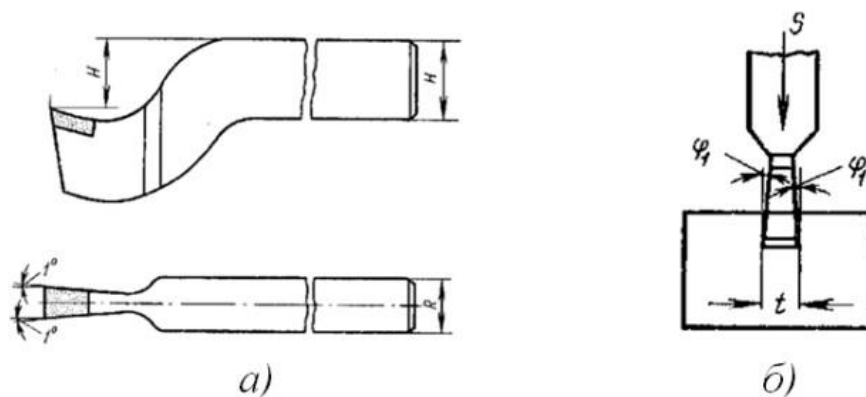
За призначенням *стругальні різці* бувають прохідні (рис. 6.10, а), підрізні (рис. 6.10, б), відрізні (рис. 6.11) і фасонні.

Державки стругальних різців більш масивні, чим у токарних різців, через те, що вони працюють у більшості випадків з великим вильотом робочої частини і з ударами.



*a – прохідного; б – підрізного*

*Рисунок 6.10 – Конструкції стругальних різців*



*Рисунок 6.11 – Відрізний стругальний різець і схема його роботи*

Плоскі поверхні можна обробляти протягуванням за допомогою зовнішніх та внутрішніх протяжок. Протягування зовнішніх плоских поверхонь (як і фасонних) застосовується у великосерійному і масовому виробництві, де цей метод економічно вигідний, незважаючи на високу собівартість обладнання та інструменту. Багато операцій замість фрезерування виконуються за допомогою зовнішнього протягування. До таких операцій відносять протягування пазів, канавок, площини.

При обробці протягуванням зовнішніх чорних (попередньо не оброблених) поверхонь за один хід протягування досягаються висока точність і чистота поверхні. В процесі обробки кожен різальний зуб протяжки знімає шар металу, який є частиною припуску, а калібрувальні зуби зачищають поверхню, при цьому вони довго не втрачають своєї різальної здатності і форми.

*Зовнішні протяжки* виготовляють складеними (рис. 6.12), різальна частина виконується в виді окремих секцій, які встановлюють на спеціальному корпусі гвинтами, клинами і накладками.

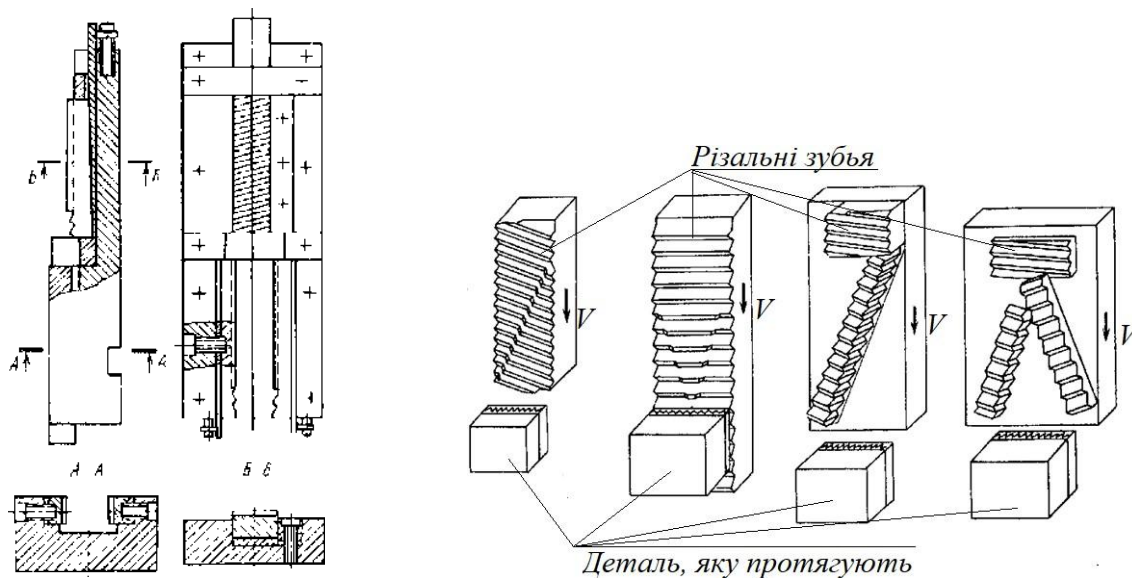


Рисунок 6.12 – Приклади конструкцій зовнішніх протяжок [3]

Багатогранні отвори (трикутні, квадратні н т. п.) протягують багатограними протяжками (рис. 6.13, а, б).

Шпонкові й інші пази протягують протяжками, форма зубів яких у поперечному перерізі відповідає профілю паза, що протягується (рис. 6.13, в).

Зовнішні поверхні різної геометричної форми із прямолінійною утворюючою протягують на вертикально-протяжних верстатах для зовнішнього протягування (рис. 6.13, г), а також на верстатах безперервної обробки конвеєрного типу.

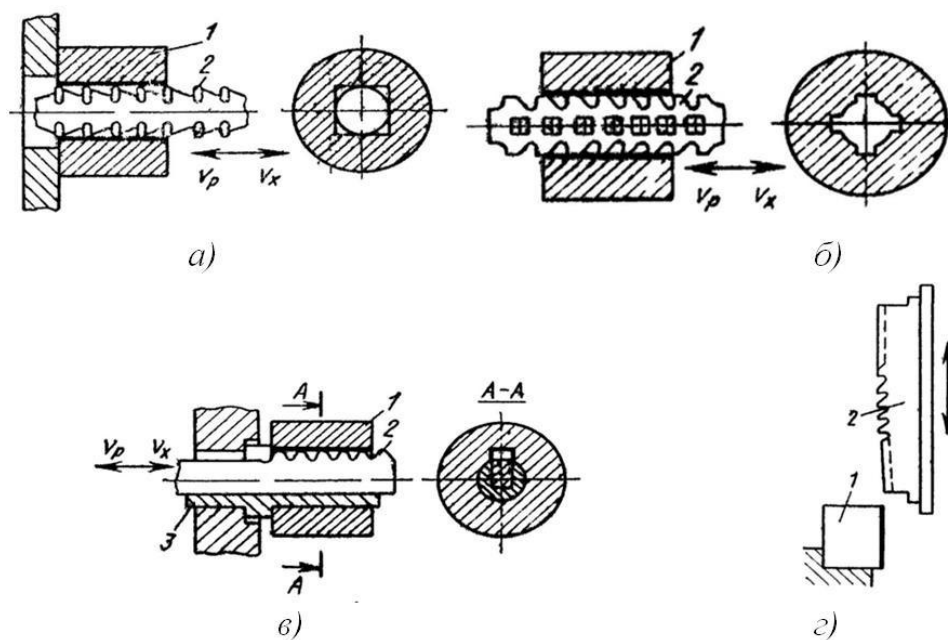


Рисунок 6.13 – Схеми обробки протягуванням плоских поверхонь та багатограних отворів [24]

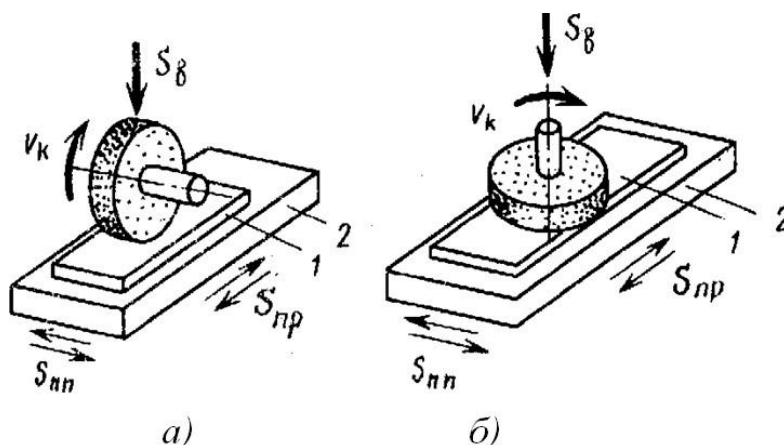
## 6.2 Методи чистової, оздоблюваної та зміцнювальної обробки плоских поверхонь

До чистових методів обробки відносять тонке фрезерування, тонке стругання, шліфування, притирання, полірування, шабрування.

Під *тонким фрезеруванням* зазвичай розуміється торцева обробка поверхонь фрезами, які оснащеними твердим сплавом, при малому перетині стружки і великій швидкості різання. При тонкому фрезеруванні досягаються: точність розміру, відповідна 7–6 квалітету; площинність – до 0,03 мм на 1 000 мм довжини; чистота поверхні – до  $Ra = 0,63$  мкм при обробці сталевих і чавунних деталей і до  $Ra = 0,32$  мкм – при обробці деталей з алюмінієвих сплавів і бронзи. Використовують для обробки гладких площин. При обробці алюмінієвих сплавів найбільшу чистоту поверхні дають однозубі – «летючі» (шабрувальні) фрези і двозубі ступінчасті, у яких один зуб на декілька десятих долей міліметра вище зачисного зуба та відрізняється від нього формою різальної грані. Летюча фреза – це однозуба торцева фреза, яка має широке лезо, режим обробки передбачає подачі в 2–3 рази більше, вісь фрези свідомо не перпендикулярна (на малий кут) до поверхні столу. Охолодження зазвичай не застосовується, а для видалення стружки доцільна обдування стисненим повітрям.

При *тонкому струганні* може бути досягнута точність по 8 квалітету, шорсткість  $Ra = 1,6–0,8$  мкм і відхилення від площинності 0,01 мм для поверхні 300x300 мм. Такий метод має низьку продуктивність.

При *площинному шліфуванні* (рис. 6.14) обробляються плоскі поверхні деталей 1, які закріплені на столі 2. Цей процес може бути виконаний як периферією (6.14, а), так і торцем (6.14, б) шліфувального круга. Шліфування периферією круга використовують для більш точних робіт.



а – периферією; б – торцем

Рисунок 6.14 – Схема плоского шліфування кругом [3]

Столи верстатів бувають круглі – обертаються з кутовою швидкістю та прямокутні – з прямолінійним зворотно-поступовим рухом. На столах можливо встановлювати одночасно декілька заготовок. Верстат (рис. 6.16)

має горизонтальний шпиндель шліфувального круга, прямокутний хрестовий стіл. Працює периферією круга.

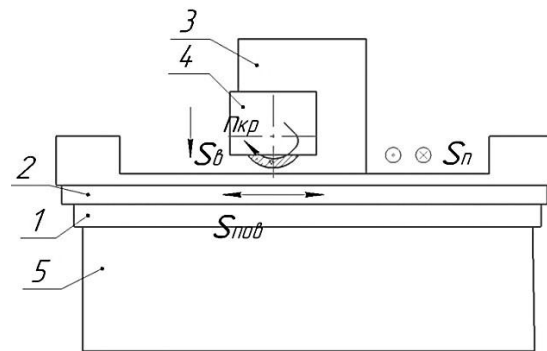


Рисунок 6.15 – Схема плоскошліфувального верстата

Заготовка закріплюється на столі 2 і отримує поздовжній зворотно-поступальний рух ( $S_{пов}$ ). Стіл розташований на хрестовому супорті 1, який може переміщатись в поперечному напрямі по напрямним станини 5 ( $S_n$ ). Шліфувальна бабка 4 переміщується по вертикальним напрямним колони 3 ( $S_e$ ). Головним рухом різання є обертання шліфувального круга. Зворотно-поступальне переміщення заготовки є поздовжньою подачею  $S_{пов}$  (мм/хв). Для обробки поверхні на всю ширину  $B$  заготовка або інструмент повинні переміщатися з поперечною подачею  $S_n$  (мм/пдв. хід). Цей рух відбувається переривчасто (періодично) при крайніх положеннях заготовки наприкінці поздовжнього ходу. Періодично відбувається й подача  $s_g$  на глибину різання. Це переміщення здійснюється також у крайніх положеннях заготовки, але наприкінці поперечного ходу.

**Притирання** використовується для оздоблювальної обробки плоских, поверхонь за допомогою притирів визначеної форми (рис. 6.16). Притир виготовляються з дерева, бронзи, чавуна, скла з дуже високою точністю. Абразив у виді порошку втирають (шаржують) у притир або наносять на нього у виді пасти. Як абразивний матеріал крім електрокорунду і карбіду кремнію використовують карбід бора, оксид хрому й алмази.

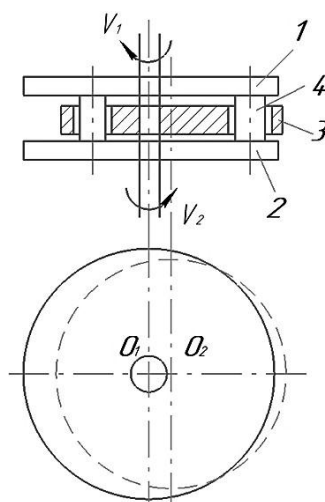
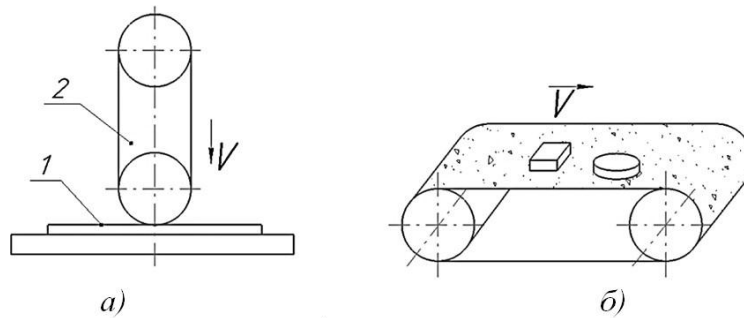


Рисунок 6.16 – Схема притирання плоскої поверхні

Наприклад, притирання плоских поверхонь на спеціальному доводочному верстаті виконують чавунними притирами – дисками 2. Сепаратор 1, у вікнах якого знаходяться заготовки 3, розташовується ексцентрично відносно дисків. При обертанні дисків у протилежних напрямках заготовка виконує складні рухи з ковзанням. Притирання забезпечує точність розміру до 7–5 квалітетів і шорсткість до  $Ra = 0,01$  мкм.

Полірування виконують пастами або абразивними зернами, змішаними зі змазкою, які наносять на еластичні носії, що швидко обертаються – круги або стрічки. Стрічкове шліфування виконують на спеціальних верстатах (рис. 6.17). Шорсткість обробленої поверхні  $Ra = 0,16–0,063$  мкм.



1 – заготовка; 2 – полірувальне пристосування

Рисунок 6.17 – Схеми стрічкового полірування

Для підвищення якості та зносостійкості плоских поверхонь також використовують методи обробки *поверхнево-пластичним деформуванням*. Схема обробки плоскої поверхні кульками (рис. 6.18).

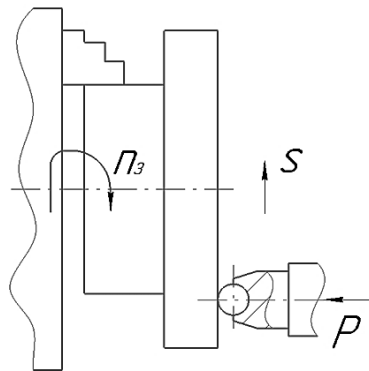


Рисунок 6.18 – Обробка плоских поверхонь кулькою

Шабрування плоских поверхонь можна виконувати за допомогою шаберу вручну або механічним способом. При ручному шабруванні досягається точність 7–6 квалітету, та шорсткість  $Ra = 0,63–0,08$  мкм.

При механічному шабруванні – 8–7 квалітет та шорсткість  $Ra = 0,8–0,1$  мкм. Такий метод використовують для досягнення високої точності поверхні по параметру площинності та низької шорсткості (наприклад, для столів прецензійних верстатів або поверхонь вимірювальних приладів та інструментів).

Механічне шабрування виконують за допомогою спеціальних верстатів на яких шабер отримує возвратно-поступальний рух від електродвигуна. Контроль поверхні виконують за допомогою повірятьних плит та лінійок на краску (по кількості плям контакту).

### 6.3 Методи опоряджувально-зачищуваної обробки деталей

Обробку застосовують для зняття задирок, очищення, розмірної й декоративної обробки поверхонь (рис. 6.19). Задирки завжди супроводжують процес різання і являють собою надлишки матеріалу, що розташовуються на крайках і кутах деталей. Вони мають вигляд гребінок малої товщини. Як правило, задирки утворюються в результаті зрушення металу при виході різального інструменту з контакту із заготовкою. Також видаляють шаржовані частки – впровадження в поверхню деталі абразивних або алмазних осколків зерен у результаті шліфування. На багатьох деталях підлягають видаленню жирові й масляні плівки, що утворюються після обробки різанням із застосуванням змащувально-охолоджуючих рідин.

Повне видалення зазначених недоліків можливо тільки при обробці електроіскровим, променевим, ультразвуковим і деякими іншими методами.

Різні методи видалення задирок застосовують і наприкінці технологічного процесу. Велике поширення одержали механічні методи, особливо з використанням ручного механізованого інструмента: фрезерних або абразивних головок, металевих щіток, шліфувальних кругів, стрічкових шліфувальних установок.

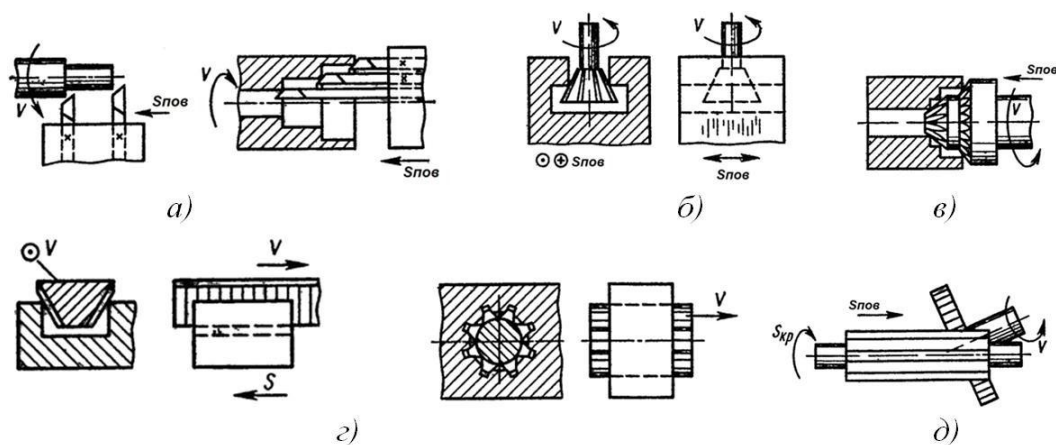


Рисунок 6.19 – Методи зняття задирок на металорізальних верстатах

Для видалення задирок, одержання фасок і перехідних поверхонь використовують також металорізальні верстати (рис. 6.19). Фаски на деталях типу тіл обертання проточують на верстатах токарської групи

(рис. 6.19, а), а на деталях у виді корпусів, плат, планок – на фрезерувальних верстатах (рис. 6.19, б). Доцільне використання спеціального різального інструменту – фасонних фрез. Широко використовують верстати свердлильно-розточувальної групи (рис. 6.19, в). Фаски на виході отворів одержують спеціальними зенківками або звичайними свердлами. Продуктивну обробку крайок деталей проводять на протягувальних верстатах (рис. 6.19, г). Протяжки виконують за формою оброблюваних граней, розташованих на зовнішніх або внутрішніх поверхнях. Використовують зуборізні верстати (рис. 6.19, д) для зняття задирок і одержання фасок методом огинання (наприклад, на шліцьових валах).

Для очищення, зачищення, а також зміцнення великогабаритних деталей перспективні ударні методи. Деталь поміщають у камеру й подають на неї із сопла за допомогою стисненого повітря металевий пісок, дріб, металеві або пластмасові кульки. За допомогою ударних методів виконують полірування, декоративне шліфування, зміцнення, очищення й зачищення. При *галтуванні* деталі завантажують у барабан навалом. Круглі або грановані барабани обертаються навколо горизонтальної, вертикальної або похилої осі. Різальним інструментом служить абразивний бій, гранульований абразив. Для операцій полірування застосовують абразивні зерна, абразивні порошки, дерев'яні кулі, обрізки шкіри, повсті, дрібні сталеві полірувальні кульки. У процесі галтування абразив і деталі взаємодіють, відбуваються численні зіткнення, ковзання й мікрорізання поверхонь.

### Питання для контролю

1. Які технологічні можливості фрезерування?
2. Класифікація фрез.
3. Назвіть особливості зустрічного та попутного, симетричного і несиметричного фрезерування?
4. Поясніть схеми обробки на верстатах фрезерувальної групи?
5. Які технологічні можливості стругання і довбання?
6. Типи стругальних різців і види робіт, виконуваних з їх допомогою?
7. Які технологічні можливості протягування?
8. Назвіть види площинного шліфування: схеми обробки, обладнання.
9. Назвіть методи обробки плоских поверхонь методами ППД: схеми обробки.
10. Назвіть методи зняття задирок на металорізальних верстатах.
11. Які ударні методи використовують для очищення, зачищення та зміцнення поверхонь?

## 7 МЕТОДИ ОБРОБКИ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ

### 7.1 Класифікація методів обробки різьбових поверхонь

В сучасній техніці широко застосовуються різні типи різьб: циліндричні, конічні; за *формою профілю* – трикутні, прямокутні, трапецієдні, круглі.

Різьби можуть бути одно- і багатозаходні, праві і ліві, зовнішні і внутрішні. За призначенням вони бувають різьби кріплення і ходові. За параметром виміру кроку вони поділяються на метричні, дюймові, модульні і пітчеві. Класифікація методів формоутворення різьбових поверхонь представлена на рис. 7.1.



Рисунок 7.1 – Класифікація методів формоутворення різьбових поверхонь

### 7.2 Технологічні можливості нарізання різьби різцями, гребінками і різьбонарізними головками

Профіль різьби забезпечується відповідним профілем різального інструменту.

На токарно-гвинторізних верстатах нарізають метричні, модульні, дюймові і пітчеві різьби різних профілів. Схеми нарізування різьби *різцями* (рис.7.2).

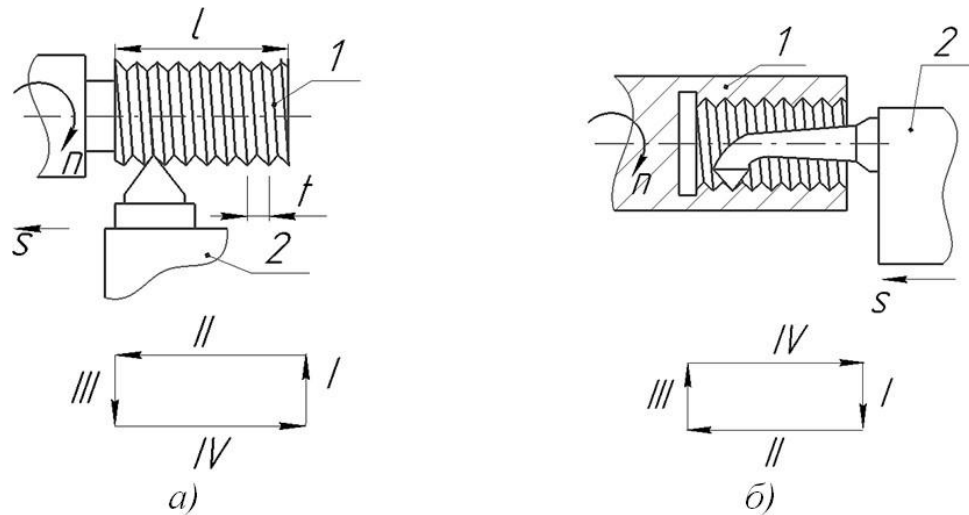


Рисунок 7.2 – Схеми нарізування різі різцями [32]

Заготовка 1 закріплюється в трикулачковому патроні токарно-гвинторізного верстата й одержує обертання, а різець закріплюється на супорті 2 і одержує поздовжню подачу, що дорівнює кроку нарізуваної різби. Коли різець пройде довжину нарізуваної різби, він швидко віддаляється від заготовки вручну і заготовка одержує зворотній (лівий) обертальний рух без вимикання поздовжньої подачі, при цьому різець повертається у вихідне положення. Потім різець одержує радіальне переміщення (врізання в заготовку) і цикл повторюється (заготовка при цьому одержує праве обертання).

Різбові різці бувають стержневими (рис. 7.3, а, в), призматичними (рис. 7.3, б) і круглими (рис. 7.3, г).

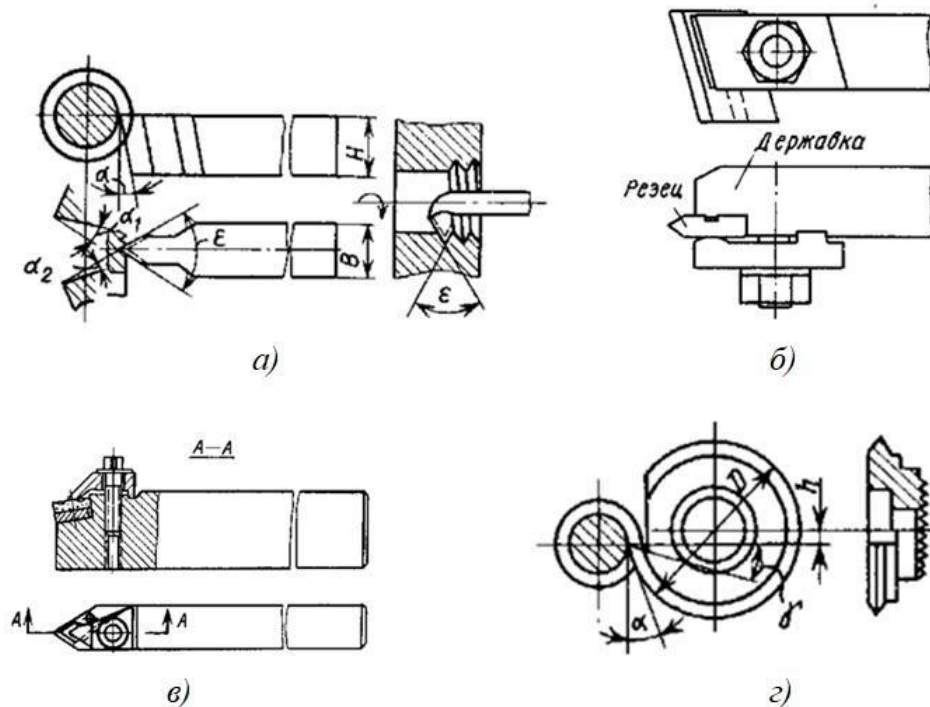


Рисунок 7.3 – Приклади конструкцій нарізних різців [29]

Призматичні різьбові різці застосовують для нарізування різьби з невеликим кутом підйому витків різьби. У круглих різьбових різцях передній кут  $\gamma$  забезпечується заточуванням, а задній кут  $\alpha$  – за рахунок установки осі різця вище осі оброблюваної деталі на величину  $h$ :

$$h = \frac{D}{2} \sin \alpha \quad (7.1)$$

Різьбові гребінки (рис. 7.4) бувають стрижневими (а), призматичними (б) і круглими (в). Особливість гребінок – сполучення декількох однотиткових різців, профіль яких відповідає профілю нарізуваної різьби. Перші 2–3 нитки (за напрямком подачі) зрізуються на кут  $\varphi = 25\text{--}30^\circ$ , утворюючи забірну частину. Інші утворюють калібрувальну частину гребінки.

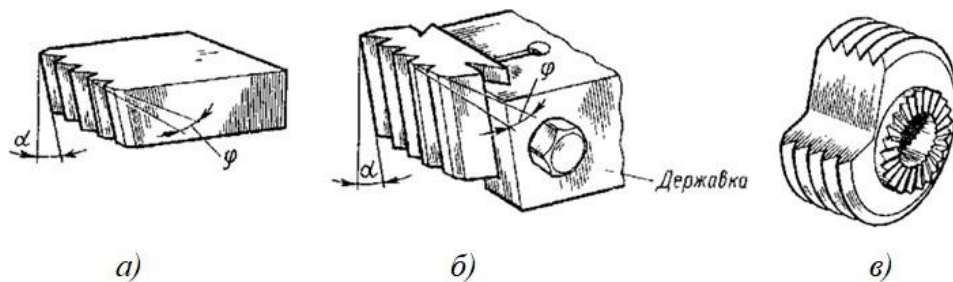
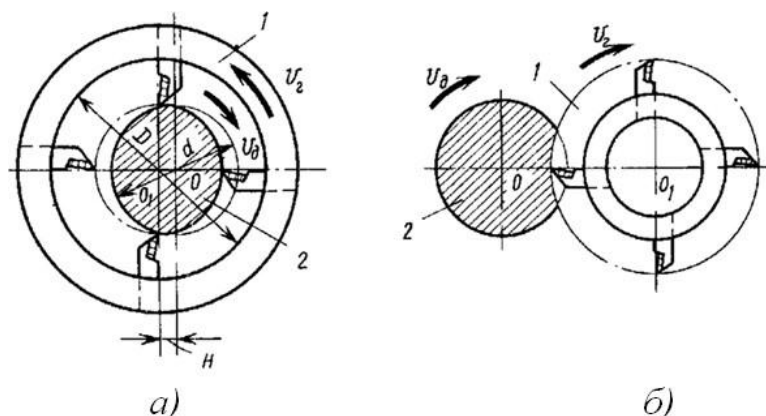


Рисунок 7.4 – Нарізні гребінки [32]

Різьбонарізні головки бувають такими, що не розкриваються і розкриваються. Їх використовують на токарних, револьверних, свердлильних, токарних автоматах і напівавтоматах, на агрегатних верстатах і автоматичних лініях. Найбільш розповсюджена чотирирізцева головка для нарізування зовнішньої різьби (рис. 7.5).



а – із внутрішнім торканням;  
б – із зовнішнім торканням: 1 – головка; 2 – деталь  
Рисунок 7.5 – Схема чотирирізцевої головки [32]

Головка монтується на плиті разом з електродвигуном і встановлюється на супорті верстата під кутом до осі оброблюваної деталі, що дорівнює куту підйому витків різьби. Різці встановлюють у головці на повну глибину різьби. Частота обертання головки до  $3000 \text{ хв}^{-1}$ . Головки можуть працювати з внутрішнім (а) і з зовнішнім (б) торканням. Перший метод має найбільше розповсюдження. При обертанні головки різець описує окружність, діаметр якої більше діаметра деталі. Періодично (один раз за кожне обертання) різець стикується з оброблюваною заготовкою по дузі і за кожний оборот головки прорізує на заготовці серпоподібну канавку, що має профіль різьби. За кожний оборот заготовки утворюється один виток різьби. При цьому зрізаються короткі тонкі стружки, які “вихором” відлітають від різця, тому метод називається “вихровим”.

При нарізанні внутрішньої різьби різець закріплюється в оправці головки, яка теж закріплюється на супорті (рис. 7.6).

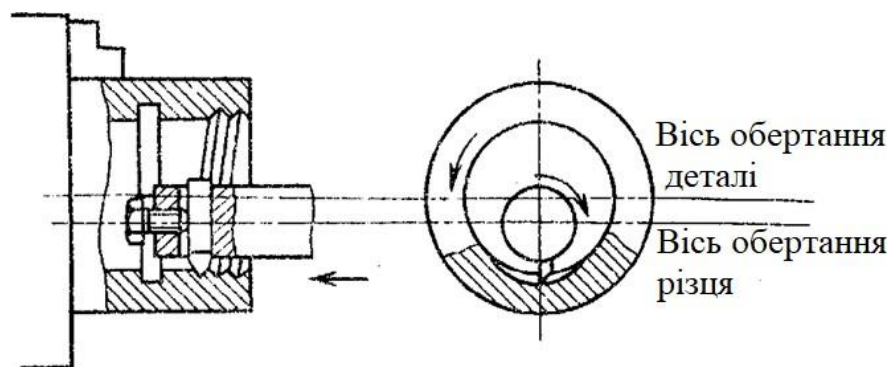


Рисунок 7.6 – Схема нарізання різцевою головкою внутрішньої різьби [32]

У промисловості використовуються також різьбові головки, що розкриваються. У корпусі головки монтуються гребінки, що після нарізування різьби виводяться з зачеплення з заготовкою, що дає можливість виконувати швидке виведення головки у вихідне положення без реверсування обертання. У залежності від виду використовуваних гребінок головки, що розкриваються, бувають із плоскими радіальними гребінками (рис. 7.7, а), із плоскими тангенціальними гребінками (рис. 7.7, б) і з круглими гребінками (рис. 7.7, в).

Найбільш поширені головки з круглими гребінками, які допускають велику кількість переточувань і забезпечують більш високу точність нарізуваної різьби порівняно з плоскими плашками. Головки можуть обертатись (застосовують на токарних автоматах і напівавтоматах, на свердлильних верстатах) або бути нерухомими (застосовують на револьверних верстатах).

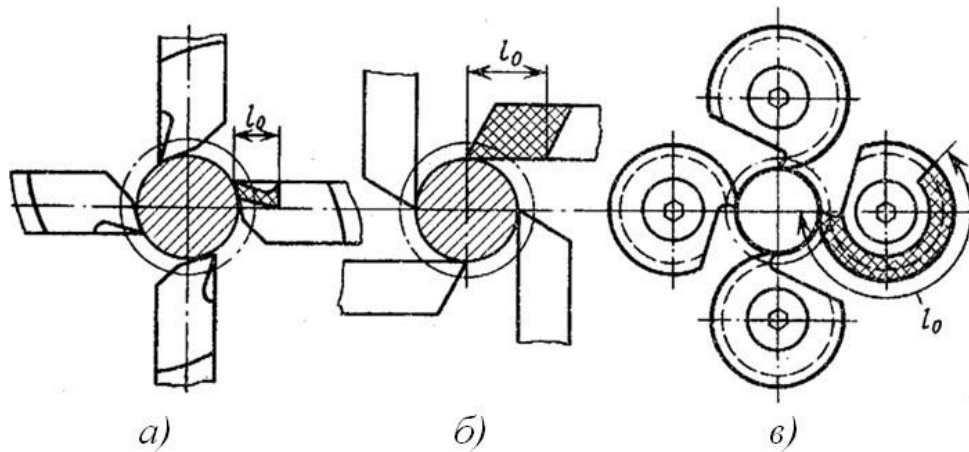
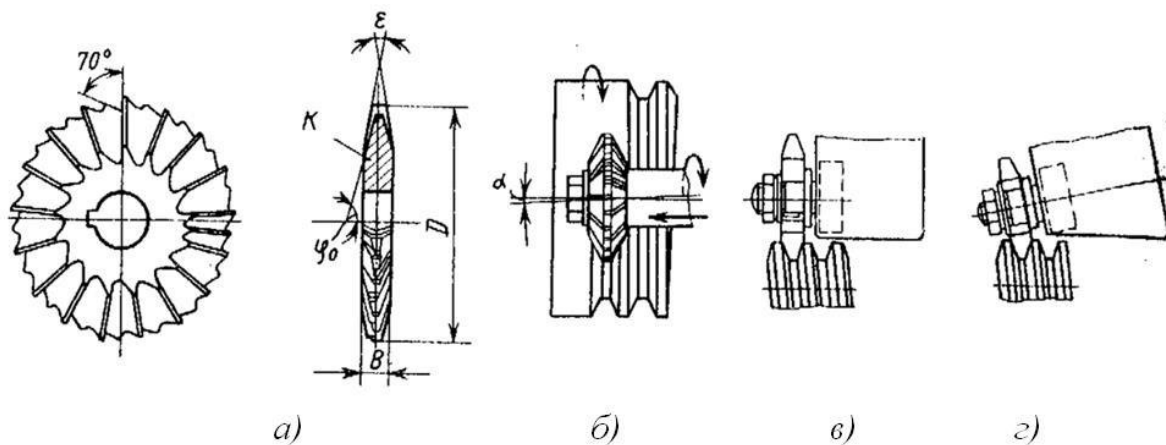


Рисунок 7.7 – Гребінки [32]

### 7.3 Фрезерування різі

Для фрезерування різби використовують дискові і гребінчасті фрези. *Дискові різбові фрези* (рис. 7.8, а – г) використовують в основному для нарізування довгих різьб з великим кроком трапецоїдного профілю, для попередньої обробки ходових гвинтів і черв'яків різних типів.



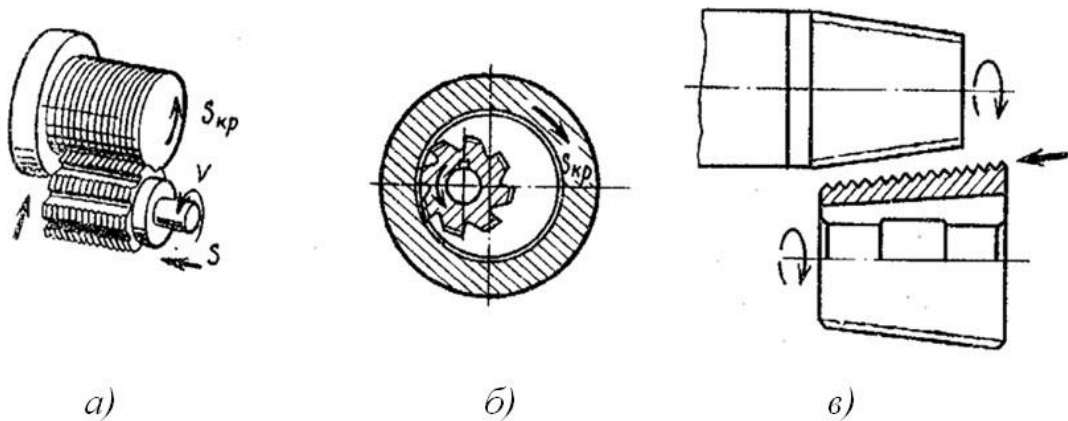
а – дискова фреза; б – схема роботи;  
в – симетрична фреза; г – несиметрична фреза

Рисунок 7.8 – Дискова нарізна фреза і схема роботи [32]

Нарізування різби дисковою фрезою виконується за один прохід і тільки при нарізуванні великих різьб за два або три проходи. Нарізування ведеться на універсальних або спеціальних різьбофрезерних верстатах. При фрезеруванні різби дискова фреза встановлюється на супорті й одержує швидке обертання (головний рух) від індивідуального електродвигуна. Супорт із фрезою одержує поздовжню подачу, що дорівнює кроку різьби. Оброблювана заготовка закріплюється в патроні верстата й одержує вільне обертання (кругова подача).

Гребінчасті фрези (рис. 7.9) використовуються для нарізування коротких трикутних зовнішніх і внутрішніх різьб. Довжина фрези повинна бути на 2–3 нитки більше довжини нарізуваної різьби.

Обробка виконується на зубофрезерних напівавтоматах. Заготовка закріплюється на шпинделі верстата і отримує повільне обертання (кругову подачу). Фреза установлюється на супорті верстата і отримує швидке обертання (головний рух) від індивідуального електродвигуна.



*а – циліндричної зовнішньої; б – циліндричної внутрішньої;  
в – конічної зовнішньої*

Рисунок 7.9 – Схеми нарізування різі гребінчастою фрезою [32]

Фреза також отримує поздовжню подачу, що дорівнює кроку нарізуваної різьби, і поперечну подачу (врізання), що дорівнює глибині нарізуваної різьби. Після врізання фрези на глибину різьби рух врізання автоматично відключається. Рух врізання здійснюється за  $1/4$ – $1/3$  обороту заготовки. Після врізання заготовка виконує один повний оборот. Після цього фреза відходить від заготовки і повертається у вихідне положення. Верстат зупиняється.

## 7.4 Нарізування різьби мітчиками і плашками

Мітчики (рис. 7.10) використовують для нарізування внутрішніх різьб. Мітчик складається з робочої  $L_4$  і хвостової частини  $L_3$ . Робоча частина мітчика є гвинтом, на якому прорізані поздовжні канавки для утворення різальних кромek. Робоча частина складається з забірної (різальної) частини  $L_1$  і калібрувальної частини  $L_2$ . Забірна частина зрізана на конус під кутом  $\phi$ . Хвостова частина  $L_3$  служить для закріплення мітчика в пристрої.

Мітчики бувають ручними, машинно-ручними і машинними.

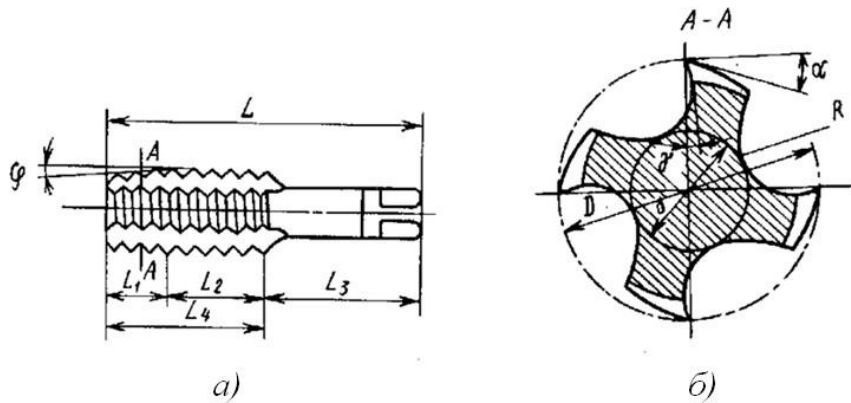
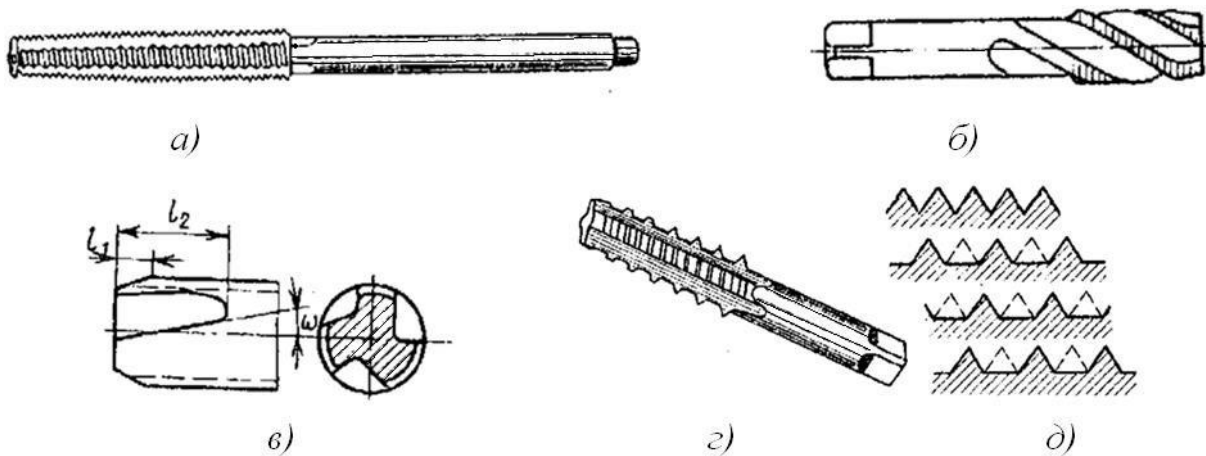


Рисунок 7.10 – Мітчик[29]

Ручні мітчики випускаються комплектами з 2–3 мітчиків. Чорновий мітчик (при 3 мітчиках) знімає 50–60 % матеріалу, середній 25–30 % і чистовий 10–30 %.

Машинно-ручні виготовляють одинарні і комплектні (з 2 мітчиків). Одинарні застосовують для нарізання різьб у наскрізних отворах. Вони мають довжину забірної частини  $L_1 = 6S$ . Комплектні мають 2 мітчика – чорновий та чистовий, з довжиною забірної частини  $L_1 = 3S$ . Їх застосовують для нарізання різьби в глухих отворах.

Гайкові мітчики застосовують для нарізання різьби в гайках вручну і на верстатах. Вони бувають з прямим коротким хвостовиком, з прямим довгим хвостовиком (рис.7.11, а) та із зігнутих хвостовиком (рис. 7.12).

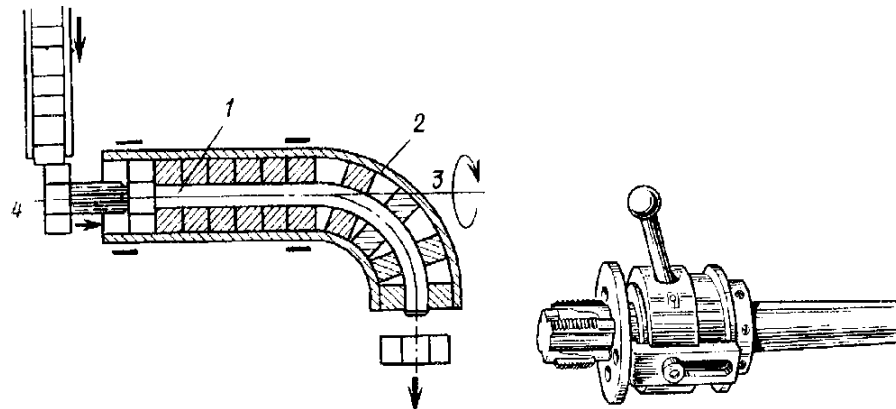


а – гайковий з прямим довгим хвостовиком;  
 б – з гвинтовими канавками; в – безканавковий;  
 г – з різьбою через крок;  
 д – розташування зміщених зубів на мітчику через крок  
 Рисунок 7.11 – Види мітчиків [32]

Гайкові мітчики з коротким хвостовиком застосовують для нарізання різьби вручну діаметром 2–30 мм і кроком 0,4–3,5 мм. Мітчики з довгим хвостовиком застосовують на свердлильних або гайконарізних верстатах. Нарізані гайки нанизуються на хвостовик. Для зняття гайок верстат зупиняють.

Гайкові мітчики із зігнутим хвостовиком застосовують на спеціальних гайконарізних автоматах. Довжина забірнього конуса  $L_1 = 8S$ . Довжина калібрувальної частини дорівнює висоті гайки.

Перед запуском автомата мітчик 1 заводиться в зігнуту трубу 2 і на хвостовик мітчика надягаються нарізані гайки (для центрування мітчика в трубі). Труба з мітчиком отримує обертання навколо осі 3. Із завантажувального пристрою 4 гайка подається на забірний конус мітчика, підтіскається до мітчика і відбувається самозатягнення. В завантажувальну позицію подається наступна гайка і т. д. Нарізані гайки безперервно переміщуються вздовж хвостовика і скидаються в тару для гайок.



1 – мітчик; 2 – труба; 3 – вісь;  
4 – завантажувальна позиція

Рисунок 7.12 – Схема роботи гайкового мітчика із зігнутим хвостовиком [3]

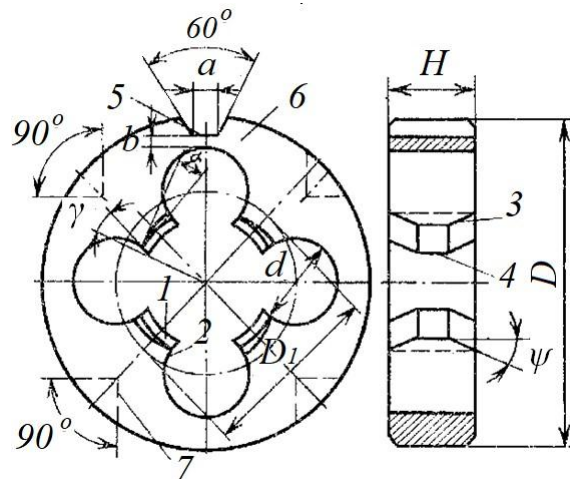
При нарізанні різьби в глухих отворах, а також при нарізанні різьби довжиною більше двох діаметрів доцільно застосовувати мітчики з гвинтовими канавками (рис. 7.11, б). При цьому збільшується період стійкості інструмента, виключаються його поломка, зменшується крутний момент. Кут канавки  $40-60^\circ$ .

Безканавкові мітчики (рис. 7.11, в) – це умовна назва мітчиків через те, що вони мають дуже короткі канавки. Довжина їх приблизно в 2 рази більше довжини забірнього конуса. Кут нахилу канавок  $\omega = 10^\circ$ . Ці мітчики забезпечують високу якість різьби, допускають більшу кількість переточувань. Але їх використовують тільки нарізання наскрізних коротких різьб М1,5–М8 довжиною до 1,5–2 діаметрів різьби. Мітчик з різьбою через крок (рис. 7.11, г), як і безканавкові, застосовується для нарізання коротких наскрізних різьб на деталях з в'язких матеріалів. Кількість канавок у мітчиків для дрібних різьб (до 3 мм) – 3, для більш крупних – 5–7 канавок. Перевага таких мітчиків – зменшення тертя, покращення процесу стружкоутворення, полегшується підведення рідини і краще розміщення стружок в канавках.

Для нарізування зовнішніх різьб діаметром від 1 до 52 мм використовують *плашки*. Найбільше поширення набули круглі плашки, що виготовляються з інструментальних легированих сталей 9ХС, ХВСГ або швидкорізальних сталей.

Кругла плашка (рис.7.13) є гайкою, що перетворена в різальний інструмент шляхом прорізання стружкових канавок і затилування зуб'їв, що виконують різання.

Процес різання виконується забірною частиною 3 (забірний конус). Спочатку плашка притискається до нарізуваної заготовки, поки вона не почне різати ("закусить"), далі йде процес самозатягування плашки (самонагвинчування).



- 1 – різальний зуб; 2 – передня поверхня; 3 – забірна частина;  
4 – калібрувальна частина; 5 – паз під регулювальний гвинт;  
6 – стружкові канавки; 7 – кріпильне поглиблення;  
 $\alpha$  – задній кут;  $\gamma$  – передній кут,  $\varphi$  – кут забірної частини

Рисунок 7.13 – Кругла плашка [29]

Паз 5 призначений для розрізування плашки після її затуплення. Плашка встановлюється в плашкотримачі і кріпиться в ньому 3–4 гвинтами, для чого на плашці виконані поглиблення 7.

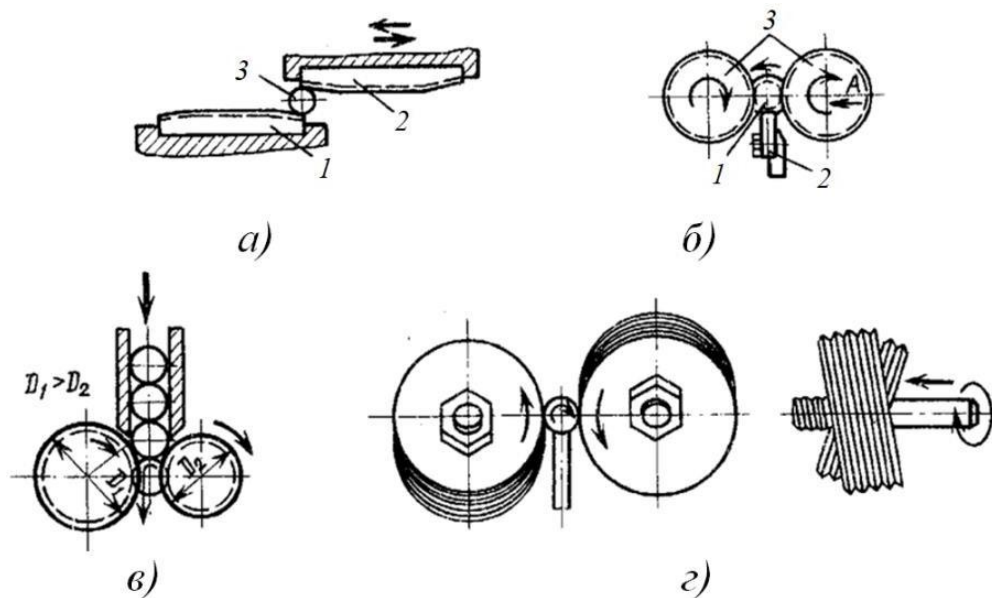
## 7.5 Накатування різі

Процес формоутворення різьби відбувається без зняття стружки за рахунок перерозподілу елементарних об'ємів заготовки, причому її вихідний об'єм залишається приблизно однаковим.

Широко використовується накочування двома плоскими плашками (рис. 7.14, а). Плоскими плашками накатують різьби діаметром від 2 до 25 мм і довжиною до 125 мм. Одержують різьби 6-го ступеня точності і шорсткість  $Ra = 0,16\text{--}0,63$  мкм. Таким способом накатують різьби тільки на жорстких заготовках. Цей спосіб високопродуктивний, але він забезпечує меншу точність, чим накатка роликми.

На практиці використовується накатування різьби одним, двома або трьома роликами. Найбільш поширений спосіб накатування двома роликами, на зовнішніх поверхнях яких є різьба (рис. 7.14, б). Накатування виконується на спеціальних різьбонакатних верстатах. Напрямок різьби на роликах протилежний напрямку різьби, що накатується. Заготовка 1 розташовується між роликами 3 на опорній планці 2. Обидва ролика обертаються в одну сторону. Один з роликів отримує радіальну подачу, в результаті чого ролики зближуються, вдавлюються в заготовку, приводять її в обертання і накатують на ній різьбу. Довжина нарізваної різьби обмежена довжиною накатних роликів і може дорівнювати 100 мм.

Накатування роликами з *тангенціальною подачею* відрізняється тим, що в процесі накатування заготовка подається з магазину і захоплюється роликами (рис. 7.14, в).

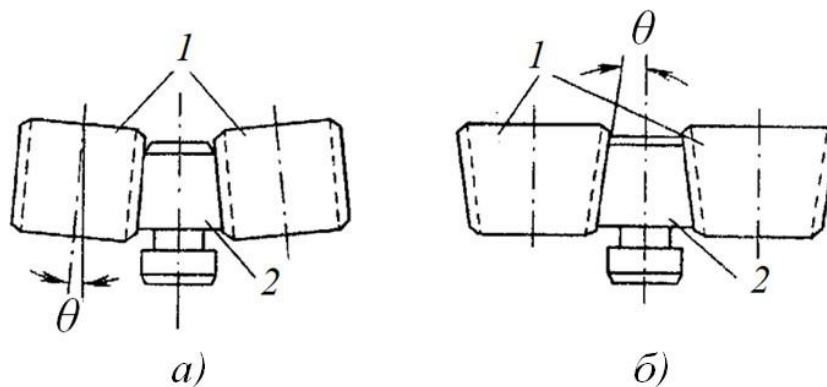


*а – плоскими плашками; б – двома роликами з радіальною подачею;  
в – двома роликами з тангенціальною подачею;  
г – двома роликами з осьовою подачею  
Рисунок 7.14 – Схема накатування різі [32]*

Ролики мають різний діаметр і обертаються в одному напрямку з однаковою частотою. Тому швидкості на зовнішніх робочих поверхнях роликів будуть різними. Заготовка приводиться роликами в обертання й одночасно переміщається між роликами зі швидкістю, пропорційною різниці окружних швидкостей роликів. Завантаження заготовок відбувається безперервно. Спосіб можна використовувати в масовому виробництві.

Накатування довгих різьб (рис. 7.14, г) незалежно від довжини роликів забезпечується осьовою подачею заготовки. Ролики мають забірну частину та кільцеву нарізку, що дозволяє накатувати різьбу з різними діаметрами; при цьому діаметр. Осьове переміщення заготовки забезпечується за рахунок перехреснування осей роликів під кутом, рівним куту підйому різьби, що накатується.

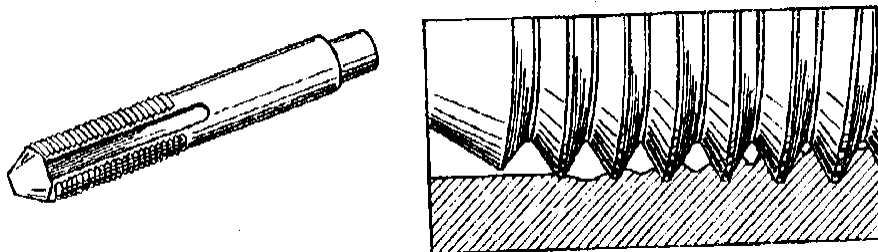
Накатування конічної різьби (рис. 7.15) можна вести циліндричними і конічними роликами. Процес накатування подібний процесу накатування циліндричних різьб.



*а – циліндричні ролики; б – конічні ролики; 1 – ролики; 2 – заготовка*

*Рисунок 7.15 – Схеми установки роликів при накатуванні конічних різів [32]*

Утворення внутрішніх різьб методом пластичного деформування за допомогою розкатників (рис. 7.16) використовують для отримання різьб під шпильки в корпусних деталях (особливо з кольорових металів). Розкатник є стержнем з різьбою типу мітчика, але без стружкових канавок, з забірною та калібрувальною частиною. Замість стружкових канавок на ньому є лиски (різної форми). В процесі роботи розкатник здійснює обертальний рух навколо своєї осі і примусову подачу вздовж осі, що дорівнює кроку накатуваної різьби.



*Рисунок 7.16 – Розкатник та схема утворення різі [3]*

Розкатниками можна отримувати різьбу з кроком до 2–3 мм. При кроці більше 3 мм розкатники використовуються для калібрування попередньо нарізаної різьби.

## 7.6 Опоряджувальна обробка різі

Шліфування різьб застосовую для точних гвинтів, різьбових інструментів після термічної обробки, яка часто спотворює елементи профілю.

Дрібні досить точні різьби (з кроком до 1,5 мм) можуть бути утворені в процесі шліфування без попереднього їх нарізування лезовим інструментом до гартування.

Шліфування різьби виконують дисковими одонитковим або багатонитковими шліфувальними кругами на різбошліфувальних верстатах. В одиничному та дрібносерійному виробництвах шліфування різьби як зовнішньої, так і внутрішньої можна виробляти на токарних верстатах за допомогою спеціальних пристосувань.

Шліфування одонитковим кругом 1 (рис. 7.17, а) здійснюється при поздовжньому переміщенні заготовки 2 за кілька проходів. Багатонитковий круг 1 застосовують при шліфуванні різьби на заготовках 2, що мають коротку довжину різбової поверхні (рис. 7.17, б) та з повздожньою подачею (рис. 7.17, в). Для коротких різьб шліфування проводиться методом врізання при поздовжньому русі заготовки на 2–3 кроки за 2–3 її обороту.

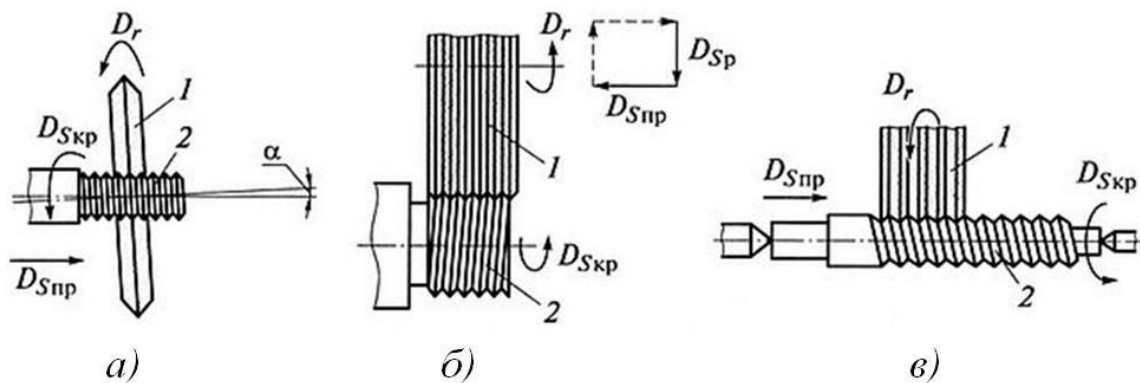


Рисунок 7.17 – Схеми шліфування різі [32]

Шліфування різьби одонитковим кругом дозволяє отримати більш точну різьбу, ніж багатонитковим.

## 7.7 Контроль нарізних поверхонь

Точність різбовій поверхні залежить від точності кута профілю різьби, крока, середнього, зовнішнього та внутрішнього діаметру різьби. Основним критерієм є точність різьби по середньому діаметру. Точність всіх цих елементів повинна бути дотримана не тільки по величині, але і по відношенню до зв'язку їх між собою.

Контроль різьби виконується граничними різбовими кільцями і скобами для зовнішньої різьби і граничними різбовими пробками – для внутрішньої різьби. Для менш точного визначення кроку різьблення застосовуються різбові шаблони. В якості інструмента для перевірки середнього діаметра використовують різбовий мікрометр, який має спеціальні наконечники, різбові скоби з двома парами вимірювального роликів або

з обмірними гребінками і прилади, вимірювання за допомогою яких заснована на принципі порівняння з еталоном. Такий прилад має наконечники, після установки яких за зразком на нуль індикатора вимірюють деталь. Середній діаметр різьби перевіряється також методом трьох дротів. Для точного вимірювання трьох головних елементів різьби – середнього діаметра, кута профілю і кроку – застосовується універсальний мікроскоп.

### **Питання для контролю**

1. Поясніть схеми нарізування різьби різцями, гребінками і різьбонарізні головки, конструкцію інструменту, технологічне оснащення.
2. Охарактеризуйте метод фрезерування різьби: схеми обробки, обладнання.
3. Поясніть схеми нарізування різьби мітчиками і плашками, технологічне оснащення, інструмент.
4. Поясніть суть методу накопчення різьби.
5. Охарактеризуйте методи опоряджувальної обробки різьби.



## 8.2 Нарізування зубчастих поверхонь методом копіювання

Сутність методу копіювання – профіль западин між зубами колеса що нарізується є копією профілю різальних кромek інструмента. До основних інструментів, що працюють за методом копіювання, відносяться: дискові і пальцеві модульні фрези, зубодовбальні головки, кругові протяжки.

При нарізуванні зуб'їв дисковою і пальцевою фрезами (рис.8.2) фреза прорізає западину між зубами (як правило за кілька проходів), після чого заготовка за допомогою ділильного пристрою повертається на  $1/z$  частину окружності і прорізається наступна западина.

Робота виконується на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах. Метод дозволяє одержати 9–10 ступені кінематичної точності.

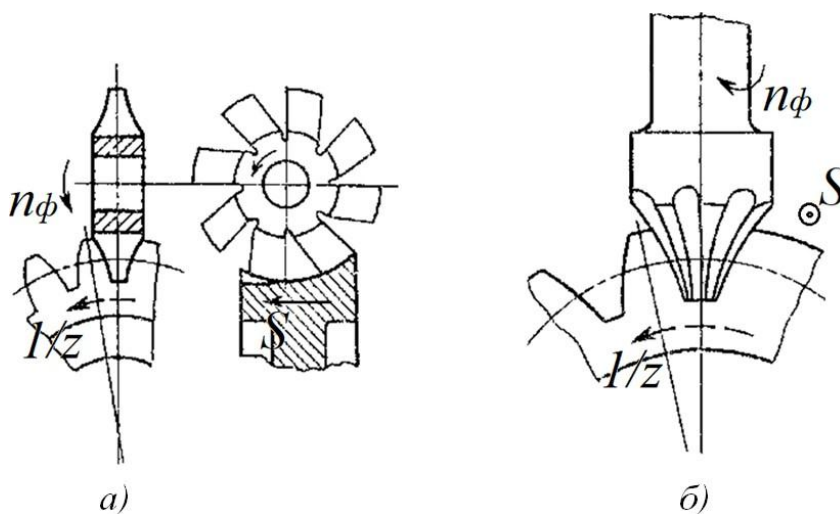


Рисунок 8.2 – Схема нарізування дисковою і пальцевою фрезами [33]

Метод зубодовбання головками (рис. 8.3) є одним з найбільш продуктивних і досить точних (8–7 ступені кінематичної точності).

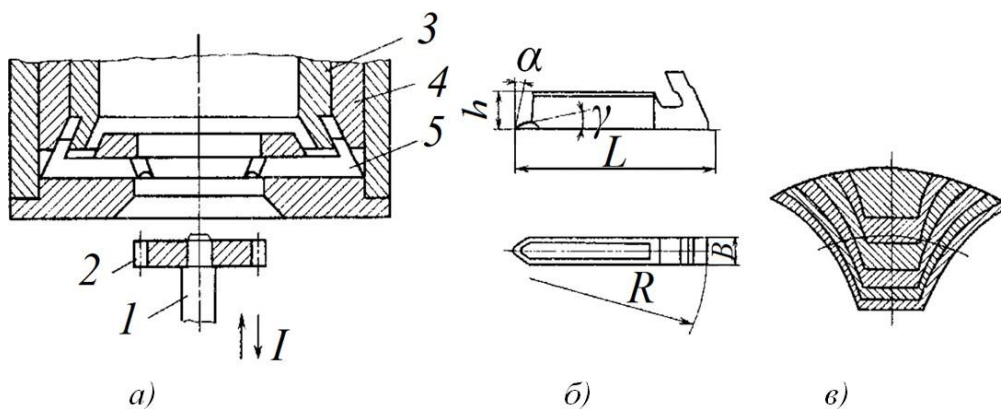


Рисунок 8.3 – Схема роботи зубодовбальної головки [33]

Сутність методу – довбаються одночасно всі западини оброблюваного колеса (рис. 8.3, в). Колесо 2, що нарізується, закріплюється на штоселі 1 (рис. 8.3, а) і одержує вертикальний зворотно-поступальний рух І (головний рух). Різці 5, що встановлені в нерухомому корпусі головки, після кожного робочого ходу заготовки одержують переміщення в радіальному напрямку (рух подачі) за рахунок опускання конусів 3 і 4 (рис. 8.3, б). Для усунення тертя різців по оброблюваній поверхні перед холостим ходом заготовки вниз різці розводяться на 0,5 мм за допомогою конуса відводу 3. Спосіб використовується в масовому виробництві через необхідність виготовлення для кожного колеса відповідно до модуля і числа зубів індивідуальної зубодовбальної головки.

За методом копіювання працюють також кругові протяжки (рис. 8.4). При обробці заготовка І нерухома. Протяжка II обертається з постійною швидкістю  $v$  (головний рух) і має зворотно-поступальний рух уздовж западини зуба. Нарізування кожної западини відбувається за один оборот протяжки. Інструмент має чорнові 1, напівчистові і чистові 3 зуб'я. На ділянці 2 встановлюється пристрій для зняття фасок з бічних поверхонь зуба.

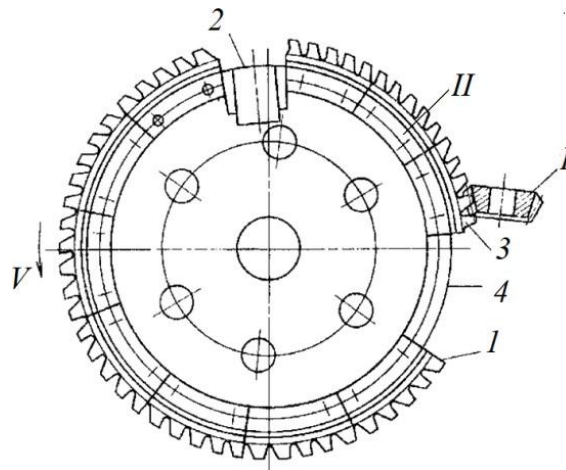


Рисунок 8.4 – Схема роботи кругової протяжки [33]

Ділянка 4 дає можливість повернути заготовку на один зуб без відведення її від протяжки наприкінці циклу обробки. Одержують 9–8 ступені кінематичної точності. Застосовується в масовому виробництві.

### 8.3 Нарізування зубчастих коліс методом обкатування

Сутність методу обкатування – у процесі нарізування зуб'їв відтворюється зачеплення зубчастих пар (двох зубчастих коліс, черв'ячного колеса і черв'яка, зубчастого колеса і рейки) з накладенням деяких додаткових рухів. При цьому один з елементів зубчастої пари представлений у виді заготовки колеса, що нарізується, інший трансформований у різальний інструмент.

Найбільш розповсюджені інструменти: черв'ячні модульні фрези, довбачі, зубостругальні різці, зуборізні різцеві головки.

Нарізування зубчастих коліс черв'ячними модульними фрезами побудовано на імітації зачеплення пари черв'як – черв'ячне колесо.

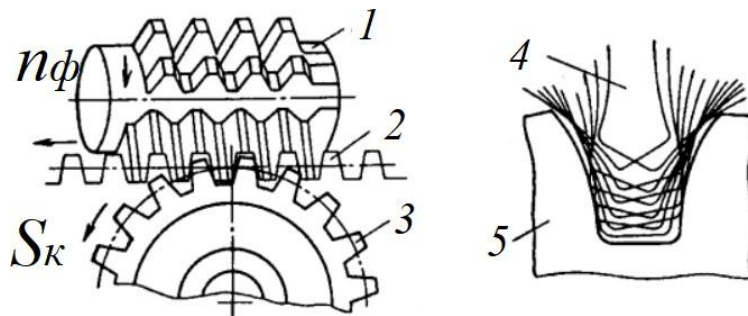


Рисунок 8.5 – Схема нарізування прямозубого колеса [34]

При нарізуванні прямозубих циліндричних коліс (рис. 8.5) вісь фрези 1 встановлюється щодо площини, перпендикулярної осі деталі 3 під кутом  $\phi$ , що дорівнює куту підйому гвинтової лінії фрези  $\omega_d$  на ділільному циліндрі. Профіль зубів утворюється черв'ячною фрезою 1 з вихідним контуром, який представляє зубчасту рейку 2. На рис. 8.5, б показано, як один за одним зуби фрези входять в контакт із зубом 5 оброблюваного колеса і формують евольвентний профіль.

Нарізування зубчастих коліс черв'ячними модульними фрезами виконують на зубофрезерних верстатах з вертикальною (рис. 8.6) або горизонтальною віссю розташування заготовки.

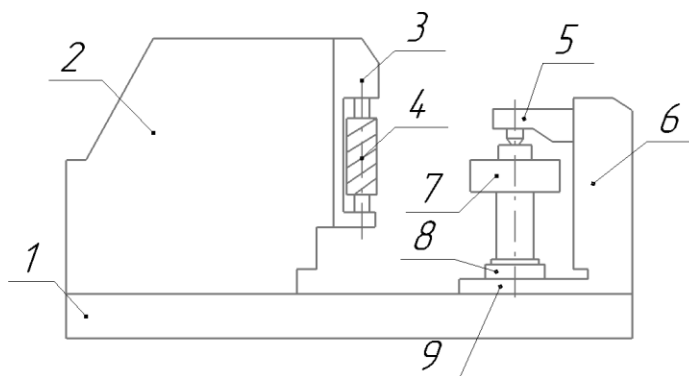


Рисунок 8.6 – Схема зубофрезерного верстата

На станині 1 розташована нерухома стійка 2, на якій змонтований фрезерний супорт 3 з фрезою 4. Справа на станині змонтована рухома каретка 9 зі столом 8 і колонкою 6. По вертикальним напрямним колонки може переміщуватися траверса 5, що служить для підтримування оправки, на якій закріплена заготовка 7.

Нарізування зубчастих коліс *довбачами* побудовано на імітації зачеплення двох зубчастих коліс. Одне колесо з відповідним заточенням перетворюється в різальний інструмент – довбач, інше колесо – нарізуване (заготовка).

Довбач закріплюється на штосселі верстата (рис. 8.7) і робить зворотно-поступальний рух I (*головний рух*) і обертальний II (*рух подачі*). Коли довбач рухається вниз, то виконується робочий рух, а при русі нагору – холостий рух. Заготовка закріплюється на столі зубодовбального верстата і виконує безперервний обертальний рух III навколо своєї осі. Довбач виконує також рух радіальної подачі IV для врізання в заготовку. Для запобігання тертя довбача по заготовці, стіл із заготовкою трохи віддаляється від довбача, а перед робочим ходом вони займають вихідне положення (рух V).

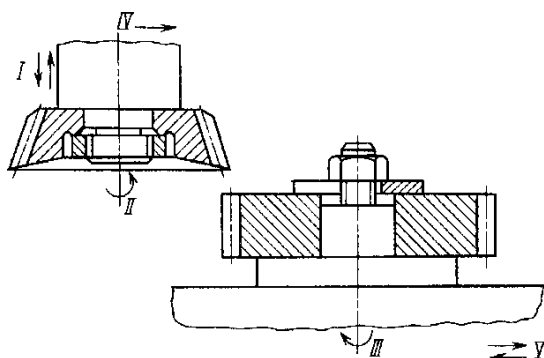


Рисунок 8.7 – Схема нарізування колеса довбачем

Довбачі (рис. 8.8) за конструкцією поділяються на дискові прямозубі (а), дискові косозубі (б), чашкові прямозубі (в), хвостові прямозубі (г), хвостові косозубі (д). Дискові довбачі використовують для нарізання зубчастих коліс зовнішнього зачеплення, чашкові – для коліс зовнішнього і внутрішнього зачеплення, хвостові – для коліс внутрішнього зачеплення.

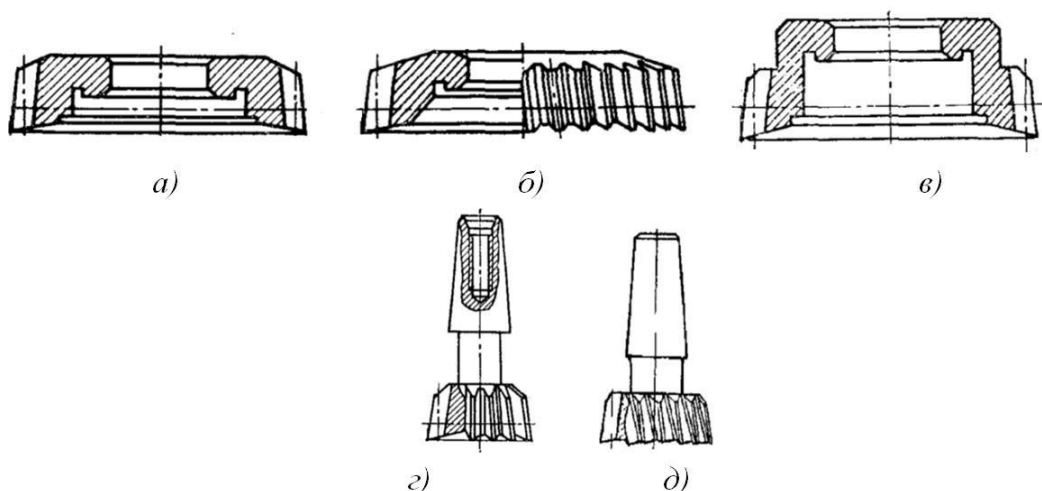
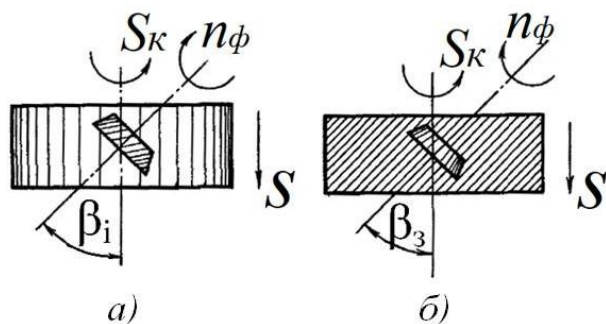


Рисунок 8.8 – Приклади конструкцій довбачів [29]

Метод зуботочіння призначений для нарізування прямих і косих зубів циліндричних зубчастих коліс на зубофрезерних верстатах за допомогою довбача, це поєднання зубофрезерування і зубодовбання. Зачеплення інструменту з нарізаними зубчастим колесом розглядається як зачеплення двох гвинтових зубчастих коліс, при якому відбувається поздовжнє ковзання поверхонь зубів. На зубофрезерном верстаті замість черв'ячної фрези встановлюється довбач під кутом  $\beta$  (рис. 8.9) до осі заготовки. Кути довбача і заготовки підбираються таким чином, щоб різниця між кутами гвинтової лінії інструменту і заготовки не дорівнювала нулю.



*а – косокутним довбачем; б – прямокутним довбачем*

*Рисунок 8.9 – Схема зуботочіння циліндричного зубчатого колеса [33]*

Нарізування прямих зубів проводиться косокутним довбачем (рис. 8.9, а), а нарізування косих зубів з кутом нахилу  $45^\circ$  прямокутним довбачем (рис. 8.9, б).

Продуктивність цього методу в 2–4 рази вище продуктивності зубофрезерування однозаходною фрезою. При обробці зубчастих коліс з внутрішнім зачепленням продуктивність підвищується в 4–10 раз у порівнянні з зубодовбанням, а гнучкість і якість перевершують ті, які забезпечує протягування. Найбільше розповсюдження метод отримав при появі сучасних оброблювальних центрів та шпинделів, які здатні впоратися з досить динамічними умовами процесу. Крім того, шпинделі повинні бути абсолютно синхронізовані: це означає, що при зниженні швидкості шпинделя заготовки швидкість шпинделя інструменту негайно повинна так само знизитися.

Нарізування конічних коліс із прямими зуб'ями виконується на зубостругальних верстатах за допомогою зубостругальних різців (рис. 8.10). Сутність процесу – відтворення зачеплення конічного колеса 1 із плоским зубчастим колесом 2 (а). При цьому профіль зуба плоского колеса відтворюється за допомогою зубостругальних різців. Зуб колеса, що нарізується, обробляють два різці 3,4 (б).

Різці закріплюються на повзунах планшайби (колиски) 5 і виконують зворотно-поступальний (головний) рух. Кожен різець обробляє одну сторону зуба. Планшайба (коліска) 5, на якій змонтовані різці, є плоским (уявленим) колесом, а оброблюване колесо встановлене так, що вершина його конуса А збігається з центром плоского колеса і поверхня його початкового конуса стикається поверхні початкового конуса плоского колеса.

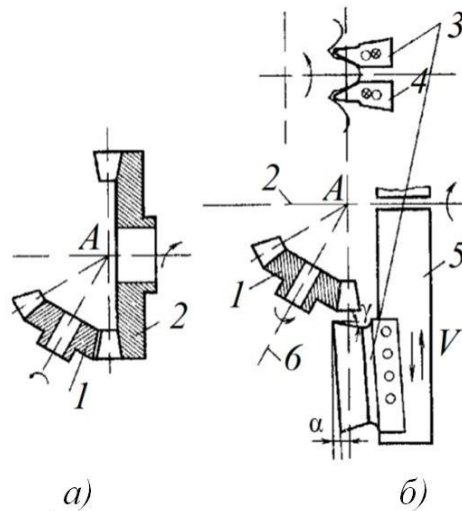
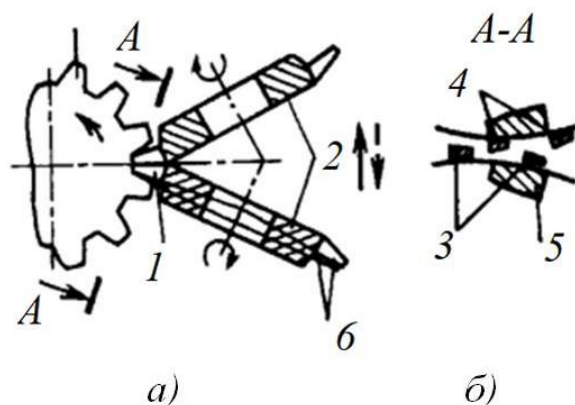


Рисунок 8.10 – Схема нарізування конічного прямозубого колеса [33]

Планшайба 5 і заготовка 1 обертаються навколо своїх осей 2, 6, при цьому кінематично забезпечується обкатування без ковзання початкового конуса заготовки по початковій площині уявлюваного колеса. У результаті цього руху (обкатного) прямолінійна рейка обробляє бічну поверхню зуба. Після обробки одного зуба ділильний механізм верстата повертає заготовку і виконується обробка іншого зуба.

Найбільш розповсюдженим способом нарізування конічних прямозубих коліс (малого і середнього модуля) в сучасному виробництві є зубофрезерування (рис. 8.11, а). Сучасні верстати для фрезерування зубчастих коліс (наприклад верстат KFG 320 CNC) відрізняються високою точністю і жорсткістю конструкції, що дозволяє забезпечувати високошвидкісну обробку зубчастих вінців з використанням інструментів з твердосплавних різальних матеріалів.

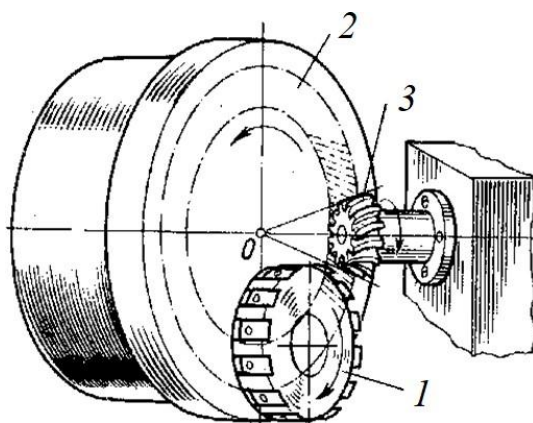


1 – зуб колеса, яке нарізується; 2 – спарені фрези; 3, 4 – різці фрези; 5 – поверхня зуба; 6 – конічна поверхня, яка охоплюється фрезою під час обробки

Рисунок 8.11 – Схема обробки конічних зубчастих коліс з прямим зубом двома дисковими фрезами [33]

Фрези зорієнтовані щодо один одного таким чином, що різці однієї з них входять в проміжки між різцями іншої (рис. 8.11, б). Різці кожної фрези обробляють одну сторону зуба колеса. Під час обробки фрезам надається обертання, а також рух обкатки спільно з похідним колесом. У верстатному зачепленні різці дискових фрез відтворюють один зуб оброблюваного колеса, і при обкатці, займаючи послідовні положення від початку різання до його кінця, вони імітують зачеплення оброблюваного і похідного коліс. Конічні колеса, оброблені цим методом, мають октоїдний профіль і взаємозамінні з колесами, які отримані методом стругання.

*Нарізування конічних зубчастих коліс із круговими зуб'ями* (рис. 8.12) виконується на зуборізних верстатах за допомогою різцевих головок.



*Рисунок 8.12 – Схема нарізування конічного колеса з круговими зуб'ями [34]*

Головка 1 установлюється на планшайбі (колісці) и отримує обертання навколо своєї осі, а планшайба 2 обертається навколо своєї осі. Планшайба з різцевою головою є похідним колесом. Якщо на шляху руху різців розмістити заготовку 3 й надати їй обертання, що погоджено з обертанням похідного колеса, то на заготовці буде нарізана западина.

Після нарізування однієї западини заготовка відходить від різців, продовжуючи обертатися в тім же напрямку, а планшайба з різцевою головою одержує обертання в зворотному напрямку. Заготовка одержує рух ділення, після чого цикл повторюється.

Серед затискних пристосувань сучасних верстатів для виконання зубчастих поверхонь, передбачені високоточні цангові оправки для фіксації і центрування з пневматичним, або гідравлічним затиском, що забезпечує надійне кріплення заготовки. На оправці передбачені елементи для її швидкої зміни і сумісність з автотранспортом. Сучасне зуборізнє обладнання передбачає автоматизовану заміну заготовок і інструменту. З огляду на постійну необхідність зменшувати час установки, передбачається швидкозмінне оснащення.

## 8.4 Методи обробки черв'ячних пар

Черв'яки бувають: архімедові, евольвентні, конволютні і глобоїдні. Архімедові черв'яки (гвинтові поверхні черв'яка з торцевої поверхнею утворює архімедову спіраль – такі черв'яки являють звичайний гвинт з трапецеїдальною різьбою) найчастіше нарізуються на токарних верстатах, при цьому прямолінійні різальні кромки різців розташовуються в осьовому перерізі так само, як при нарізанні трапецеїдальної різьби (рис. 8.13; 8.14, а). Архімедів черв'як в осьовому перерізі має прямобічний профіль з кутом, рівним профільному куту різця.

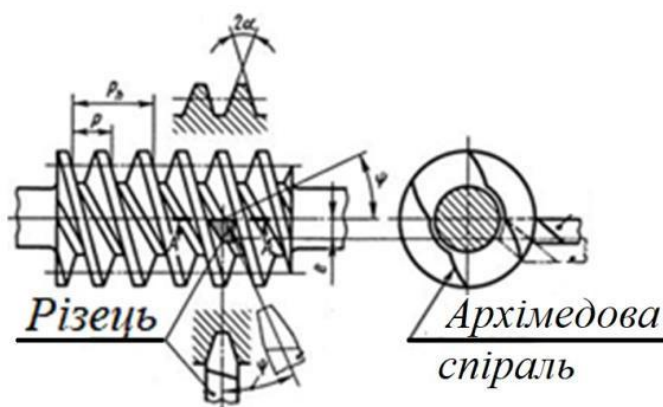


Рисунок 8.13 – Нарізання черв'яка різцем з прямолінійним профілем [35]

Поряд з цим використовується спосіб нарізання обох сторін зуб'їв двостороннім різцем (рис. 8.14, а, г; 8.15, б) для чорнової обробки, та спосіб роздільного нарізування кожної сторони зуба односторонніми різцями (рис. 8.14, б, в) для чистової обробки.

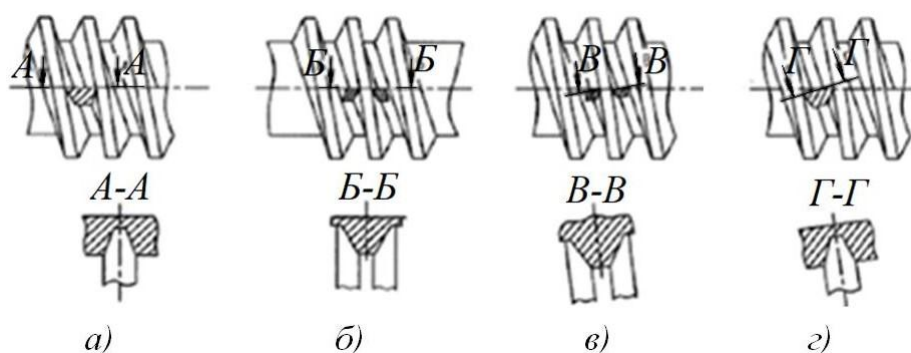


Рисунок 8.14 – Способи нарізування зубців черв'яка [35]

Евольвентні черв'яки (можна розглядати як циліндричне зубчасте колесо з малим числом спіральних зубів, що мають великий кут нахилу) нарізають на токарних верстатах з роздільною обробкою кожної сторони витка при зміщенні прямолінійних крайок різців на величину

радіуса основного циліндра гвинтової евольвентної поверхні. Якщо черв'як правий, то лівий бік бічної поверхні витків нарізають різцем, піднятим над віссю, а праву – опущеним. При лівому черв'яку обидва різця відповідно міняють місцями. Такий спосіб є нетехнологічним, тому використовується нечасто. Евольвентні черв'яки зазвичай фрезерують фасонними дисковими, пальцевими фрезами, черв'ячними фрезами і фрезами-равликами.

У великосерійному і масовому виробництві нарізають архімедові і евольвентні черв'яки обкатними дисковими різцями, на спеціальних верстатах. Подача здійснюється інструментом в осьовому напрямку заготовки черв'яка при обертанні його і різця.

Конволютний черв'як – черв'як з прямобічним профілем в нормальному перетині витка та випуклим профілем в осьовому перетині. Конволютний черв'як нарізується різцем, встановленим своїм профілем в площині, паралельній осі черв'яка, вище або нижче її на певну висоту або під нахилом до неї, з суміщенням осі симетрії профілю різця з віссю черв'яка. При нарізуванні такого черв'яка неминучі завали або спотворення профілю витка біля основи та на вершині через різні кути підйому витка на внутрішньому і зовнішньому діаметрах. Конволютні черв'яки, котрі мають прямолінійний робочий профіль обробляють двома різцями (див. рис. 8.14, з). Спільним недоліком процесів нарізування черв'яків різцями є утворення жорсткої зливної стружки, що ускладнює автоматизацію процесу, особливо на верстатах з ЧПК.

Глобоїдний черв'як нарізують різцем з прямолінійною різальною крайкою на зубофрезерному верстаті, при цьому вісь різця обертається синхронно з черв'яком та виконує відносні рухи профілів зуб'їв черв'яка та черв'ячного колеса в зачепленні. Нарізування глобоїдних черв'яків вимагає застосування спеціальних пристроїв на зубофрезерних верстатах.

При нарізанні багатозахідного черв'яка розподіл на заходи здійснюється вручну через гітару диференціала по ланцюгу кругової подачі. Попереднє і остаточне нарізування глобоїдного черв'яка можна здійснювати спеціальною багаторізцевою головкою. Чистове нарізування глобоїдного черв'яка можна виконувати універсальної різцевої головкою з круговою подачею при точно витриманій міжосьовій відстані.

Для нарізування черв'яків можна використовувати фрези на фрезерних і різьбофрезерних верстатах (рис. 8.15, а), а також черв'ячні фрези на зубофрезерних верстатах. Черв'ячною фрезою з прямолінійними різальними крайками зуба виготовляють евольвентні черв'яки. Для нарізування архімедових і конволютних черв'яків застосовують спеціальні черв'ячні фрези з криволінійним профілем різальних крайок. Такий спосіб обробки має високу продуктивність, але вимагає наявності складного інструменту, а також під час обробки з'являються дефекти профілю поверхонь витків черв'яка (огранювання профілю), що обумовлює обробку фрезою на попередньої операції [36]. Попередню обробку можна виконувати пальцевими фрезами (рис. 8.15, в) на верстатах для фрезерування черв'яків і різьб.

Різальні кромки таких фрез виконані по спіралі, при їх заточуванні важко зберегти високу точність. Нарізування черв'яків дисковою фрезою – більш продуктивний спосіб обробки, але при цьому профіль черв'яка підрізується, через різницю кутів підйому витка біля основи і вершини (рис. 8.15, *з*).

Метод вихрового нарізування зуб'їв незагартованих черв'яків здійснюється за допомогою різцевої вихрової головки, що обертається, яка встановлена під кутом підйому гвинтової лінії (рис. 8.15, *д*). Голівці надають осьову подачу відносно заготовки, а обробка здійснюється на спеціальних токарних верстатах. Метод точіння зуб'їв черв'яка довбляком (рис. 8.15, *е*) виконують на зубофрезерному верстаті з вертикально розміщеною віссю заготовки. Для кращого видалення стружки довбляк встановлюють різальними краями вниз. Цей метод застосовують для виготовлення черв'яків з кутом підйому витка менш  $25^\circ$  [35].

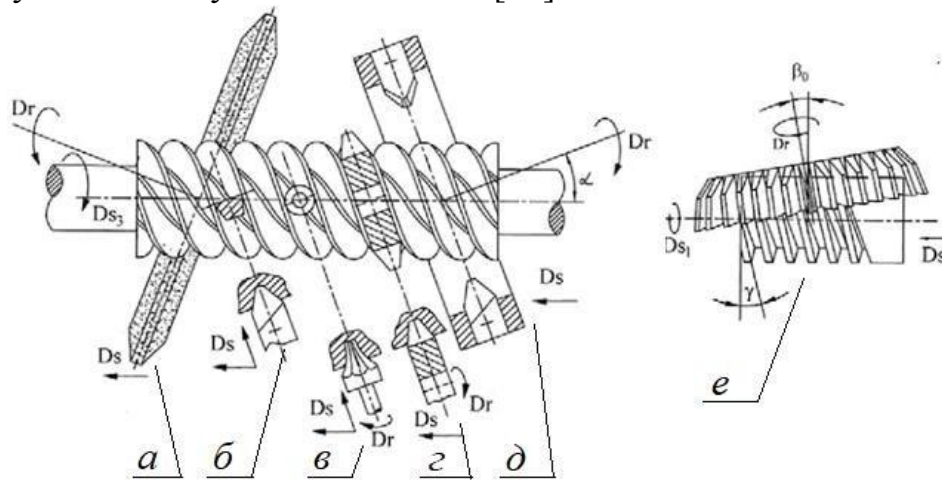


Рисунок 8.15 – Схеми методів обробки черв'ячних зубців [35]

Для попередньої обробки також використовують метод накочування дрібномодульних зуб'їв черв'яків двома роликами, який є продуктивним методом, та метод гарячого накочування зуб'їв черв'яків двома роликами, що застосовується при попередній обробці [4].

Після нарізування витків черв'як зазвичай піддають термообробці з подальшим шліфуванням опорних шийок і витків. Опоряджувальну обробку черв'яків здійснюють притиранням або обкаткою загартованим роликом.

Черв'ячні колеса нарізують на зубофрезерних верстатах черв'ячними фрезами трьома методами: методами радіальної і тангенціальної подачі та комбінованим методом.

## 8.5 Методи обробки шліцевих поверхонь

Розрізняють шліцеві сполучення прямокутного, евольвентного, трикутного профілю. У шліцевих сполученнях прямокутного профілю пов'язані деталі центруються трьома способами:

– центруванням втулки (або зубчастого колеса) по зовнішньому діаметру шліцевих виступів валу – використовується для нерухомих шліцевих з'єднань, що не вимагають підвищеної твердості;

– центруванням втулки (або зубчастого колеса) по внутрішньому діаметру шліців валу – використовують для рухливих сполучень, підданих загартовуванню;

– центруванням втулки (або зубчастого колеса) по бічним сторонам шліців – використовують у разі передачі великих крутних моментів з реверсом обертання.

Фрезерування шліців на валах невеликих діаметрів (до 100 мм) зазвичай проводиться за один робочий хід, великих діаметрів – за два робочих ходу. Чорнове фрезерування шліців, особливо великих діаметрів, іноді проводиться фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах, що мають ділильні механізми (рис. 8.16).

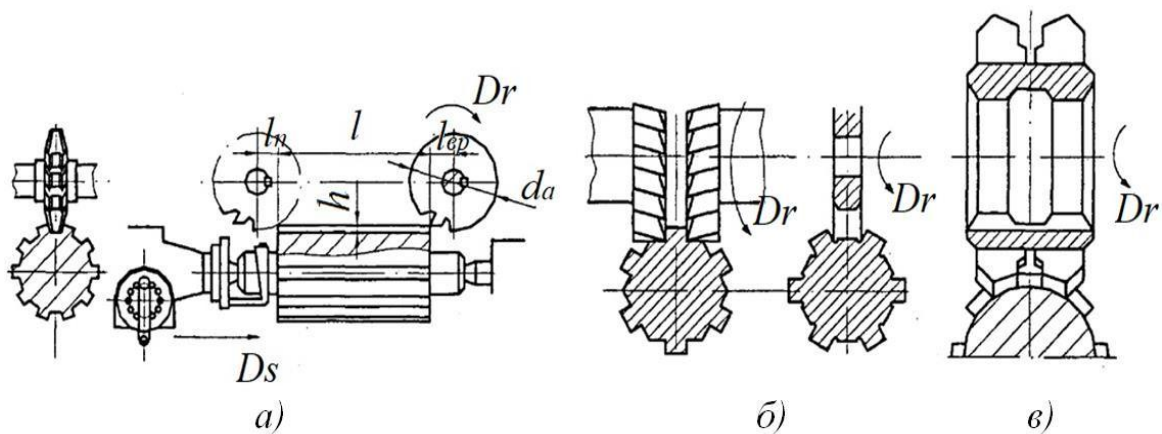


Рисунок 8.16 – Способи фрезерування шліців дисковими фрезами [24]

Більш продуктивним способом є одночасне фрезерування двох шліцевих канавок двома дисковими фрезами спеціального профілю.

Точніше фрезерування шліців проводиться методом обкатки за допомогою шліцевою черв'ячною фрезою (рис. 8.17).

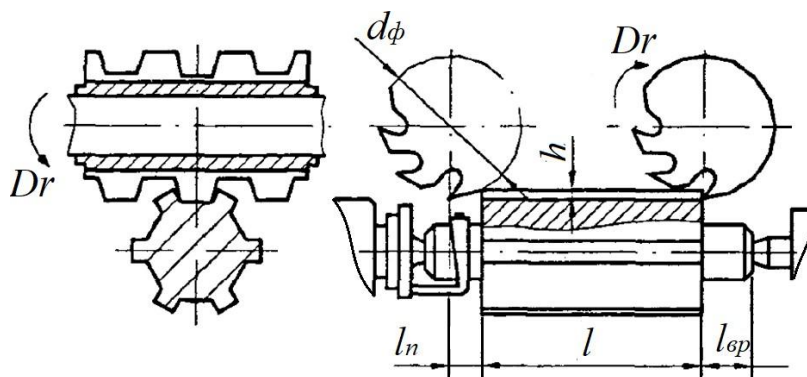


Рисунок 8.17 – Фрезерування шліців черв'ячною фрезою [24]

Остаточна обробка шліців по методу обкатки проводиться чистовим фрезеруванням черв'ячними шліцьовими фрезами високого класу точності.

При centruванні втулки (або зубчастого колеса) по внутрішньому діаметру шліців валу, як черв'ячна, так і дискова фреза повинна мати «вусики», що вирізують канавки біля основи шліца, щоб не було заїдання у внутрішніх кутах. Канавки необхідні також при шліфуванні по бічних сторонах і внутрішньому діаметру.

При *шліцеструганні* всі шліци нарізуються одночасно, при цьому забезпечує шорсткість поверхні  $Ra = 3,2-0,8$  мкм. Обробка виконується набором фасонних різців, встановлених з можливістю переміщатися в радіальному напрямку. Число різців дорівнює числу пазів. Оброблювана заготовка розташована вертикально і їй надається зворотно-поступальне переміщення вздовж осі. Перед кожним переміщенням заготовки вгору (робочій рух) різці переміщуються у напрямку до осі заготовки на величину поперечної подачі. При її переміщенні вниз різці відводяться від оброблюваної поверхні, щоб уникнути тертя об заготовку. Цей процес є високопродуктивним і використовується у великосерійному і масовому виробництві.

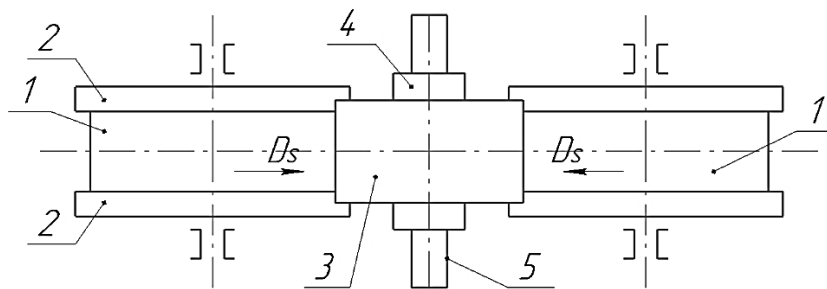
*Шліцепротягування* наскрізних шліців проводиться ланцюговими протяжками, профіль яких відповідає профілю шліцевого паза. Забезпечується шорсткість поверхні  $Ra = 1,6-0,8$  мкм. Кожен паз простягається окремо, а для обробки всіх пазів використовується ділильний пристрій. Для обробки нескрізних шліців використовуються блокові протяжки з незалежної установкою і переміщенням різців в радіальному напрямку.

Для виконання шліцьових отворів найчастіше використовують протягування за допомогою шліцьової протяжки.

## 8.6 Накатування зубчастих та шліцьових поверхонь

Накочення зубчастих поверхонь має великі переваги перед способами обробки різанням: підвищується продуктивність в 5–30 разів; збільшується зносостійкість і міцність зубів; значно зменшуються відходи металу. Розрізняють гаряче та холодне накочування. Гаряче накочування застосовують для профілів з модулем більше 2 мм (рис. 8.18); холодне накочування рекомендується для дрібномодульних коліс з модулем до 1,5–2 мм. Комбіноване накочення застосовують для середніх і великих модулів (основна пластична деформація проводиться в гарячому стані, а остаточне профілювання – в холодному). Гаряче накочення проводиться як з радіальної, так і з поздовжньої подачею.

*Шліценакатування* без нагріву деталі здійснюється роликами, що мають профіль, відповідний формі поперечного перерізу шліців. Ролики 2, які обертаються (діаметром 100 мм) по одному на кожен шліц розташовані радіально в сегментах 4 масивного корпусу 1 накатної головки (рис. 8.19).



1 – накатники; 2 – реборди; 3 – заготовка;  
4 – перехідна втулка; 5 – оправка  
Рисунок 8.18 – Схема накатування зубців коліс

При пересуванні головки вздовж деталі 3 ролики, при вдавлюванні в поверхню валу, утворюють на ній шліци, які відповідають профілю форми ролика. Все шліци накочуються одночасно, без обертання деталі. В такий спосіб найбільше число накочувальних шліців доходить до 18, найменше становить 8 – 10 (на валах діаметром 16 мм). Отримана точність шліців по кроку – 0,04 мм, непрямолінійність не перевищує – 0,04 мм на 100 мм довжини.

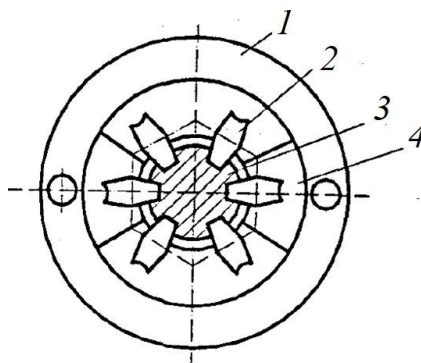


Рисунок 8.19 – Схема накатувальної головки для шліценакатувального верстата

## 8.7 Способи опорядження та оздоблювання зубчастих поверхонь

Важливу роль грає оздоблювальна обробка торцевих поверхонь зубів зубчастих коліс. Багато коліс повинні переміщатися уздовж валів, на яких вони розміщені, для того щоб зчіплюватися з іншими колесами (наприклад, у коробках швидкостей). Такі зчеплення можливі, якщо торцеві поверхні мають специфічну форму – закруглення, завдяки якому полегшується введення зубів западини парного колеса. Удари при перемиканнях коліс усуваються, а зуби не піддаються поломкам. Використовують зуборізні верстати (рис. 8.20) для зняття задирок і одержання фасок методом огинання (наприклад, на шліцьових валах).

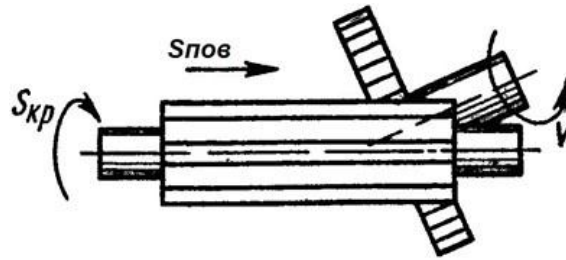


Рисунок 8.20 – Зняття задирок на зубофрезерному верстаті

Поряд з лезовим інструментом для зняття фасок застосовують абразивний, форму такого інструмента забезпечують відповідно до профілю фасок, що знімають. Їх одержують на зовнішніх або внутрішніх поверхнях. Для обробки зубчастих поверхонь методом огинання застосовують абразивний зубчастий інструмент, що має форму зубчастих коліс або черв'яків. При цьому забезпечують строго погоджені рухи заготовки й інструмента. Продуктивність обробки зростає при використанні в якості інструменту нескінченної абразивної стрічки.

Використання еластичних абразивних інструментів дозволяє деякою мірою обгинати оброблювану поверхню й повніше видаляти похибки попередньої обробки. Еластичні інструменти виготовляють із фетру, повсті, текстилю, на які приклеюють абразивні зерна або порошки. Спеціальні еластичні інструменти роблять із текстилю, гладкого або гофрованого паперу, дерева, покритого шкірою, або складальними шкіряними пластинками.

Робочі поверхні зуб'їв незагартованих коліс обробляють на зубошевінгувальних верстатах багатолезовим різальним інструментом – *шевером* (рис. 8.21). Дуже часто використовується дисковий шевер.

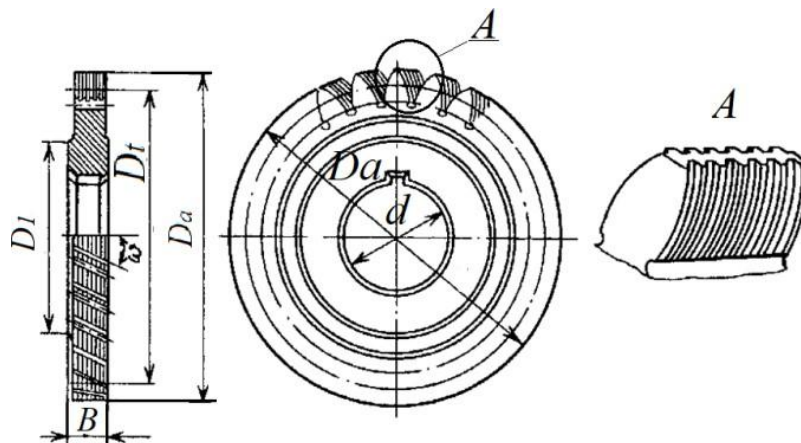


Рисунок 8.21 – Приклад конструкції шевера [33]

Шевер 1 і оброблюване колесо 2 вводять у зачеплення при обов'язковому схрещуванні їхніх осей під кутом  $\varphi = 10\text{--}20^\circ$ . Рух подачі  $S$  отримує оброблюване колесо (рис. 8.22).

Шевінгування виконується при рясному охолодженні і дозволяє одержати 7–6 ступінь точності зубчастих коліс та  $Ra = 0,63–0,16$  мкм.

Термічно оброблені колеса після операції зубонарізання піддаються зубошліфуванню. Шліфування профільними кругами ведеться за методом копіювання або обкатування.

Метод копіювання полягає в тому, що використовують дисковий шліфувальний круг 1 з профілем, що відповідає профілю западин оброблюваного колеса (рис. 8.23, а).

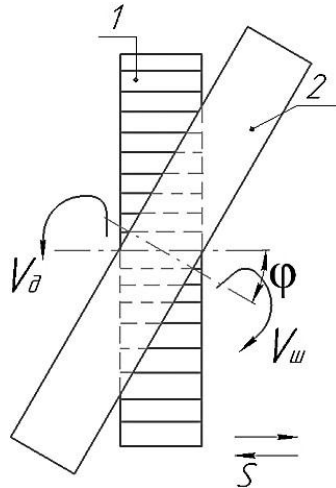
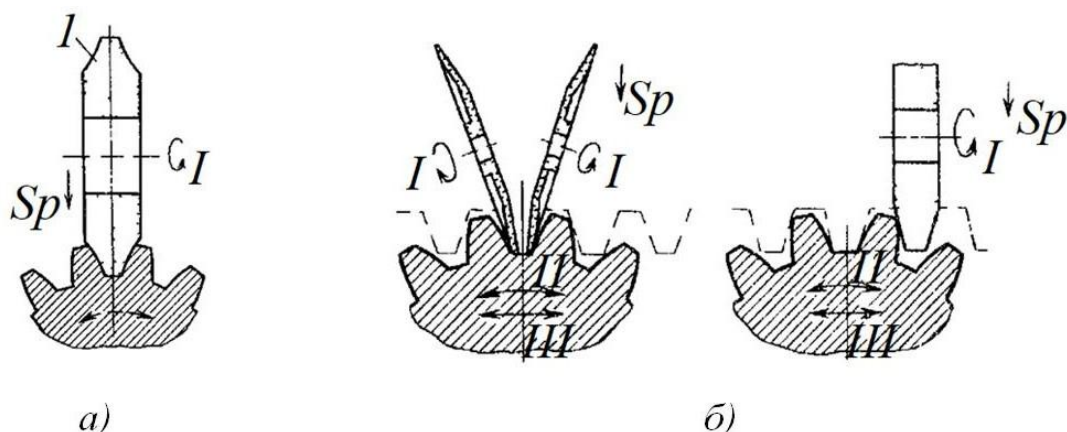


Рисунок 8.22 – Схема шевінгування

Круг отримує головний обертальний рух I, зворотно-поступальний рух поздовжньої подачі і переривчастий рух радіальної подачі  $Sp$ . Після завершення обробки чергової западини колесо отримує ділильний рух. Шліфувальний круг періодично правиться за допомогою спеціального копіювального пристрою. Метод забезпечує 6–7 ступені точності зубчастих коліс.



а – метод копіювання; б – метод обкатування

Рисунок 8.23 – Схеми шліфування [24]

В основі зубшліфування за *методом обкатування* покладене зачеплення оброблюваного колеса з зубчастою рейкою. Найбільш розповсюдженою є схема, при якій торцеві поверхні шліфувальних кругів (двох тарілчастих або одного конічного) описують у відносному русі бічні сторони зуб'їв уявлюваної рейки, а заготовка відтворює качання зубчастого колеса по рейці без прослизання (рис. 8.23, б). Круги отримують головний обертальний рух I і зворотно-поступальний рух (вздовж зуба колеса).

Заготовка обертається навколо своєї осі (рух II) і одночасно прямолінійно переміщується (рух III). Поступальний рух заготовки погоджений з її обертанням так, що заготовка нібито котиться по уявлюваній рейці. При обкатувальному русі стола в одному напрямку шліфується одна бічна поверхня зуба, потім напрям обкатувального руху змінюється і шліфується друга бокова поверхня тієї ж западини. Після обробки однієї западини колесо повертається на один зуб (відбувається рух ділення). За методом обкатування шліфують зуб'я внутрішнього зачеплення, косозубі і конічні колеса. Одержують 4–6 ступені точності.

Найбільш точні колеса проходять операцію *зубопритирання*, під час якої притир (чавунне колесо високої точності) обкочується з оброблюваним колесом у присутності між зуб'ями дрібнозернистого абразиву з олією. Відносні рухи при зубопритиранні аналогічні рухам при шевінгуванні.

*Шліфування шліців* виконується у випадку наявності термічної обробки у вигляді поліпшення або гартування. Шліци необхідно шліфувати по поверхнях западини (т. е. по внутрішньому діаметру) і бічних сторонах шліців. Найбільш продуктивний спосіб шліфування фасонним кругом (рис. 8.24, а), але при цьому шліфувальний круг зношується нерівномірно через неоднакову товщину шару, що знімається у бічних сторін і западини валу, тому необхідна правка круга.

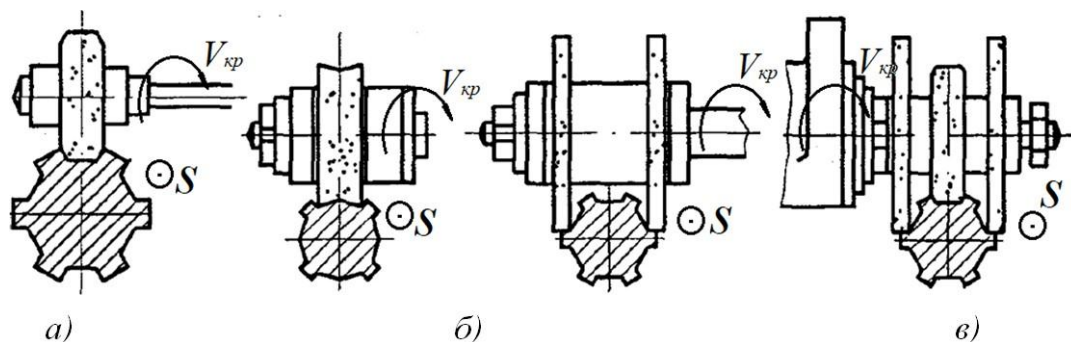
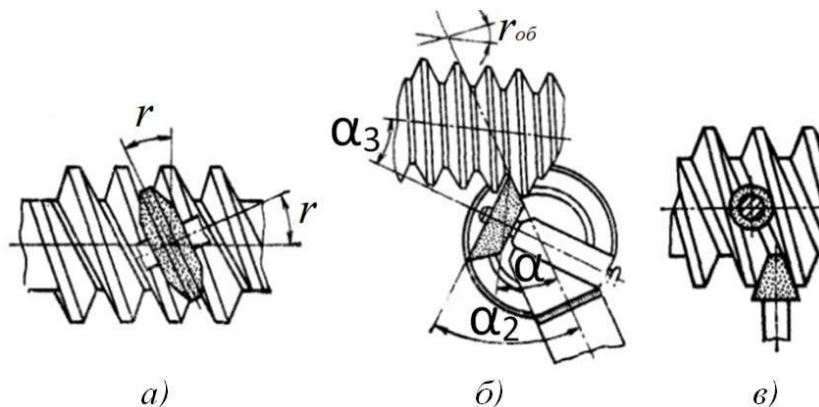


Рисунок 8.24 – Схеми шліфування шліців [24]

Шліфувати шліци можна в дві окремі операції (рис. 8.24, б); в першій шліфують тільки западини (по внутрішньому діаметру), а в другій – бічні сторони шліців. Для зменшення зносу шліфувального круга після кожного ходу столу вал повертається і, таким чином, шліфувальний круг обробляє западини поступово, одну за одною.

Для об'єднання двох операцій шліфування в одну застосовуються верстати, на яких шліди шліфуються одночасно трьома колами: один шліфує западину, а два інших – бічні поверхні шліців (рис. 8.24, в).

Шліфування черв'яків здійснюють дисковим конусним (рис. 8.25) або тарілчастим кругом з припуском 0,1–0,2 мм на сторону в залежності від модуля черв'яка. Шліфування черв'яків з малим модулем виконують на різьбошліфувальному верстаті або на токарному, але зі спеціальним пристроєм (можливо використовувати для шліфування великих модулів). Евольвентні черв'яки шліфують плоскою стороною тарілчастого шліфувального круга.



*а – схема шліфування дисковим кругом;  
б – схема шліфування чашковим кругом;  
в – схема шліфування пальцевим кругом  
Рисунок 8.25 – Схеми шліфування черв'яків*

У великосерійному і масовому виробництві шліфування профілю витків черв'яка з великий модулем (3 і більше) здійснюється на спеціальному черв'ячно-шліфувальному верстаті конічним дисковим кругом. Таким кругом можна отримати різні профілі черв'яка шляхом його переміщення в горизонтальній площині. Шліфування проводиться при трьох рухах: обертання круга, повільному обертанні черв'яка і поступальному переміщенні круга на величину одного кроку (кроку для багатозаходних черв'яків) за один оборот виробу.

Для обробки витків черв'яків відповідальних передач застосовують притирання їх чавунними або фібровими притирами, що мають форму черв'ячного колеса. Як абразивний матеріал застосовують мікропорошки змішані з маслом, а для отримання високої чистоти поверхні – полірувальні пасти.

Опоряджувальною операцією для зуб'їв черв'ячних колес є зубошевінгування, що дозволяє отримати 6 ступінь точності та більше. Шевінгування виконується двома способами: радіальним рухом подачі при безпроміжному зачепленні та при окружному русі подачі.

## Питання для контролю

1. Поясніть суть нарізування зубчастих коліс методом копіювання. Охарактеризуйте схеми обробки дисковою та пальцевою модульними фрезами.
2. Охарактеризуйте схеми обробки зубчастих коліс методом копіювання з використанням кругової протяжки і зубодовбальної головки.
3. Поясніть суть обробки зубчастих коліс методом обкатки. Охарактеризуйте обробку черв'ячними модульними фрезами.
4. Охарактеризуйте схеми обробки зубчастих коліс довбляком. Назвіть типи довбляків.
5. Охарактеризуйте схеми нарізування конічних зубчастих коліс з прямими і круговими зубом.
6. Порівняйте метод зуботочіння з методом зубофрезерування та зубодовбання.
7. Назвіть основні види черв'яків та методи їх обробки.
8. Поясніть методи нарізання шліців.
9. Поясніть суть методу накочування зубчатих та шліцьових поверхонь.
10. Який метод використовують для опоряджувальної обробки зуб'їв незагартованих колес?
11. Який метод використовують для опоряджувальної обробки зуб'їв загартованих колес?
12. Охарактеризуйте способи опоряджувальної обробки шліців.
13. Охарактеризуйте способи опоряджувальної обробки черв'ячних поверхонь.

## 9 ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ Й ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ

У машинобудуванні часто виникають технологічні проблеми, пов'язані з обробкою матеріалів і деталей, форму й стан поверхневого шару яких важко одержати механічними методами. До таких проблем ставиться обробка досить міцних, дуже грузлих, крихких і неметалічних матеріалів, тонкостінних нежорстких деталей, пазів і отворів, що мають розміри в кілька мікрометрів, поверхонь деталей з малою шорсткістю або малою товщиною дефектного поверхневого шару. Схожі проблеми вирішуються застосуванням електрофізичних і електрохімічних (ЕФЕХ) методів обробки, умовна класифікація яких дана на рис. 9.1. Для здійснення розмірної обробки заготовок ЕФЕХ методами використовують електричний, хімічний, звуковий, світловий, променеву й інші види енергії.



*Рисунок 9.1 – Класифікація електрофізичних і електрохімічних методів обробки*

ЕФЕХ методи обробки успішно доповнюють обробку різанням, а в окремих випадках мають переваги перед нею. При ЕФЕХ методах обробки силові навантаження або відсутні, або настільки малі, що практично не

впливають на сумарну погрішність точності обробки. Методи дозволяють не тільки змінювати форму оброблюваної поверхні заготовки, але й впливати на стан поверхневого шару. Так, наприклад, оброблена поверхня не зміцнюється, дефектний шар незначний, виключаються припінання поверхні, отримані при шліфуванні. При цьому підвищуються зносостійкі, корозійні, міцності й інші експлуатаційні характеристики деталей.

Кінематика формоутворення поверхонь деталей ЕФЕХ методами обробки, як правило, проста, що забезпечує точне регулювання процесів і їхню автоматизацію.

ЕФЕХ методи обробки універсальні й безперервні, дозволяють виконувати одночасне формоутворення всіх оброблюваних поверхонь. На оброблюваність заготовок ЕФЕХ методами (за винятком ультразвукового й деяких інших) твердість і в'язкість оброблюваного матеріалу практично не впливають. У промисловості широко застосовують комбіновані методи обробки, які дають значно більший ефект, чим кожний з методів окремо.

## **9.1 Електроерозійні методи обробки**

Електроерозійні методи обробки засновані на законах ерозії (руйнування) електродів зі струмопровідних матеріалів при пропущенні між ними імпульсного електричного струму. До цих методів відносять електроіскрову, електроімпульсну, височастотні електроіскрову й електроімпульсну й електроконтактну обробку.

При різниці потенціалів на електродах відбувається іонізація міжелектродного проміжку. Коли напруга досягне певного значення, у середовищі між електродами утвориться канал провідності, по якому спрямовується електрична енергія у вигляді імпульсного іскрового або дугового розряду. При високій концентрації енергії, що виникає за  $10^{-5}$ – $10^{-8}$  сек., миттєва щільність струму в каналі провідності досягає 8000–10000 А/мм<sup>2</sup>, у результаті чого температура на поверхні оброблюваної заготовки-електрода зростає до 10000–12000°C. При цій температурі миттєво оплавляється й випаровується елементарний обсяг металу й на оброблюваній поверхні заготовки утвориться лунка. Вилучений метал застигає в діелектричній рідині у вигляді гранул діаметром 0,01–0,005 мм.

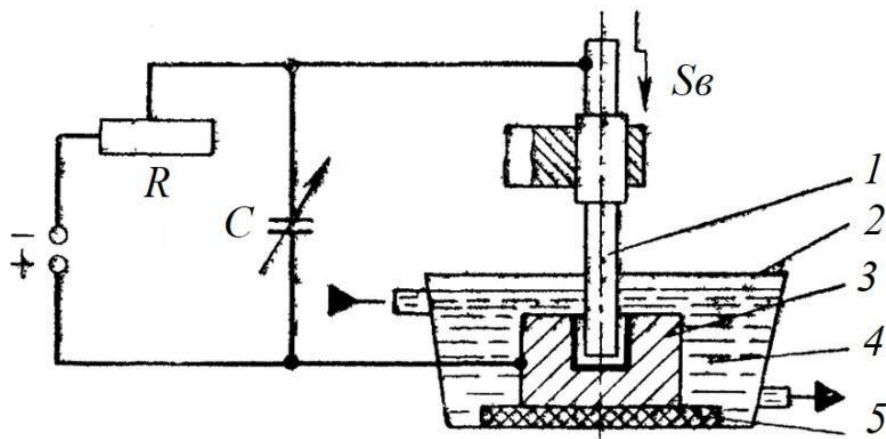
Наступний імпульс струму пробиває міжелектродний проміжок там, де відстань між електродами найменше. При безперервному підведенні до електродів імпульсного струму процес ерозії триває доти, поки не буде вилучений весь метал, що перебуває між електродами на відстані, при якому можливий електричний пробій (0,01–0,05 мм) при заданій напрузі. Для продовження процесу необхідно зблизити електроди до зазначеної відстані. Електроди зближаються автоматично за допомогою систем, що стежать.

Крім теплового впливу при електроерозійній обробці на матеріал заготовки-електрода діють електродинамічні й електростатичні сили, а також

тиск рідини внаслідок кавітації, що супроводжує процеси імпульсних розрядів. Сукупність теплових і силових факторів приводить до руйнування металу й формоутворенню поверхні оброблюваної заготовки-електрода.

Електричний розряд між двома електродами відбувається в газовому середовищі або при заповненні міжелектродного проміжку діелектричною рідиною (гасом, мінеральним маслом). У рідкому середовищі процес електроерозії відбувається інтенсивніше.

При електроіскровій обробці (рис. 9.2) використовують імпульсні іскрові розряди між електродами, один із яких оброблювана заготовка (анод), а іншої – інструмент (катод).



1 – електрод-інструмент; 2 – ванна; 3 – заготовка-електрод;  
4 – діелектрична рідина;  
5 – ізолятор канал провідності, через який здійснюється іскровий розряд енергії, накопиченої конденсатором  
(тривалість імпульсу становить 20–200 мкс)  
Рисунок 9.2 – Схема електроіскрового верстата [7]

При збільшенні ємності конденсатора накоплений в ньому запас енергії збільшується й, отже, підвищується продуктивність процесу. Залежно від кількості енергії, що втрачається в імпульсі, режим обробки ділять на твердий або середній для попередньої обробки й м'який або особливо м'який – для оздоблювальної обробки. М'який режим обробки дозволяє одержувати розміри з точністю до 0,002 мм при шорсткості поверхні 0,63–0,16 мкм.

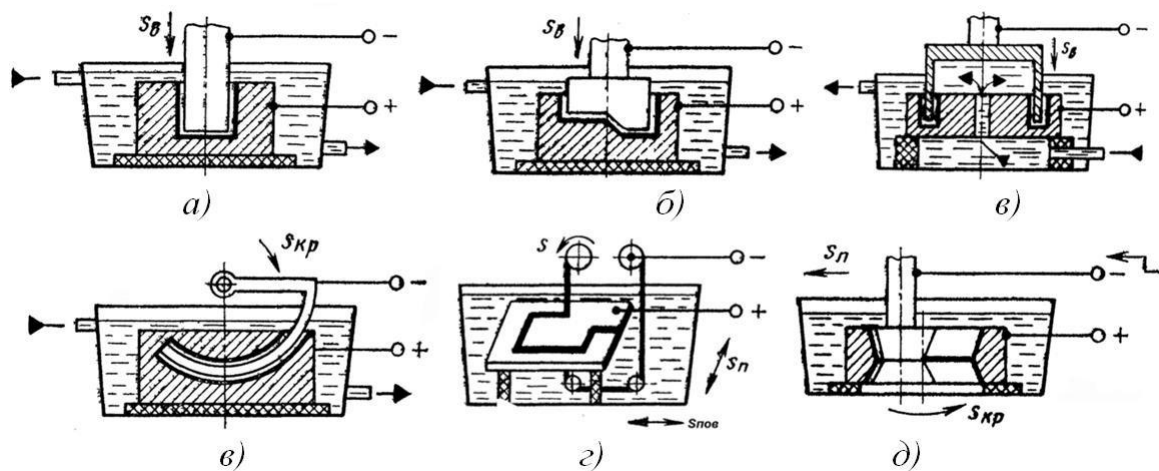
Обробку ведуть у ваннах, заповнених діелектричною рідиною. Рідина виключає нагрівання електродів (інструмента й заготовки), охолоджує продукти руйнування, зменшує величину бічних розрядів між інструментом і заготовкою, що підвищує точність обробки.

Для забезпечення безперервності процесу обробки необхідно, щоб зазор між інструментом-електродом і заготовкою був постійним. Для цього електроіскрові верстати оснащують системою, що стежить, і механізмом автоматичної подачі інструмента. Інструменти-електроди виготовляють із мідно-графітових і інших матеріалів.

В ерозійних верстатах використовують різні генератори імпульсів електричних розрядів:  $RC$  (резистор-ємність);  $RLC$  ( $L$  – індуктивність);  $LC$ ; лампові генератори. У промисловості застосовують широкодіапазонні транзисторні генератори імпульсів. Ці генератори споживають потужність 4–18 кВт при силі струму 16–125 А. Продуктивність обробки становить 75–1900 мм<sup>3</sup>/хв при шорсткості обробленої поверхні 4–0,2 мкм.

Електроіскровим методом обробляють практично всі струмопровідні матеріали, але ефект ерозії при тих самих параметрах електричних імпульсів різний. Залежність інтенсивності ерозії від властивостей металів називають *електроерозійною оброблюваністю*. Якщо прийняти електроерозійну оброблюваність сталі за одиницю, то для інших металів її можна представити в наступних відносних одиницях: тверді сплави – 0,5; титан – 0,6; нікель – 0,8; мідь – 1,1; латунь – 1,6; алюміній – 4; магній – 6.

Електроіскровим методом доцільно обробляти тверді сплави, важко-оброблювані метали й сплави, тантал, молібден і інші матеріали. Електроіскровим методом (рис. 9.3) одержують наскрізні отвори будь-якої форми поперечного переріза (*а*), глухі отвори й порожнини (*б*), фасонні отвори й порожнини по способу трепанації (*в*), отвори із криволінійними осями (*г*); вирізують заготовки з аркуша при використанні дротового або стрічкового інструмента-електрода (*д*), виконують площинне, кругле й внутрішнє (*е*) шліфування, розрізають заготовки, таврують деталі.



*а – прошивання отвору; б – обробка фасонної порожнини штампа;  
в – прошивання отвору за способом трепанації;  
г – прошивання отвору із криволінійною віссю;  
д – вирізання заготовки з аркуша;  
е – шліфування внутрішньої поверхні філеру*  
Рисунок – 9.3 Схеми електроіскрової обробки [9]

Електроіскрову обробку застосовують для виготовлення штампів, прес-форм, філер, різального інструменту, деталей паливної апаратури, двигунів внутрішнього згорання, сіток і сит.

Електроіскрову обробку застосовують для зміцнення поверхневого шару металів деталей машин, прес-форм, різального інструменту. Зміцнення полягає в тому, що на поверхню виробів наносять тонкий шар якого-небудь металу, сплаву або композиційного матеріалу. Подібні покриття підвищують твердість, зносостійкість, жаростійкість, ерозійну стійкість і інші характеристики виробів.

На обмежених ділянках особливо навантаженої поверхні деталі можна проводити складні мікрометалургійні процеси.

При *електроімпульсній обробці* використовують електричні імпульси великої тривалості (500–10000 мкс), у результаті чого відбувається дуговий розряд. Більші потужності імпульсів, одержуваних від електронних або машинних генераторів, забезпечують високу продуктивність процесу обробки. Застосування генераторів і графітових електродів, а також обробки при зворотній полярності дозволило зменшити руйнування електродів.

Електроімпульсну обробку доцільно, застосовувати при попередній обробці штампів, турбінних лопаток, фасонних отворів у деталях з жароміцних сплавів. Точність розмірів і шорсткість оброблених поверхонь залежать від режиму обробки. При електроімпульсній обробці знімання металу в одиницю часу в 8–10 разів більше, ніж при електроіскровій обробці.

*Високочастотну електроіскрову обробку* застосовують для підвищення точності й зменшення шорсткості поверхонь оброблених електроерозійним методом. Метод заснований на використанні електричних імпульсів малої потужності при частоті 100–150 кГц.

Продуктивність методу в 30–50 разів вище, ніж при електроіскровому методі при значному збільшенні точності й зменшенні шорсткості. Зношування інструмента незначне.

Високочастотний електроіскровий метод застосовують при обробці деталей із твердих сплавів, тому що він виключає структурні зміни й утворення мікротріщин у поверхневому шарі матеріалу оброблюваної заготовки.

*Електроконтактна обробка* заснована на локальному нагріванні заготовки в місці контакту з електродом-інструментом і видаленні розм'якшеного або навіть розплавленого металу із зони обробки механічним способом: відносним рухом заготовки й інструмента. Джерелом теплоти в зоні обробки служать імпульсні дугові розряди. Електроконтактну обробку (ЕКО) оплавленням рекомендують для обробки великих деталей з вуглецевих і легированих сталей, чавуну, кольорових сплавів, тугоплавких і спеціальних сплавів.

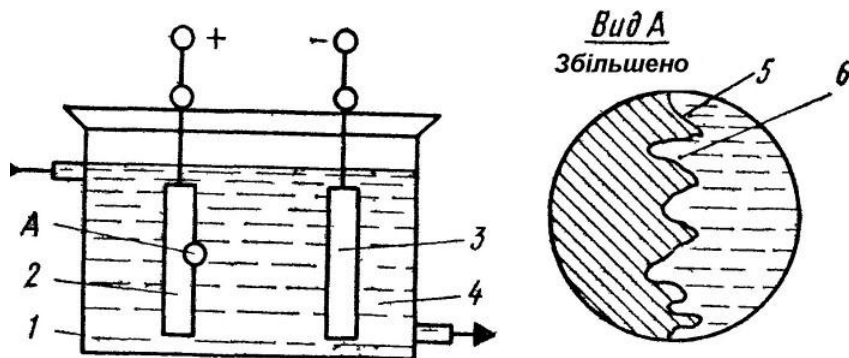
ЕКО застосовують при зачищенні виливків від заток, відрізки ливникових систем і прибутків, зачищенню прокату зі спеціальних сплавів, чорновому круглому зовнішнім, внутрішнім і плоскому шліфуванню корпусних деталей машин з важкооброблюваних сплавів, шліфуванню з одночасним поверхневим загартуванням деталей з вуглецевих сталей. Метод обробки не забезпечує високої точності і якості поверхні, але дає високу продуктивність знімання металу.

## 9.2 Електрохімічні методи обробки

Електрохімічні методи обробки (ЕХО) засновані на законах анодного розчинення при електролізі. При проходженні постійного електричного струму через електроліт на поверхні заготовки, включеної в електричний ланцюг і яка є анодом, відбуваються хімічні реакції й поверхневий шар металу перетворюється в хімічну сполуку. Продукти електролізу переходять у розчин або віддаляються механічним способом.

Продуктивність процесів ЕХО залежить в основному від електрохімічних властивостей електроліту, оброблюваного струмопровідного матеріалу й щільності струму.

*Електрохімічне полірування* (рис. 9.4) виконують у ванні з електролітом. Залежно від оброблюваного матеріалу електролітом служать розчини кислот або лугів. Оброблювану заготовку підключають до анода; електродом-катодом служить металева пластина зі свинцю, міді, сталі. Для більшої інтенсивності процесу електроліт підігрівають до температури 40–80°C.



1 – ванна; 2 – оброблювана заготовка; 3 – пластина-електрод;  
4 – електроліт; 5 – мікрорівнина; 6 – продукти анодного розчинення

Рисунок 9.4 – Схема електрохімічного полірування [7]

При подачі напруги на електроди починається процес розчинення матеріалу заготовки-аноду. Розчинення відбувається головним чином на виступах мікронерівностей поверхні внаслідок більше високої щільності струму на їх вершинах. Крім того, западини між мікрорівнінями заповнюються продуктами розчинення: оксидами або солями, що мають знижену провідність. У результаті вибірного розчинення, тобто більшої швидкості розчинення виступів, мікронерівності згладжуються й оброблювана поверхня здобуває металевий блиск. Електрополірування поліпшує електрофізичні характеристики деталей, тому що зменшується глибина мікротріщин, поверхневий шар оброблюваних поверхонь не деформується, виключаються зміцнення й термічні зміни структури, підвищується корозійна стійкість.

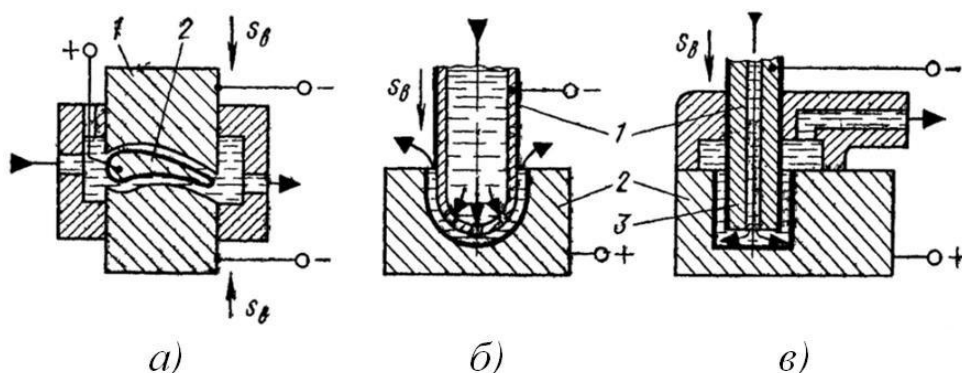
Електрополірування дозволяє одночасно обробляти партію заготовок по всій їхній поверхні. Цим методом одержують поверхні деталей під гальванічні покриття, доводять робочі поверхні різального інструменту, виготовляють тонкі стрічки й фольгу, очищають і декоративно обробляють деталі.

Електрохімічну розмірну обробку виконують у струмені електроліту, який перекачують під тиском через міжелектродний проміжок, утворений оброблюваною заготовкою-анодом і інструментом-катодом.

Струмінь електроліту, який безупинно подається в міжелектродний проміжок, розчиняє солі, що утворюються на заготовці-аноді, і видаляє їх із зони обробки. При цьому способом одночасно обробляється вся поверхня заготовки, що перебуває під активним впливом катода, що забезпечує високу продуктивність процесу. Ділянки заготовки, які не потребують обробки, ізолюють. Інструменту надають форму, зворотну формі оброблюваної поверхні. Формоутворення поверхні відбувається по методу відбиття (копіювання), при якому відсутнє зношування інструмента, тому що таким є струмінь електроліту.

Імпульсна робоча напруга сприяє підвищенню точності обробленої поверхні заготовки. Точність обробки значно підвищується при зменшенні робочого зазору між заготовкою й інструментом. Для контролю зазору у верстатах ЕХО використовують високочутливі елементи, що вбудовують у систему, що стежить. Спосіб рекомендують для обробки заготовок із високоміцних сплавів, карбідних і важкооброблюваних матеріалів. Відсутність тиску інструмента на заготівлю дозволяє обробляти нежорсткі тонкостінні деталі з високою точністю і якістю обробленої поверхні.

Для розмірної електрохімічної обробки використовують нейтральні електроліти. Найбільше широко застосовують розчини солей  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$  і  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Схеми обробки (див. рис. 9.5) заготовок у струмені проточного електроліту: турбінної лопатки (а), штампа (б) і схема прошивання наскрізного циліндричного отвору (в).



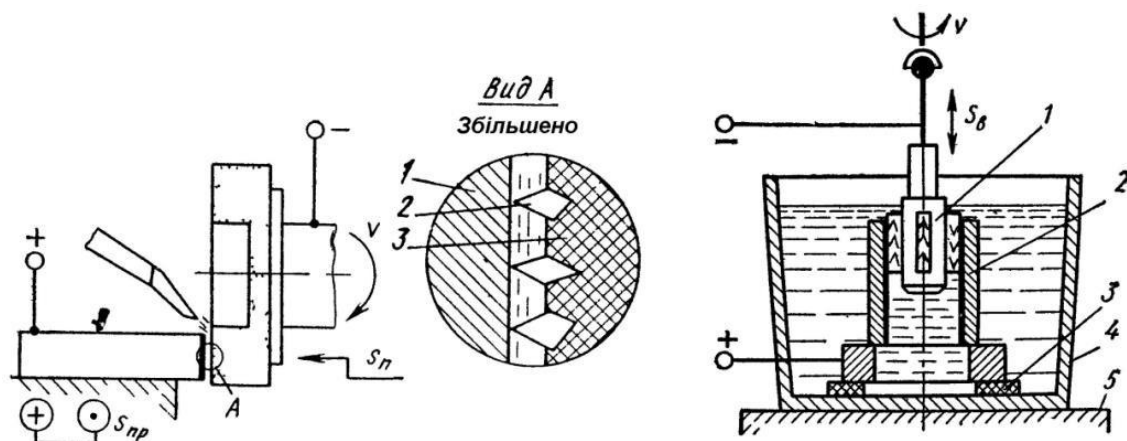
1 – інструмент-електрод; 2 – заготовка; 3 – ізолятор

Рисунок 9.5 – Схема електрохімічної розмірної обробки [34]

При електроабразивній і електроалмазній обробці інструментом-електродом служить шліфувальний круг, виконаний з абразивного матеріалу на електропровідному зв'язуванні (бакелітове зв'язування із графітовим наповнювачем). Між анодом-заготовкою й катод-шліфувальним кругом є міжелектродний зазор, утворений зернами, що виступають зі зв'язування. У зазор подається електроліт. Продукти анодного розчинення матеріалу заготовки видаляються абразивними зернами; шліфувальний круг має обертовий рух, а заготовки – руху подачі, тобто руху, що відповідають процесу механічного шліфування.

Введення в зону різання ультразвукових коливань підвищує продуктивність електроабразивного й електроалмазного шліфування в 2–2,5 рази при значному поліпшенні якості обробленої поверхні. Електроабразивні й електроалмазні методи застосовують для оздоблювальної обробки заготовок із важкооброблюваних матеріалів, а також нежорстких заготовок, тому що сили різання тут незначні. При цих методах обробки припіки оброблюваної поверхні практично повністю виключені.

При електроабразивній обробці (див. рис. 9.6) 85–90 % припуску віддається за рахунок анодного розчинення й 15–10 % за рахунок механічного впливу. При електроалмазній обробці ~75 % припуску віддається за рахунок анодного розчинення й ~25 % – за рахунок механічного впливу алмазних зерен.



1 – заготовка; 2 – абразивні зерна; 3 – зв'язування шліфувального круга

Рисунок 9.6 – Схема електроабразивного шліфування [10]

Оздоблювальну обробку поверхонь заготовок можна проводити *електрохімічним хонінгуванням*. Кінематика процесу відповідає хонінгуванню абразивними головками. Відмінність полягає в тому, що заготівлю встановлюють у ванні, заповненої електролітом, і підключають до анода. Хонінгувальну головку підключають до катода. Замість абразивних брусків у головці встановлені дерев'яні або пластмасові. Продукти анодного розчинення віддаляються з оброблюваної поверхні брусками при обертовому й зворотно-поступальному рухах хонінгувальної головки. Щоб продукти анодного розчинення віддалялися більш активно, в електроліт додають

абразивні матеріали. Після того як видалення припуску з оброблюваної поверхні закінчено, здійснюють процес «виходжування» поверхні при виключеному електричному струмі для повного видалення анодної плівки з обробленої поверхні. Електрохімічне хонінгування забезпечує більше низьку шорсткість поверхні, ніж хонінгування абразивними брусками. Поверхня одержує дзеркальний блиск. Продуктивність електрохімічного хонінгування в 4–5 разів вище продуктивності механічного хонінгування.

### 9.3 Анодно-механічна обробка

Анодно-механічна обробка заснована на сполученні електротермічних і електрохемічних процесів і займає проміжне місце між електроерозійними й електрохімічними методами. Оброблювану заготовку підключають до анода, а інструмент – до катода. Залежно від характеру обробки й виду оброблюваної поверхні як інструмент використовують металеві диски, циліндри, стрічки, дріт. Обробку ведуть у середовищі електроліту, яким найчастіше служить водяний розчин рідкого натрієвого скла. Заготовці й інструменту задають такого ж руху, як при звичайних методах механічної обробки різанням. Електроліт подають у зону обробки через сопло (рис. 9.7).

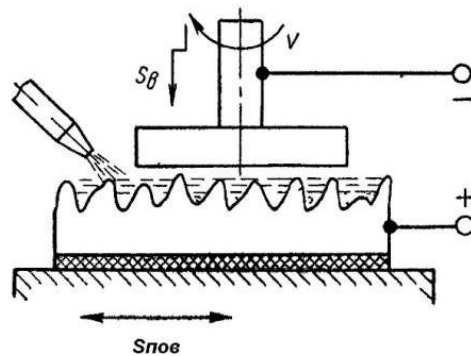


Рисунок 9.7 – Схема анодно-механічної обробки плоскої поверхні [8]

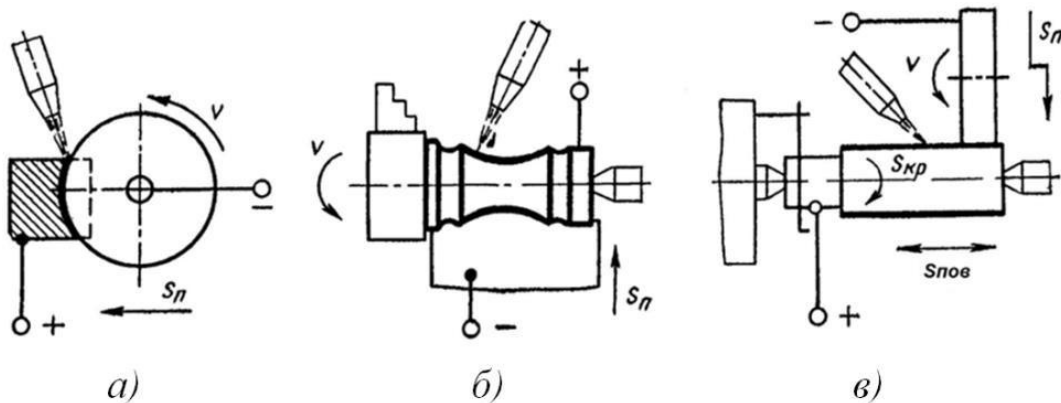


Рисунок 9.8 – Приклади анодно-механічної обробки [9]

При пропущенні через розчин електроліту постійного електричного струму відбувається процес анодного розчинення, як при електрохімічній обробці. При зіткненні інструмента-катода з мікронерівностями оброблюваної поверхні заготовки-анода відбувається процес електроерозії, властивий електроіскровій обробці. Крім того, при пропущенні електричного струму метал заготовки в крапці контакту з інструментом розігрівається так само, як при електроконтактній обробці, і матеріал заготовки розм'якшується. Продукти електроерозії й анодного розчинення віддаляються із зони обробки при відносних рухах інструмента й заготовки.

Анодно-механічним способом обробляють заготовки із всіх струмопровідних матеріалів, високоміцних і важкооброблюваних металів і сплавів, грузлих матеріалів.

У верстатах для анодно-механічної обробки використовують системи ЧПК. Від програми здійснюється керування швидкостями рухів заготовки й інструмента, підтримується сталість зазору в робочому просторі між ними, задаються параметри електричного режиму при переході із чорнової обробки на чистову.

Анодно-механічним методом (див. рис. 9.8) розрізають заготовки на частині (а), прорізають пази й щілини, обточують поверхні тіл обертання (б), шліфують плоскі поверхні й поверхні, що мають форму тіл обертання (в), полірують поверхні, заточують різальний інструмент.

## 9.4 Хімічні методи обробки

Сутність хімічної обробки полягає в спрямованому руйнуванні металів і сплавів травленням їх у розчинах кислот і лугів.

Перед травленням оброблювані поверхні заготовки ретельно очищають. Поверхні, які не обробляють, захищають хімічно стійкими покриттями (офарблюють лаками й фарбами, застосовують хімічні й гальванічні покриття, світлочутливі емульсії).

Підготовлені заготовки опускають у ванну з розчином кислоти або лугу залежно від матеріалу, з якого вони виготовлені. Незахищені металеві поверхні заготовок піддаються травленню. Щоб швидкість травлення була постійної, концентрацію розчину підтримують незмінної, а для більшої інтенсивності процесу травлення розчин підігрівають до температури 40–80°C. Після обробки заготовки промивають, нейтралізують, ще раз промивають гарячим содовим розчином, сушать і знімають захисні покриття.

Хімічним травленням одержують місцеві стовщення на нежорстких заготовках, ребра жорсткості, звивисті канавки й щілини, «вафельні» поверхні, обробляють поверхні, важкодоступні для різального інструменту.

Хіміко-механічним методом обробляють заготовки із твердих сплавів. Заготовки приклеюють спеціальними клеями до пластин і опускають у ванну, яка заповнена суспензією, що складається з розчину сірчаної кислоти

міді й абразивного порошку. У результаті обмінної хімічної реакції на поверхні заготовок виділяється пухка металева мідь, а кобальтове зв'язування твердого сплаву переходить у розчин у вигляді солі, звільняючи тим самим зерна карбідів титана, вольфраму й танталу.

Мідь разом з карбідами шліфується присутнім у розчині абразивним порошком. Як інструмент використовують чавунні диски або пластини. Карбіди віддаляються в результаті відносних рухів інструмента й заготовок.

Хіміко-механічну обробку застосовують для розрізування й шліфування пластинок із твердого сплаву, доведення твердосплавного інструмента.

## 9.5 Ультразвукова обробка

Ультразвукова обробка (УЗО) матеріалів – різновид механічної обробки – заснована на руйнуванні оброблюваного матеріалу абразивними зернами під ударами інструмента, що коливається з ультразвуковою частотою. Джерелом енергії служать ультразвукові генератори струму із частотою 16–30 кГц. Інструмент одержує коливання від ультразвукового перетворювача із сердечником з магнітострикційного матеріалу. Ефектом магнітострикції володіють нікель, залізонікелеві сплави (пермендюр), залізоалюмінієві сплави (альфер), феррити.

В осерді з магнітострикційного матеріалу при наявності електромагнітного поля домени розвертаються в напрямку магнітних силових ліній, що викликає зміну розміру поперечного переріза осердя і його довжини. У змінному магнітному полі частота зміни довжини осердя дорівнює частоті коливань струму. При збігу частоти коливань струму із власною частотою коливань осердя настає резонанс і амплітуда коливань торця осердя досягає 2–10 мкм. Для збільшення амплітуди коливання на осерді закріплюють резонансний хвилевід змінного поперечного перерізу, що збільшує амплітуду коливань до 10–60 мкм. На хвилеводі закріплюють робочий інструмент – пуансон. Під пуансоном-інструментом установлюють заготовку й у зону обробки поливом або під тиском подають абразивну суспензію, що складається з води й абразивного матеріалу. З абразивних матеріалів використовують карбіди бору або кремнію й електрокорунд. Найбільшу продуктивність одержують при використанні карбідів бору. Інструмент підтискають до заготовки силою 1–60 Н.

Процес обробки полягає в тому, що інструмент, що коливається з ультразвуковою частотою, ударяє по зернах абразиву, що лежить на оброблюваній поверхні, які сколюють частки матеріалу заготовки (див. рис. 9.8). Заготовку 3 поміщають у ванну 1 під інструментом-пуансоном 4. Інструмент установлений на хвилеводі 5, який закріплений у магнітострикційному осерді 7, змонтованому в кожусі 6, крізь який прокочують воду для охолодження осердя. Для порушення коливань осердя магнітострикційного перетворювача служить генератор 8 ультразвукової частоти й джерела постійного струму 9.

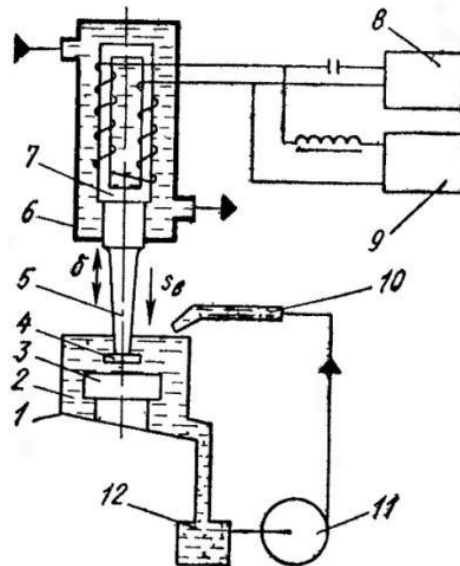
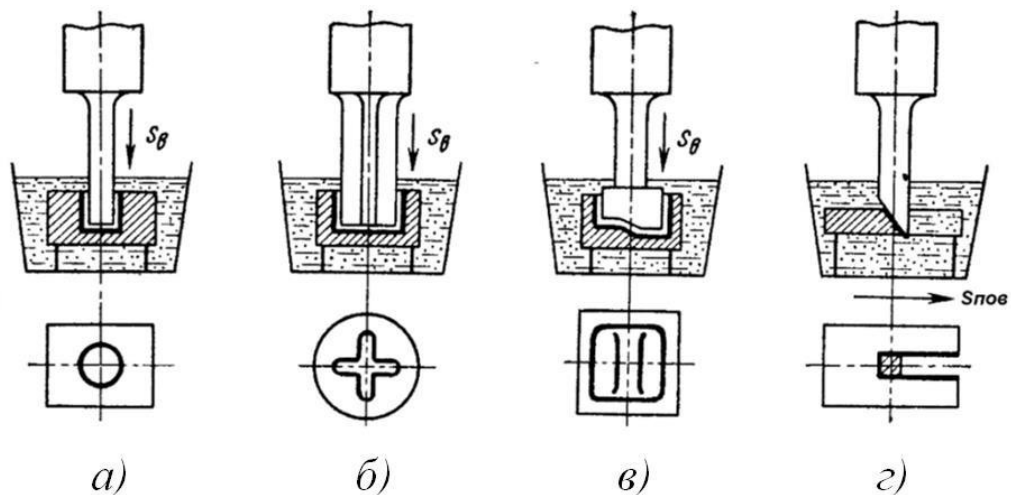


Рисунок 9.9 – Схема ультразвукової обробки [7]

Абразивну суспензію 2 подають під тиском по патрубку 10 насосом 11, що забирає суспензію з резервуара 12. Прокочування суспензії насосом виключає осідання абразивного порошку на дні ванни й забезпечує подачу в зону обробки абразивного матеріалу.

Кавітаційні явища в рідині сприяють інтенсивному перемішуванню абразивних зерен під інструментом, заміні зношених зерен новими, а також руйнуванню оброблюваного матеріалу.

Ультразвуковим методом обробляють крихкі тверді матеріали: скло, керамікові, ферити, кремній, кварц, дорогоцінні мінерали, у тому числі алмази, тверді сплави, титанові сплави, вольфрам.



а – прошивання циліндричного й фасонного отворів;

в – обробка внутрішньої поверхні; з – розрізування

Рисунок 9.10 – Схеми ультразвукової обробки поверхонь заготовок [9]

Ультразвуковим методом обробляють (рис. 9.9) наскрізні й глухі отвори будь-якої форми поперечного перерізу (а, б), фасонні порожнини (б), розрізають заготовки на частині (з), профілюють зовнішні поверхні, гравірують, прошивають отвору із криволінійними осями, нарізають різьбу.

Робочі інструменти для обробки отворів діаметром 0,5–20 мм виконують суцільними; діаметром 20–100 мм – порожніми (обробка по способі трепанації). Пази довбають, а заготовки розрізують ножеподібними пуансонами; внутрішні порожнини обробляють пуансонами, форма торців яких зворотна формі оброблюваної поверхні. Інструменти виготовляють із загартованих (*HRC* 35–40), але грузлих матеріалів.

Точність розмірів і шорсткість поверхонь, оброблених ультразвуковим методом, залежать від зернистості використовуваних абразивних матеріалів і відповідають точності й шорсткості поверхонь, оброблених шліфуванням.

## 9.6 Променеві методи обробки

До променевих методів формоутворення поверхонь деталей машин відносять електронно-променеву й світлопроменеву (лазерну) обробку.

Електронно-променева обробка заснована на перетворенні кінетичної енергії спрямованого пучка електронів у теплову. Висока щільність енергії сфальцьованого електронного променя дозволяє обробляти заготовки за рахунок нагрівання, розплавлювання й випару матеріалу з вузької ділянки.

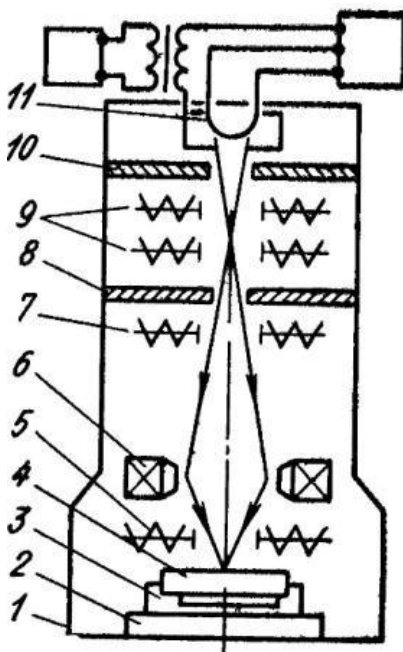


Рисунок 9.11 – Схема електронно-променевої установки [34]

Схема установки для електронно-променевої обробки (електронна гармата) показана на рис. 9.11. У вакуумній камері 1 установки вольфрамовий катод 11, який живиться від джерела струму, забезпечує емісію вільних електронів. Електрони формуються в пучок спеціальним електродом і під дією електричного поля, створюваного високою різницею потенціалів між катодом 11 і анодом 10, прискорюються в осьовому напрямку. Промінь електронів проходить систему юстирування 9, діафрагму 8, коректор зображення 7 і систему магнітних лінз 6, які остаточно формують потік електронів у промінь малого діаметра й фокусують його на поверхні заготовки 4, закріпленої в пристосуванні 3 на столі 2. Промінь по поверхні заготовки переміщається системою, що відхиляє 5, яка керується від системи ПУ. Система ПУ також управляє поздовжніми й поперечними переміщеннями стола, на якому закріплена заготовка, тривалістю імпульсів і інтервалів між ними.

При розмірній обробці заготовок установка працює в імпульсному режимі, що забезпечує локальне нагрівання заготовки. У зоні обробки температура досягає 6000 °С, а на відстані 1 мкм від крайки променю не перевищує 300 °С. Тривалість імпульсів і інтервали між ними підбирають так, щоб за один цикл встиг нагрітися й випаруватися метал тільки під променем. Тривалість імпульсів становить  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  сек., а частота 50–6000 Гц. Діаметр сфокусованого електронного променю – кілька мікрометрів.

Електронно-променевий метод перспективний при обробці отворів діаметром 1 мм–10 мкм, прорізання пазів, розрізання заготовок, виготовленні тонких плівок і сіток з фольги. Обробляють заготовки з важкооброблюваних металів і сплавів, а також з неметалічних матеріалів: рубіна, кераміки, кварцу, напівпровідникових матеріалів.

Електронно-променева обробка має переваги, які обумовлюють доцільність її застосування: створення локальної концентрації високої енергії, широке регулювання й керування тепловими процесами. Вакуумні середовища дозволяють обробляти заготовки з легкоокислювальних активних матеріалів. За допомогою електронного променю можна наносити покриття на поверхні заготовок у вигляді плівок, товщиною від декількох мікрометрів до десятих часток міліметра. Недоліком обробки є те, що вона можлива тільки у вакуумі.

Світлопроменева (лазерна) обробка заснована на тепловому впливі світлового променю високої енергії на поверхню оброблюваної заготовки. Джерелом світлового випромінювання служить лазер – оптично квантовий генератор (ОКГ).

Для механічної обробки використовують твердотілі ОКГ, робочим елементом яких є рубіновий стрижень, що складається з оксидів алюмінію, активованих 0,05 % хрому.

Енергія світлового імпульсу ОКГ звичайно невелика й становить 20–100 Дж, але вона виділяється в мільйонні частки секунди й зосереджує в промені діаметром  $\sim 0,01$  мм. У фокусі діаметр світлового променю становить усього кілька мікрометрів, що забезпечує температуру 6000–

8000 °С. У результаті цього поверхневий шар матеріалу заготовки, що перебуває у фокусі променя, миттєво розплавляється й випаровується.

Лазерну обробку застосовують для прошивання наскрізних і глухих отворів, розрізання заготовок на частини, вирізання заготовок із листових матеріалів, прорізання пазів. Цим методом можна обробляти заготовки з будь-яких матеріалів, включаючи найбільш тверді й міцні. Наприклад, лазерну обробку отворів застосовують при виготовленні діафрагм для електронно-променевої установок, дюз для дозування повітря або газів, деталей паливної апаратури, дизелів, сит. Діафрагми виготовляють із вольфрамової, танталової, молибденової або мідної фольги, товщиною 50 мкм при діаметрі отвору 20–30 мкм. За допомогою лазерного променя можна виконувати контурну обробку за аналогією із фрезеруванням, тобто обробку поверхонь по складному периметру. Переміщенням заготовки щодо світлового променя управляють системи ЧПУ, що дозволяє прорізати в заготовках складні криволінійні пази або вирізати із заготовок деталі складної геометричної форми.

## **9.7 Плазмова обробка**

Сутність обробки полягає в тому, що плазму (повністю іонізований газ), що має температуру 10000–30000°С, направляють на оброблювану поверхню заготовки.

Плазму одержують у плазмотронах. Таким методом обробляють заготовки з будь-яких матеріалів, виконуючи прошивання отворів, вирізку заготовок із листового матеріалу, стругання, загострення. При прошиванні отворів, розрізанні й вирізці заготовок головку встановлюють перпендикулярно до поверхні заготовки, при струганні й загостренні – під кутом 40–60°.

Принципово новим методом виготовлення деталей є плазмове напилювання. У камеру плазмотрона подається порошкоподібний конструкційний матеріал і одночасно інертний газ під високим тиском. Під дією дугового розряду конструкційний матеріал плавиться й переходить у стан плазми. Струмінь плазми стискується в плазмотроні плазмоутворювальним газом. Виходячи із сопла, струмінь плазми направляється на екран. Системи вертикального й горизонтального розгорнень забезпечують переміщення струменя по площі екрана.

Деталі виходять у результаті нарощування мікрочастинок конструкційного матеріалу в певних місцях екрана. Іноді замість екрана використовують тонкостінну заготівлю, на яку направляється плазма, і відбувається нарощування металу до заданої товщини стінок. Спеціальні контрольні пристрої стежать за нарощуванням металу й автоматично відключають систему, коли деталь готова.

### Питання для контролю

1. Поясніть принцип електроерозійних методів обробки.
2. Охарактеризуйте схему та принцип електроіскрової обробки.
3. Охарактеризуйте схему та принцип електроімпульсної обробки.
4. Назвіть область застосування високочастотної електроіскрової обробки.
5. Поясніть принцип електроконтактної обробки.
6. Поясніть принцип електрохімічних методів обробки.
7. Розкрийте суть електрохімічного полірування, електроабразивної та електроалмазної обробки, електрохімічного хонінгування?
8. Поясніть принцип анодно-механічної обробки.
9. Поясніть принцип хімічних методів обробки.
10. Поясніть принцип ультразвукової обробки.
11. Поясніть принцип променевих методів обробки.
12. Поясніть принцип плазмових методів обробки.

## 10 ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

### 10.1 Структура технологічного процесу

З метою забезпечення найбільш раціонального процесу механічної обробки заготовки складається план обробки із зазначенням, які поверхні треба обробити, у якому порядку і якими способами.

Весь технологічний процес поділяється на окремі складові частини: технологічні операції, установи, позиції, переходи, ходи, прийоми.

*Технологічною операцією* називається частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці й охоплює всі дії робітника (чи групи робітників) і верстата по обробці заготовки (однієї чи декількох одночасно).

*Установом* називається частина операції, що виконується при одному закріпленні заготовки (чи декількох одночасно оброблюваних) на верстаті або пристрої, чи складальній одиниці.

*Позицією* називається кожне окреме положення заготовки, яке вона займає відносно верстата або інструмента при незмінному її закріпленні.

Операція поділяється на переходи - технологічні і допоміжні.

*Технологічний перехід* – це закінчена частина технологічної операції, що характеризується постійністю використовуваного інструмента, оброблюваних поверхонь або режиму роботи верстата.

*Допоміжний перехід* – це закінчена частина технологічної операції, яка складається з дій робітника і (або) обладнання, що не супроводжуються зміною форми, розмірів і шорсткості поверхні, але необхідні для виконання технологічного переходу.

Перехід складається з робочих і допоміжних ходів.

*Робочим ходом (проходом)* називається частина технологічного переходу, що охоплює всі дії, зв'язані зі зняттям одного шару матеріалу при незмінному інструменті, оброблюваній поверхні і режиму роботи верстата.

*Допоміжний хід* – це закінчена частина технологічного переходу, що складається з одноразового переміщення інструмента відносно заготовки, що не супроводжується зміною форми, розмірів, шорсткості поверхні або властивостей заготовки, але необхідного для виконання робочого ходу.

*Прийом* – це закінчена дія робітника в процесі виконання операції. Приклади прийомів: установка деталі, пуск і зупинка верстата; переключення швидкості і подачі й ін.

У план механічної обробки включають також проміжні роботи – контрольні, слюсарні, термічну обробку й ін.

Технологічні операції позначаються буквою А і номером (напр., 005, 010, 015 ). Переходи позначаються арабськими цифрами (напр., 1, 2, 3). Установи позначаються буквами (напр., Установ А, Установ Б).

Зміст операцій і переходів під буквою О із зазначенням їх номерів і позначень установів, найменування обладнання (під буквою Б), пристроїв і інструментів (під буквою Т), режимів роботи обладнання (під буквою Р), а також норм часу указуються у технологічній документації.

Назва операцій визначається за видом обробки (наприклад, токарно-гвинторізна, круглошліфувальна, вертикально-свердлильна й ін.). Переходи записуються із зазначенням найменування, порядкового номеру або розміру оброблюваної поверхні (наприклад, точити поверхню у розмір 1 на прохід; фрезерувати паз у розміри 1, 2, 3; шліфувати поверхню і торець у розміри 1, 2).

## **10.2 Вихідні дані для проектування і основні питання, які необхідно вирішити при проектуванні технологічних процесів**

Основою для проектування технологічних процесів механічної обробки є подетальна виробнича програма, яка складена на основі загальної виробничої програми заводу, робочих креслеників машини і технічних вимог на її виготовлення [3].

Кресленики повинні включати: робочі креслення деталей машин, складальні кресленики вузлів і окремих механізмів (агрегатів) і кресленики загальних видів машин. До креслеників прикладаються специфікації деталей по кожній машині, опис конструкції.

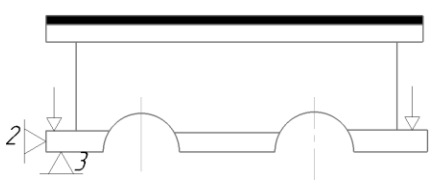
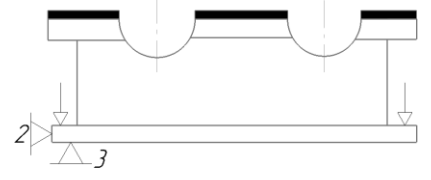
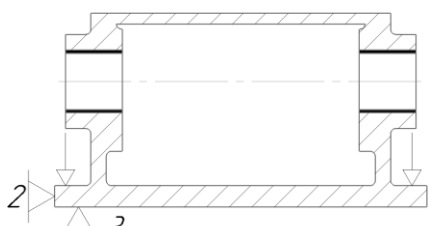
Розробка технологічного процесу обробки включає рішення наступних основних питань:

- 1) встановлення виду (типу) виробництва та організаційної форми виконання технологічного процесу;
- 2) визначення величини партії деталей, що запускаються у виробництво одночасно, для серійного виробництва і визначення такту випуска деталей – для масового потокового виробництва;
- 3) вибір виду заготовки і визначення її розмірів;
- 4) встановлення плану і методів механічної обробки поверхонь деталей із зазначенням послідовності технологічних операцій;
- 5) вибір типів і визначення технічних характеристик верстатів, пристосувань, різальних і вимірювальних інструментів, а також визначення їх кількості, необхідної для виконання роботи;
- 6) визначення розмірів оброблюваних поверхонь деталей;
- 7) визначення режимів роботи верстатів на кожній операції;
- 8) визначення норми часу на обробку по кожній операції;
- 9) визначення кваліфікації роботи;
- 10) оцінка техніко-економічної ефективності технологічного процесу;
- 11) оформлення технологічної документації.

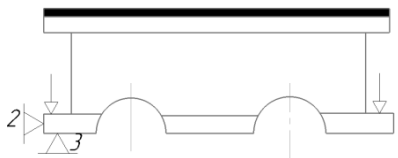
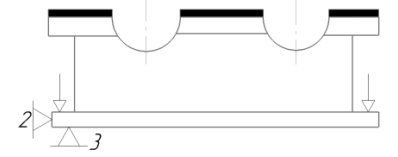
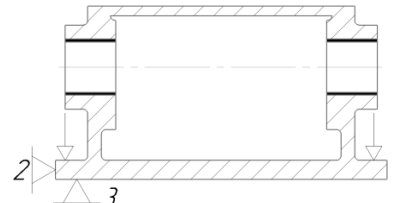
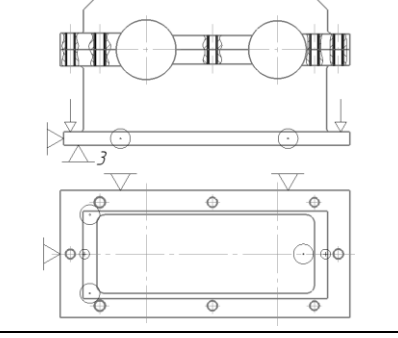
### 10.3 Типові технологічні процеси виготовлення корпусних деталей, валів, зубчастих коліс

В таблиці 10.1 представлено типовий технологічний процес виготовлення корпусної деталі (на прикладі корпуса редуктора), у таблиці 10.2 – типовий технологічний процес виготовлення вала, у таблиці 10.3 – типовий технологічний процес виготовлення колеса циліндричного з маточною, 7 ступеня точності,  $m=2,5-5,0$ , сталь 40Х.

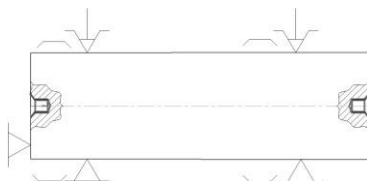
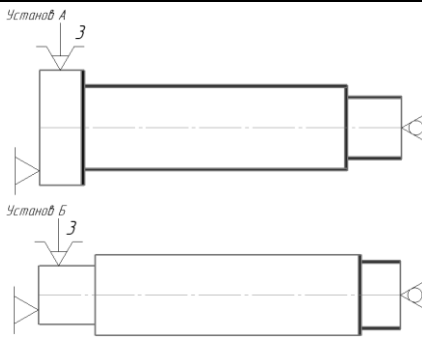
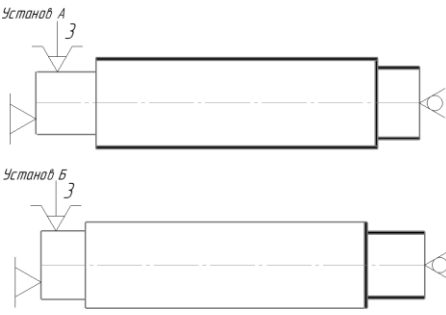
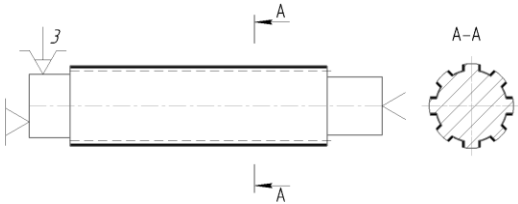
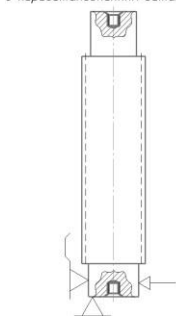
Таблиця 10.1 – Типовий технологічний процес виготовлення корпусної деталі

| Назва і зміст операції                                                                                                                                                                                                                                          | Ескіз обробки                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                               | 2                                                                                    |
| <p>А 005 Поздовжньо-фрезерувальна</p> <p>Б Поздовжньо-фрезерний, 6М610Ф1</p> <p>О Фрезерувати площину основи з припуском</p> <p>Т Комплект УСП, фреза торцева <math>\varnothing 200</math></p> <p>Т5К10 ГОСТ 26595-85, лінійка ГОСТ 427-75</p>                  |    |
| <p>А 010 Поздовжньо- фрезерувальна</p> <p>Б Поздовжньо-фрезерний, 6М610Ф1</p> <p>О Фрезерувати площину рознімання з припуском</p> <p>Т Комплект УСП, фреза торцева <math>\varnothing 200</math></p> <p>Т5К10 ГОСТ 26595-85, лінійка ГОСТ 427-75</p>             |  |
| <p>А 015 Слюсарна</p> <p>Б Вертикально-свердлильна, 2Н135</p> <p>О Свердлити 2 отвори, скласти корпус із кришкою</p> <p>Т Комплект УСП, слюсарний комплект, свердло <math>\varnothing 8</math> Р6М5 ГОСТ 885-77</p>                                             |                                                                                      |
| <p>А 020 Горизонтально-розточувальна</p> <p>Б Горизонтально-розточувальний, 2А620</p> <p>О Розточити 2 отвори в корпусі разом із кришкою з припуском</p> <p>Т Комплект УСП, оправка спеціальна, різець Т5К10 ГОСТ 18878-73, штангенциркуль ШЦ-2 ГОСТ 166-80</p> |  |

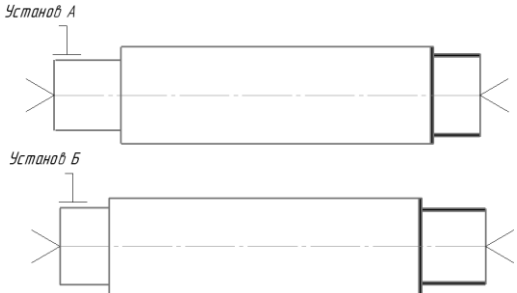
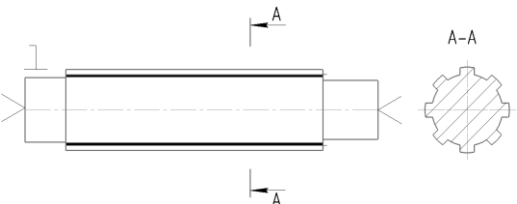
Продовження таблиці 10.1

| 1                                                                                                                                                                                                                                                             | 2                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>А 025 Слюсарна</p> <p>Б Стенд</p> <p>О Розібрати корпус із кришкою</p> <p>Т Слюсарний комплект</p>                                                                                                                                                         |                                                                                       |
| <p>А 030 Термічна (нормалізація)</p>                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                       |
| <p>А 035 Поздовжньо- фрезерувальна</p> <p>Б Поздовжньо-фрезерний, 6М610Ф1</p> <p>О Фрезерувати площину основи, витримуючи розмір ____</p> <p>Т Комплект УСП, фреза торцева Ø200 Т15К6 ГОСТ 26595-85, лінійка ГОСТ 427-75</p>                                  |    |
| <p>А 040 Поздовжньо- фрезерувальна</p> <p>Б Поздовжньо-фрезерний, 6М610Ф1</p> <p>О Фрезерувати площину рознімання, витримуючи розмір ____</p> <p>Т Комплект УСП, фреза торцева Ø200 Т15К6 ГОСТ 26595-85, лінійка ГОСТ 427-75</p>                              |    |
| <p>А 045 Слюсарна</p> <p>Б Стенд</p> <p>О Скласти корпус із кришкою</p> <p>Т Слюсарний комплект</p>                                                                                                                                                           |                                                                                       |
| <p>А 050 Горизонтально-розточувальна</p> <p>Б Горизонтально-розточувальний, 2А620</p> <p>О Розточити 2 отвори в корпусі разом із кришкою остаточно</p> <p>Т Комплект УСП, оправка спеціальна, різець Т5К10 ГОСТ 18878-73, штангенциркуль ШЦ-2 ГОСТ 166-80</p> |  |
| <p>А 055 Радіально-свердлильна</p> <p>Б Радіально-свердлильний, 2554</p> <p>О Свердлити 8 отворів Ø8</p> <p>Т Комплект УСП, свердло Ø8 Р6М5 ГОСТ 855-77, лінійка ГОСТ 427-75</p>                                                                              |  |
| <p>А 060 Контрольна</p>                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                       |
| <p>А 065 Слюсарна</p> <p>Б Стенд</p> <p>О Розібрати корпус і кришку</p> <p>Т Слюсарний комплект</p>                                                                                                                                                           |                                                                                       |

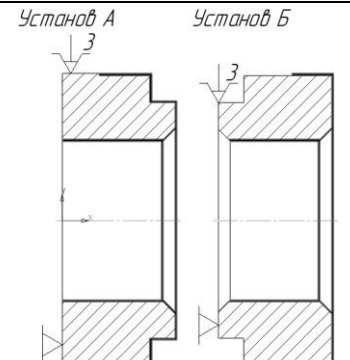
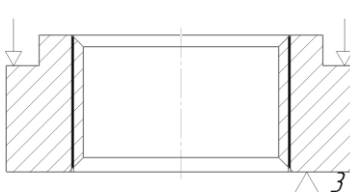
Таблиця 10.2 – Типовий технологічний процес виготовлення вала

| Назва і зміст операції                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ескіз обробки                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2                                                                                                                       |
| <p>А 005 Фрезерно-центрувальна</p> <p>Б Фрезерно-центрувальний, МР71</p> <p>О Фрезерувати торці у розмір __і__<br/>центрувати</p> <p>Т Спеціальний пристрій, фреза торцева<br/>Ø200 Т5К10 ГОСТ 26595-85, свердло<br/>центрувальне Ø5 Р6М5 ГОСТ 14952-<br/>75, лінійка ГОСТ 427-75</p>    |                                       |
| <p>А 010 Токарно-гвинторізна</p> <p>Б Токарно-гвинторізний, 16К20</p> <p>О Точити з переустановкою шийки в<br/>розмір ____, 2 фаски</p> <p>Т Патрон трикулачковий ГОСТ ____,<br/>центр ГОСТ 8742-75, різець прохідний<br/>Т5К10 ГОСТ 18878-73, штангенцир-<br/>куль ШЦ-1 ГОСТ 166-80</p> |                                       |
| А 015 Термічна                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                         |
| <p>А 020 Токарно-гвинторізна</p> <p>Б Токарно-гвинторізний, 16К20</p> <p>О Точити з переустановкою шийки в<br/>розмір ____, 2 фаски</p> <p>Т Патрон трикулачковий ГОСТ ____,<br/>центр ГОСТ 8742-75, різець прохідний<br/>Т15К6 ГОСТ 18878-73, мікрометр<br/>ГОСТ 6507-78</p>            |                                     |
| <p>А 025 Шліцефрезерна</p> <p>Б Шліцефрезерний</p> <p>О Фрезерувати шліці в розмір ____</p> <p>Т Патрон повідковий ГОСТ ____,<br/>центри ГОСТ ____, фреза модульна<br/>ГОСТ 2679-73, штангензубомір ТУ 2-<br/>034-773-84</p>                                                             |                                     |
| А 030 Термічна (HRC)                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                         |
| <p>А 035 Центрошліфувальна</p> <p>Б Центрошліфувальний</p> <p>О Шліфувати центрові фаски</p> <p>Т Спеціальний пристрій, круг шліфу-<br/>вальний ____, калібр спеціальний ____</p>                                                                                                        |  <p>З передстановленням деталі</p> |

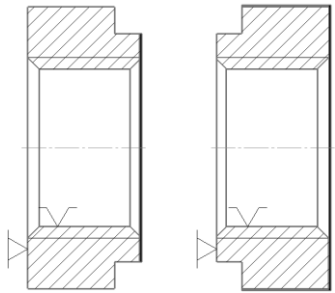
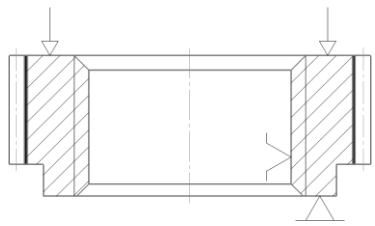
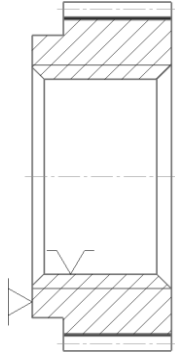
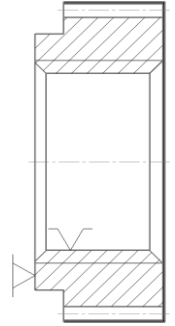
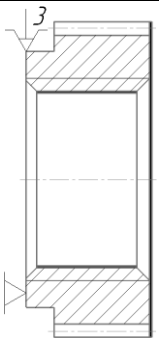
Продовження таблиці 10.2

|                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>А 040 Круглошліфувальна<br/>Б Круглошліфувальний, 3М151<br/>О Шліфувати з переустановкою 2 шийки з підшліфуванням торців остаточно<br/>Т Патрон повідковий ГОСТ ____, центри ГОСТ ____, круг шліфувальний ПП 300х32х127 24А СТ2 6К ГОСТ 2424-83, мікрометр ГОСТ 6507-78</p> |  |
| <p>А 045 Шліцешліфувальна<br/>Б Шліцешліфувальний, 3В451ВФ1<br/>О Шліфувати шліци остаточно<br/>Т Патрон повідковий ГОСТ ____, центри ГОСТ ____, круг шліфувальний Т 200х20х80 25А СМ 4Б ГОСТ 2424-83, штангензубомір, калібр</p>                                              |  |
| <p>А 050 Контрольна</p>                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                    |
| <p>А 055 Гальванічна</p>                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                    |

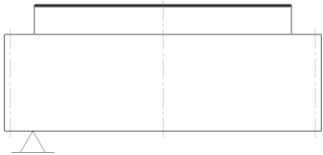
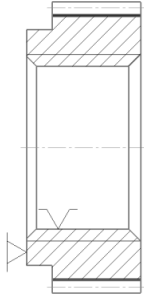
Таблиця 10.3 – Типовий технологічний процес виготовлення колеса циліндричного з маточиною, 7 ступеня точності,  $m=2,5-5,0$ , сталь 40Х

| Назва і зміст операції                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Ескіз обробки                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                                                                                     |
| А 005 Термічна (нормалізація)                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                       |
| <p>А 010 Токарно-гвинторізна<br/>Б Токарно-гвинторізний, 16К20<br/>О Точити з переустановкою зовнішні поверхні, торці, розточити отвір, фаски з припуском<br/>Т Патрон трикулачковий ГОСТ ____, різець прохідний упорний Т5К10 ГОСТ 18879-73, різець розточувальний Т5К10 ГОСТ 18882-73, штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-80</p> |  |
| <p>А 015 Вертикально-протяжна<br/>Б Вертикально-протяжний, 7Б65<br/>О Протягнути шліцьовий отвір<br/>Т Спеціальний пристрій, протяжка шліцьова ГОСТ 7943-78, калібр</p>                                                                                                                                                      |  |

Продовження таблиці 10.3

|                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>А 020 Токарно-гвинторізна<br/> Б Токарно-гвинторізний, 16К20<br/> О Точити з переустановкою зовнішні поверхні і торець остаточно<br/> Т Патрон трикулачковий ГОСТ __, різець прохідний упорний Т15К6 ГОСТ 18879-73, штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-80</p>                         | <p>Установ А      Установ Б</p>  |
| <p>А 025 Зубофрезерна<br/> Б Зубофрезерний, 53А50<br/> О Фрезерувати зуб'я (<math>z=</math> __, <math>m=</math> __) остаточно<br/> Т Оправка ГОСТ __, центри ГОСТ __, фреза черв'ячна модульна ГОСТ 9324-80Е, штангензубомір ТУ 2-034-773-84</p>                                   |                                  |
| <p>А 030 Зубошевінгувальна<br/> Б Зубошевінгувальний, 5702В<br/> О Шевінгувати зуб'я<br/> Т Оправка ГОСТ __, центри ГОСТ __, шевер дисковий ГОСТ 8570-80Е</p>                                                                                                                      |                                |
| <p>А 035 Круглоторцешліфувальна<br/> Б Круглоторцешліфувальний, 3М151Ф2<br/> О Шліфувати зовнішні поверхні, торець (на оправці оп. 030)<br/> Т Оправка ГОСТ __, центри ГОСТ __, круг шліфувальний ПП 300х32х127 24А СМ2 6К ГОСТ 2424-83, індикатор ГОСТ 577-68</p>                 |                               |
| <p>А 040 Термічна (гартування, відпуск)</p>                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                    |
| <p>А 045 Внутрішньошліфувальна<br/> Б Внутрішньошліфувальний, 3К228А<br/> О Шліфувати отвір по малому діаметрі шліців і базовий торець остаточно<br/> Т Патрон трикулачковий ГОСТ __, круг шліфувальний ПВ 40х40х13 15А С2 4К ГОСТ 2424-83, нутромір мікрометричний ГОСТ 10-88</p> |                               |

*Продовження таблиці 10.3*

|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>А 050 Плоскошліфувальна<br/> Б Плоскошліфувальний, 3К722<br/> О Шліфувати торець маточини, забезпечуючи Ra 0,63<br/> Т Круг шліфувальний ПП 300х80х127 25А<br/> СМ2 6К ГОСТ 2424-83, мікрометр ГОСТ 6507-78</p> |  |
| <p>А 055 Зубошліфувальна<br/> Б Зубошліфувальний, 5Д833<br/> О Шліфувати зуб'я<br/> Т Оправка ГОСТ __, центри ГОСТ __, круг шліфувальний Т 200х20х80 24А СМ2 4Б<br/> ГОСТ 2424-83</p>                              |  |
| <p>А 060 Контрольна</p>                                                                                                                                                                                            |                                                                                     |

**Питання для контролю**

1. Поясніть структуру технологічного процесу.
2. Охарактеризуйте типовий технологічний процес виготовлення корпусної деталі.
3. Охарактеризуйте типовий технологічний процес виготовлення валу.
4. Охарактеризуйте типовий технологічний процес виготовлення колеса зубчатого.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Буряковський С. А. *Механізація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: навч. посібник* / С. А. Буряковський, О. Г. Красов. – Київ : Центр учбової літератури, 2017. – 276 с.
2. Шевченко В. І. *Автоматизація технологічних процесів у харчовій промисловості : підручник* / В. І. Шевченко, І. С. Андрієць. – Київ : НУХТ, 2020. – 412 с.
3. Литвиненко В. О. *Основи автоматизації виробничих процесів : навч. посібник* / В. О. Литвиненко. – Харків : ХНАДУ, 2018. – 240 с.
4. Григоренко О. В. *Механізація та автоматизація технологічних процесів у галузевих системах* / О. В. Григоренко. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2021. – 188 с.
5. Кузьменко В. М. *Автоматизація та управління технологічними процесами : підручник* / В. М. Кузьменко. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – 335 с.
6. ГОСТ 21.404–85. *Автоматизация технологических процессов. Условные графические обозначения на схемах.* – Введ. 1986-07-01. – М. : Стандартиформ, 1985. – 24 с.
7. ДСТУ 3135.0–95. *Автоматизація. Терміни та визначення основних понять.* – Чинний від 1995-07-01. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 20 с.
8. Мотринєць В. О. *Автоматизовані системи керування: лекції* / В. О. Мотринєць. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 146 с.
9. Тищенко В. П. *Системи автоматичного керування : навч. посібник* / В. П. Тищенко. – Суми : СумДУ, 2016. – 296 с.
10. *Збірник нормативних документів з автоматизації виробництва* / уклад. І. П. Гончарук. – Київ : Наук. світ, 2015. – 154 с.
11. Верещагін В. І. *Механізація і автоматизація переробних процесів : навч. посібник* / В. І. Верещагін. – Кіровоград : КОД, 2014. – 198 с.
12. Сидоренко І. М. *Електромеханічні системи автоматизації : навч. посібник* / І. М. Сидоренко, А. О. Тимошенко. – Полтава : ПНТУ, 2018. – 223 с.

13. Васильченко Ю. І. *Мікропроцесорна техніка в системах автоматизації* / Ю. І. Васильченко. – Чернігів : ЧНТУ, 2019. – 204 с.
14. Підгурський І. А. *Програмовані логічні контролери в системах автоматизації* / І. А. Підгурський. – Львів : ЛНУВМ та БТ, 2021. – 142 с.
15. Нестеренко А. І. *Промислова автоматизація: технології, обладнання, алгоритми* / А. І. Нестеренко. – Дніпро : ДНУ, 2020. – 276 с.
16. Шевчук Л. С. *Технічні засоби автоматизації: лабораторний практикум* / Л. С. Шевчук. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – 132 с.
17. Мельничук В. М. *Механізація тваринництва: навч. посібник* / В. М. Мельничук. – Вінниця : Нова книга, 2018. – 212 с.
18. Радченко Л. П. *Системи технологічного контролю і керування : підручник* / Л. П. Радченко. – Харків : ХНУРЕ, 2016. – 328 с.
19. Шиян П. П. *Мехатроніка в автоматизації виробничих процесів* / П. П. Шиян. – Чернівці : ЧНУ, 2020. – 199 с.
20. ДСТУ ISO 12100:2014. *Безпека машин. Загальні принципи проектування. Оцінка ризиків та зменшення ризику*. – К. : Мінекономрозвитку України, 2014. – 80 с.

Електронне навчальне видання комбінованого використання  
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

**Скоркін Антон Олегович**

**МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ  
ГАЛУЗЕВИХ ПРОЦЕСІВ ТА  
ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ**

Конспект лекцій

В авторській редакції

Підписано до розміщення 25.06.2025. Гарнітура Times New Roman.  
Ум. друк. арк. 6,13. Обсяг 7,259 Мб. Зам. № 327/25.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009  
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна