

# ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ МАШИН

Ф. В. Новіков  
Д. Ф. Новіков  
В. О. Жовтобрюх



Ф. В. Новіков  
Д. Ф. Новіков  
В. О. Жовтобрюх

# ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ МАШИН



ЛІРА  
ВИДАВНИЦТВО  
ДРУКАРНЯ  
— ДНІПРО —

**Ф. В. Новіков  
Д. Ф. Новіков  
В. О. Жовтобрюх**

# **ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ МАШИН**

**Навчальний посібник**

**Дніпро, 2023**

УДК 621.757 (65.011.56)

Н73

Рецензенти:

- М. С. Степанов,** докт. техн. наук, професор, професор кафедри "Технологія машинобудування та металорізальні верстати" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут";
- Ю. В. Яровий,** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри цифрових технологій в інжинірингу Національного університету "Одеська політехніка"

**Новіков Ф. В.**

Н73 Технології створення машин : навчальний посібник / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, В. О. Жовтобрюх. Дніпро : ЛІРА, 2023. 484 с.  
ISBN 978-966-981-822-5

Розглянуто історичні етапи та основні напрями розвитку технологій створення машин, включаючи інноваційні процеси та високі технології. Наведено основні поняття та визначення у технологіях, технології виробництва чорних і кольорових металів та порошків металів, технології отримання різних видів заготовок (методами лиття і порошкової металургії, обробкою металів тиском, зварюванням металів, термічною і хіміко-термічною обробкою сталей) та деталей машин (обробкою металів різанням), технології складання машин. Показано ефективність модернізації машинобудівного підприємства сучасними технологіями і металорізальними верстатами із ЧПУ типу "обробний центр" із застосуванням прогресивних ріжучих лезових тврдосплавних і керамічних інструментів зі зносостійкими покриттями. Запропоновано практичні рекомендації щодо подальшого розвитку сучасних технологій машинобудування.

Рекомендовано для студентів інженерних та економічних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також для фахівців і керівників підприємств, які підвищують свою кваліфікацію.

**УДК 621.757 (65.011.56)**

ISBN 978-966-981-822-5

© Новіков Ф. В., Новіков Д. Ф.,  
Жовтобрюх В. О., 2023  
© ЛІРА, 2023

## Вступ

Розвиток суспільства нерозривно пов'язано із створенням і застосуванням машин, які призначено для перетворення енергії одного виду в енергію іншого виду (машини-двигуни і машини-генератори), виконання корисної механічної роботи (машини-знаряддя, технологічне і транспортне устаткування), переміщення вантажів (транспортуючі машини) та управління агрегатами або іншими машинами (управляючі машини), взаємопов'язаними між собою та з електронно-обчислювальною машиною або комп'ютером. За час свого існування машини пройшли довгий шлях розвитку – від примітивних до сучасних високоефективних машин, створених за останніми досягненнями науки, техніки і технологій.

Технологіями створення сучасних машин є, у першу чергу, технологія металів і технологія машинобудування. Технологія металів – це наука, що охоплює як питання отримання металів із сировини (заснована на зміні її хімічного складу, хімічних і фізичних властивостей, включаючи металургію), так і питання зміни форми, структури й фізичних властивостей оброблюваних заготовок та деталей. Предметом технології машинобудування є вчення щодо виготовлення машин, включаючи їх конструювання й виробництво, із забезпеченням вимог за показниками якості, точності, продуктивності, собівартості та ін. Розвитку цих технологій постійно приділяють значну увагу. На зміну застарілим малопродуктивним технологіям приходять нові інноваційні високі технології: цифрові технології, мікротехнології, нанотехнології, 3D-технології, робототехніка, штучний інтелект, інформаційні технології тощо. Так, застосування сучасних технологій високошвидкісного різання на сучасних металорізальних верстатах із числовим програмним управлінням (ЧПУ) типу "обробний центр" та прогресивних конструкцій ріжучих лезових твердосплавних і керамічних інструментів зі зносостійкими покриттями дозволяє багаторазово підвищити продуктивність та зменшити трудомісткість і собівартість обробки із одночасним забезпеченням високих показників якості та точності. 3D-технології дозволяють створювати дуже складні за формою вироби шляхом нарощування, тобто додавання матеріалу, а не традиційним шляхом відділення – зняттям припуску із заготовки. Все це значно розширює технологічні

можливості машинобудування, однак вимагає нових знань щодо їх ефективного застосування на практиці.

Тому для прийняття найефективніших рішень фахівці повинні знати сучасні інноваційні технології, які засновані на наукоємних високих та випереджальних технологіях: ресурсозберігаючих і безвідхідних технологіях та ін. Фахівці також повинні вміти здійснювати планування та організацію виробництва сучасної конкурентоспроможної продукції на основі поєднання технічних та економічних знань, визначати перспективні напрями технічного переозброєння виробництва, оцінювати можливості сучасних інноваційних технологій та виконувати економічне оцінювання їх ефективності, орієнтуватися у виборі найбільш оптимальних технологічних рішень.

Метою навчального посібника є формування у фахівців теоретичних знань і практичних навичок, необхідних для розуміння особливостей функціонування різноманітних сучасних технологій, управління та ефективного практичного застосування ними.

Для цього у навчальному посібнику наведено 15 практичних робіт із вивчення основних тенденцій розвитку технологій створення машин, їх можливостей та визначення і обґрунтування раціональних умов їх застосування у машинобудівному виробництві. Оскільки питанням вивчення технологій створення машин передують питання теорії машин і механізмів та виконання конструкторської і технологічної документації, то у початковій частині навчального посібника розглянуто практичні роботи, які пов'язано із класифікацією та проектуванням механізмів, машин, вузлів і деталей машин та правилами побудови креслень геометричних тіл. Це дозволило методично обґрунтовано підійти до вивчення сучасних технологій створення машин, включаючи основні поняття та визначення у технологіях; технології виробництва чорних і кольорових металів та порошоків металів; технології отримання різних видів заготовок (методами лиття та порошкової металургії, обробкою металів тиском, зварюванням металів, термічною і хіміко-термічною обробкою сталей) та деталей машин (обробкою металів різанням); технології складання машин.

Наведені у навчальному посібнику практичні роботи отримали широке застосування у навчальному процесі Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця під час вивчення дисциплін технологічного спрямування.

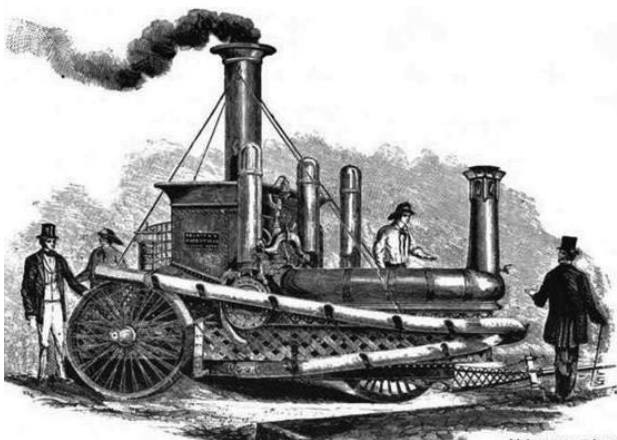
## Робота 1. Історичні етапи та основні напрями розвитку технологій

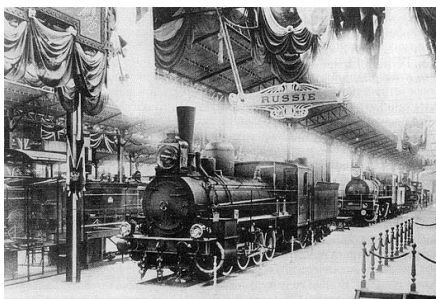
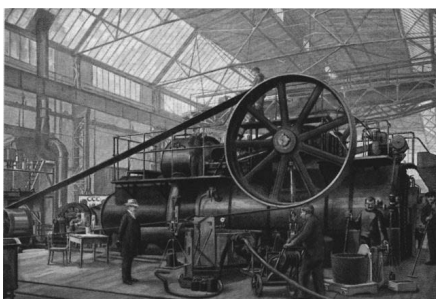
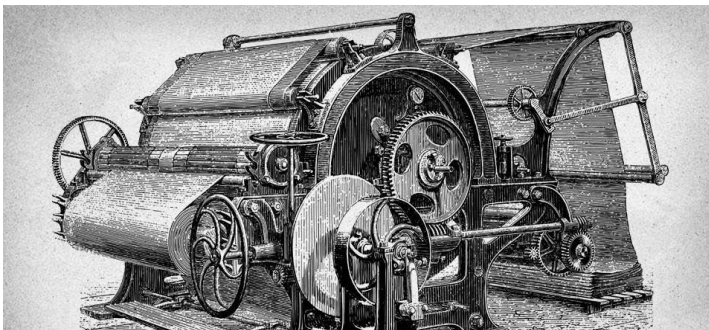
**Мета роботи:** ознайомити студентів із промисловими революціями і технологічними укладами та їх значенням у розвитку технологій; ознайомити із інноваціями та інноваційним процесом, напрямками розвитку технологій виробництва на сучасному етапі та високими технологіями. Навчити моделювати та здійснювати оптимізацію технологічних систем.

### *Загальні відомості*

#### **Промислові революції**

**Перша промислова революція** розпочалася більше двохсот років тому винаходом ткацьких машин та призвела до заміни людських рук машинами майже у всіх галузях виробництва, викликала колосальний підйом продуктивності праці. Із того часу термін "технологія" стали пов'язувати із машинізацією процесів виробництва, а технічні інновації стали основним двигуном економічного зростання та створення робочих місць. У результаті зростання продуктивності праці та соціальних перетворень підвищився добробут найманих працівників, зменшилася тривалість робочого дня, розширилися можливості для отримання освіти, та зміни видів діяльності. Суттєво зросла роль науки, мистецтва та технічного прогресу в житті суспільства.





На рубежі XVII і XVIII століть у 1735 р. вперше було застосовано доменну виплавку чавуну на коксі. У 1784 р. створено паровий двигун (конструктор – Джеймс Уатт) і цей винахід також ознаменував початок першої промислової революції, кардинально змінив умови людського

існування. Слідом за ним народилося поняття про енергію, як про якусь субстанцію, що міститься в гарячому парі, який може перетворюватися в роботу. Перша промислова революція – це перехід від ручної праці до машинної на основі сили води і пару [76], впровадження парових двигунів і винахід друкарського преса. Зміна текстильного виробництва та розвиток легкої промисловості дозволили різко збільшити продуктивність праці, змінити характер виробництва, спосіб і місце життя людей та ін. З'явилася фабрична економіка, а друковане слово радикально змінило інформаційне та освітнє поле.

**Друга промислова революція.** Наприкінці XIX століття та початку XX століття зміни у науково-технічній базі виробництва були значні й призвели до таких наслідків в організації господарства, що отримали визначення "*друга промислова революція*".

У цей період отримали розвиток три взаємопов'язані процеси: *винаходи, інновації та поширення нових технологій*.

*Винахід* означає будь-яке нововведення механічного, хімічного або електричного характеру. Щоб винаходи набули значення для економічного розвитку, їх необхідно впровадити в господарський процес, тоді вони стають *інноваціями*. Поширення інновацій всередині даної країни, між галузями та між країнами є *процес дифузії технологій*.

Поширення або дифузія технологій залежить від умов у різних галузях і регіонах країни, наявності та поєднання чинників виробництва у них, а також культурного середовища.

Друга промислова революція охоплює період із 70-х років XIX століття до 60-х років XX століття. Вона не однорідна і тому її слід розподілити на два етапи. Перший етап – *етап індустріалізації*, який тривав до 30-х років XX століття, призводить до формування розвинених капіталістичних товариств, де провідними соціальними групами стають клас буржуазії й робітничий клас. Другий етап другої промислової революції – це так звана *науково-технічна революція*.

Технологічні розробки у розглянутий період пов'язані зі зміною енергетичної бази виробництва. Так, парову енергію було витіснено електрикою, почався процес загальної електрифікації виробництва, транспорту, побуту. Основою цього процесу стали: винахід динамомашини (В. Сіменс, Німеччина, 1867 р.), генератора (Т. Едісон, США, 1888 р.), трансформатора для передачі енергії на відстань (Т. Едісон, 1891 р.), електричної залізниці (В. Сіменс, 1879 р.), лампи розжарю-



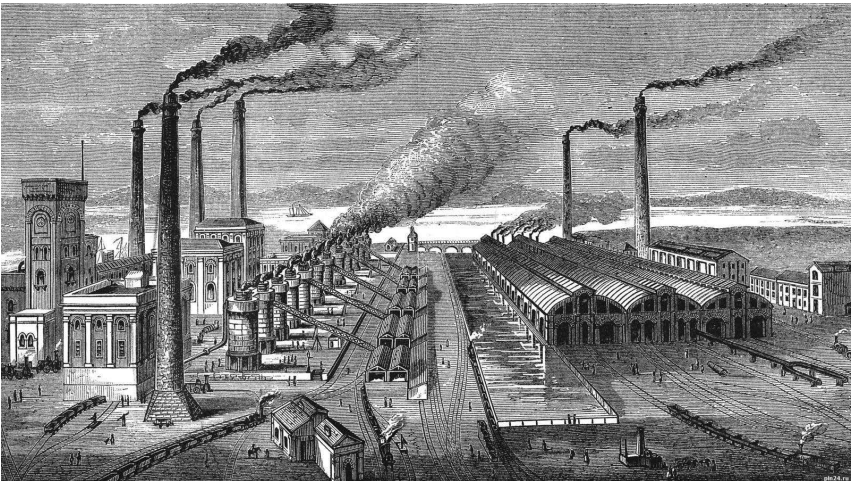
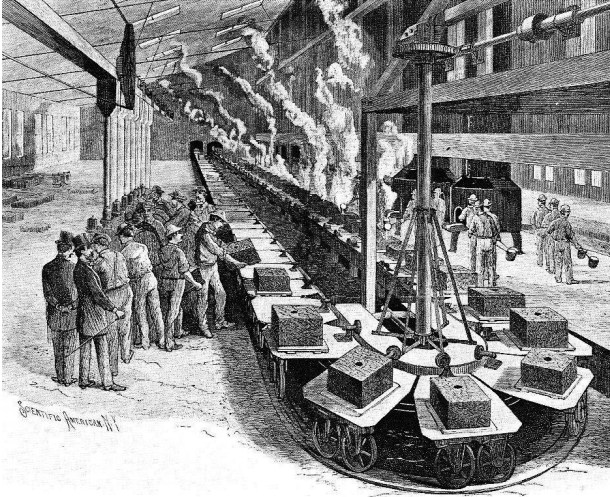
вання (П. Яблочков, Росія, 1876 р.), електричної плавильної печі (Т. Едісон, 1877 р.), парової турбіни (Г. Парсонс, 1884 р.). У 1898 р. було побудовано першу гідроелектростанцію на річці Ніагара (США).

Визначальну роль відіграв також винахід двигунів внутрішнього згоряння (Р. Дизель, Німеччина, 1893 р. та І. Отто, Німеччина, 1877 р.) та автомобіля (Г. Даймлер, К. Бенц, 1883–1885 рр.). Стався технічний переворот у металургії, металообробці, легкій (автоматичний ткацький верстат) та поліграфічній (механічний складальний стан) промисловостях. Виникли нові галузі промисловості: електроенергетична, хімічна, нафтова та нафтохімічна, автомобілебудування (у 1900 р. у США завод Форда випускав більше 4 тисяч автомобілів на рік), виробництво сталі (сумарна виплавка сталі зросла із 1870 р. до 1900 р. у 20 разів). У США винайдено систему Тейлора (конвеєр), яка призвела до гігантського зростання продуктивності праці.

Нова технічна база змінила систему транспорту. До початку ХХ століття світовий тоннаж парового флоту вже перевищив світовий тоннаж вітрильного флоту. Різно зросла світова залізнична мережа, з'явився електричний (ліфт, трамвай, метро), безрейковий (на базі двигуна внутрішнього згоряння) і трубопровідний транспорт. Найбільшим досягненням стало народження повітряного транспорту.

На початку ХХ століття все більш важливим економічним ресурсом стає нафта. До цього часу існували три регіони її видобутку: Російська імперія (Азербайджан, Поволжя), США (Пенсільванія, Техас, Каліфорнія) і Перська затока (входила в сферу британського впливу). Іншим стратегічним ресурсом стала в цей період селітра. Основним регіоном її видобутку була Південна Америка. Подібне розташування стратегічних ресурсів призвело до того, що Німеччина, на частку якої припадало 16 % світового промислового виробництва, залежала від поставок Росії та США. Така залежність впливала на її політичні плани.

Все більшу роль на рубежі ХІХ – ХХ століть в технічному прогресі стала грати наука. Виникла вища технічна освіта. Перші вузи з'явилися у 1870-х рр. у Німеччині (Берлін, Дрезден, Мюнхен та ін.), США (університет Дж. Гопкінса в Балтіморі), Японії та інших країнах. Прогрес техніки набув значення науково-технічного прогресу. Його результати було, перш за все, використано у військово-промислому комплексі. Військове виробництво включило досягнення металургії, двигунобудування, електротехніки, точного приладобудування, хімічної технології та ін.



Фабрично-заводська індустрія, насамперед, замінила гладкоствольну рушницю на гвинтівку, дерев'яні парусні судна замінили металеві пароплави, а незабаром і броньовані турбоходи, з'явилися скорострільні гармати, які стріляли більш ніж на 10 км, винайшли й застосували бездимний порох. У кінці ХІХ століття почалася поступова автоматизація стрілецької зброї – з'явився кулемет (1883 р., США).

Друга промислова революція однією з особливостей мала масовий характер винахідництва на час винаходу одного й того ж продукту в різних країнах. Це указувало на те, що вже не окремі країни, а багато країн вступили у століття промислової цивілізації. Дуже часто другу промислову революцію називають індустріалізацією, індустріальною революцією.

На відміну від першої промислової революції, заснованої на інноваціях у виробництві чавуну, парових двигунах і розвитку текстильної промисловості, друга промислова революція відбувалася на базі виробництва високоякісної сталі, поширенні залізниць, електрики та хімікатів. В епоху другої промислової революції розвиток економіки країн був переважно заснований на наукових досягненнях, а не просто на вдалих винаходах.

Друга промислова революція – це фаза промислової революції, відома також, як технологічна революція. У ході другої промислової революції відбувся перехід від вугілля, як головного енергоносія, до використання нафти (рис. 1.1), винахід електрики, електродвигуна, телефону (рис. 1.2), поширення нових форм виробництва: конвеєр, розвиток хімічної промисловості, металургії.



Рисунок 1.1 – Перехід від вугілля до нафти



Рисунок 1.2 – Еволюція телефонів

Суттєві нововведення було впроваджено також у сталеливарній промисловості та металообробці [76]. Поштовхом для цього стали важливі винаходи таких видатних винахідників, як Бессемер, Сіменс, основним з яких є винахід мартенівської печі, збудованої французьким інже-

нером та металургом П'єром Мартеном ще у 1864 році. Більшість винаходів відбулися в десятилітті, що передувало 1871 року.

Видатний винахідник Бессемер працював над проблемою виробництва дешевої сталі для цілей виробництва у період 1850 – 1855 рр., коли він запатентував свій відомий метод – Бессемерівський процес для виробництва сталі. Наслідком його винаходів стало виробництво дешевої сталі, яка суттєво здешевила та покращила швидкісні властивості парового транспорту.

Друга промислова революція – це розвиток електрики, двигунів внутрішнього згоряння й конвеєрного складання, було створено літак.

Електрифікація заводів і фабрик ознаменували епоху масового виробництва товарів. Товаром-символом цього періоду став автомобіль. Розвиток автомобілебудування різко збільшив попит на енергоресурси. Автомобілі змінили місце й спосіб життя людей, а телефон, радіо й телебачення здійснили радикальне перезавантаження соціального життя.

Друга промислова революція, як і перша промислова революція, так само сприяла швидкому зростанню чисельності міського населення. Але, в той час як перша промислова революція була зосереджена на поліпшенні використання вугілля, заліза й технологій, пов'язаних із паром, то друга промислова революція була зосереджена навколо сталі, електроенергії та хімічних речовин.

У Сполучених Штатах Америки друга промислова революція, зазвичай, асоціюється із електрифікацією, а, насамперед, із такими світилами наукової думки, як Нікола Тесла, Томас Алва Едісон, Джордж Вестінгауз та видатним американським інженером, засновником наукової організації праці й менеджменту Фредеріком Уінслоу Тейлором. Тому друга промислова революція використовувала електрику для конвеєрного виробництва.

Таким чином, друга промислова революція наприкінці XIX початку XX століть була підготовлена сторічним розвитком виробничих сил на машинній основі, розвитком науки на базі техніки.

**Третя промислова революція**, яку іноді називають *технологічною революцією*, – це якісні зміни технологічних способів виробництва, сутність яких полягає у докорінному перерозподілі основних технологічних форм між людськими й технічними компонентами продуктивних сил суспільства.

Третя промислова революція ґрунтується на:

- винаході та удосконаленні мікропроцесорів, створенні на їх основі персональних комп'ютерів;
- розвитку нанотехнологій – галузі фундаментальної та прикладної науки й техніки, що має справу із сукупністю теоретичного обґрунтування, практичних методів дослідження, аналізу й синтезу, а також методів виробництва та застосування продуктів із заданою атомною структурою;
- розвитку біотехнології – науки, що вивчає можливості використання живих організмів, їх систем чи продуктів їхньої життєдіяльності для вирішення технологічних задач, а також можливості створення живих організмів із необхідними властивостями, використовуючи метод генної інженерії.

На думку Джеремі Ріфкіна, третя промислова революція ґрунтується на п'яти стовпах:

- поновлюваних джерелах енергії: сонячна, вітряна, гідро-, геотермальна, океанічних хвиль, біомаси та ін.;
- будівництві будівель, які самі генерують електроенергію;
- водневих та інших технологіях зберігання енергії;
- технології "енергетичний інтернет", тобто розумна система координації поведінки виробників і споживачів електроенергії в автоматичному режимі, коли кожен будинок може стати мініелектричною підстанцією. Використання інтернет-технологій для трансформації системи передачі електроенергії, тобто перетворення мережі з передачі електроенергії в таку саму систему для енергії, як інтернет для передачі інформації (використання smart grid або intergrid);
- електричних, гібридних та інших транспортних засобах, в тому числі на паливних елементах.

Третя промислова революція передбачає з'єднання комунікаційних технологій на базі інтернету, поновлюваних джерел енергії. Важливим винаходом є 3D-принтери для виготовлення споживчих товарів. Їх використання дозволяє здійснити перехід до адаптації масового продукту під запити конкретного споживача шляхом часткової зміни виробництва. Наприклад, розглянемо процес 3D-друку. Достатньо натиснути кнопку "друк" на комп'ютері, як у струменевий принтер відправляється файл для 3D-друку, а з нього виходить тривимірний продукт.



Програмне забезпечення дозволяє управляти 3D-принтером так, що він створює продукт із послідовно нанесених шарів порошку, розплаву пластмаси або металу. При цьому 3D-принтер здатний відтворити безліч копій продукту подібно фотокопіювальній машині.

Отже, завдяки третій промисловій революції виробництво стало цифровим, з'явилися абсолютно нові технології на основі 3D-принтерів та простих роботів. Тому третю промислову революцію ще називають цифровою, вона розпочалася у другій половині XX століття із створення цифрових комп'ютерів і подальшої еволюції інформаційних технологій.

**Четверта промислова революція.** Цифрова революція зараз переходить у *четверту промислову революцію*, особливістю якої є масове впровадження кіберфізичних систем у виробництво [14].



Термін "Четверта промислова революція" введено у 2011 році у рамках німецької ініціативи – Індустрії 4.0. Для виявлення ознак Індустрії 4.0 порівнюємо її із першими трьома промисловими революціями:

- Перша промислова революція (наприкінці XVIII – початку XIX ст.) зумовлена переходом від аграрної економіки до промислового виробництва (від ручної праці до машинної) завдяки винаходу парової енергії, механічних пристроїв, розвитку металургії (табл. 1.1, рис. 1.3) [70].






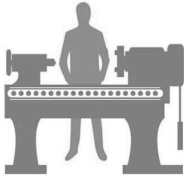


- Друга промислова революція (друга половина XIX ст. – початок XX ст.) – винахід електричної енергії, що викликало потокове виробництво й розподіл праці (розвиток масового конвеєрного виробництва).



- Третя промислова революція, яку ще називають цифровою, почалася у другій половині ХХ століття (із 1970 р.) зі створенням цифрових комп'ютерів і подальшої еволюції інформаційних технологій, тобто вона почалася із застосування у виробництві електронних та інформаційних систем, що забезпечили інтенсивну автоматизацію й роботизацію виробничих процесів. Іншими словами, третя промислова революція автоматизувала виробництво за допомогою електроніки та інформаційних технологій.

Таблиця 1.1 – Характеристики промислових революцій

Промислова революція	Період	Інновації / прориви	Результат
Перша промислова революція	наприкінці ХVІІІ – початку ХІХ ст.	водяні та парові двигуни, ткацькі верстати, механічні прилади, транспорт, металургія	перехід від аграрної економіки до промислового виробництва, розвиток транспорту
Друга промислова революція	друга половина ХІХ ст. – початок ХХ ст.	електрична енергія, високоякісна сталь, нафтова та хімічна промисловості, телефон, телеграф	потокове виробництво, електрифікація, залізні дороги, розділення праці
Третя промислова революція	кінець ХХ ст. (з 1970 р.)	цифровізація, розвиток електроніки, застосування у виробництві інфокомукаційних технологій	автоматизація та робототехніка
Четверта промислова революція	термін введено в 2011 р.	глобальні промислові мережі, Інтернет, перехід від металургії до композитних матеріалів, 3D-принтери, нейромережі, біотехнології, робототехніка, штучний інтелект	розподілене виробництво, розподілена енергетика, мережевий колективний доступ та споживання, заміна посередників на розподілені мережі, прямий доступ виробника до споживача, економіка спільного використання (car sharing, наприклад)

			
<b>Індустрія 1.0</b> Механізація виробництва завдяки воді й пару	<b>Індустрія 2.0</b> Масове вироб- ництво, викорис- тання електрое- нергії, розподіл праці	<b>Індустрія 3.0</b> Початок автоматизації виробництва, впровадження ІТ-систем та електроніки	<b>Індустрія 4.0</b> Кіберфізичні виробничі системи
			
18 ст.	20 ст.	1970-ті	Сьогодні

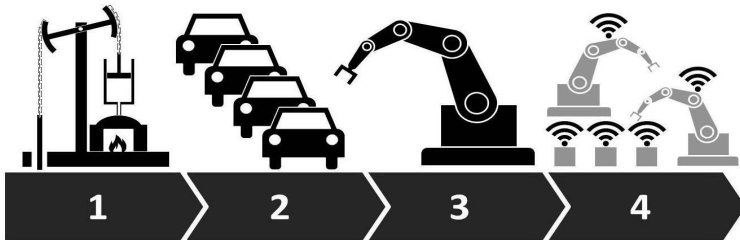


Рисунок 1.3 – Промислові революції

Багато із наведених елементів вже давно й успішно застосовують на практиці, але саме об'єднання їх в одну цілісну систему із якнайменшим або взагалі відсутнім втручанням людини у виробничий процес дозволить розвинути концепцію "Індустрії 4.0" та забезпечити новий рівень ефективності виробництва і додатковий дохід завдяки використанню цифрових технологій, формуванню мережевої взаємодії постачальників і партнерів, а також реалізації інноваційних бізнес-моделей, які сприятимуть радикально новим способам взаємодії в ланцюжку вартості (рис. 1.4). Концепція "Індустрії 4.0" дозволить промисловості збирати та аналізувати дані із різних машин, забезпечуючи більш шви-

дкі, більш ефективні та більш гнучкі процеси виробництва товарів вищої якості за зниженими цінами.

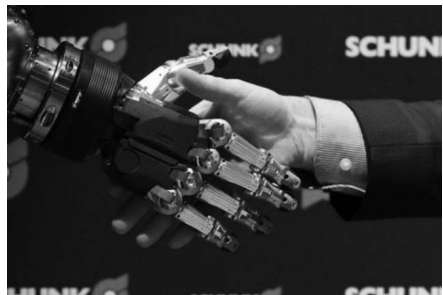
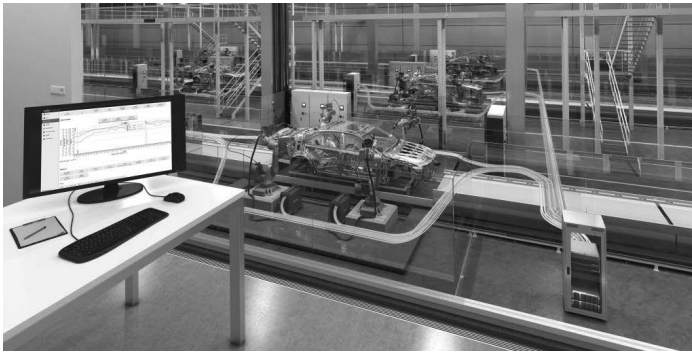


Рисунок 1.4 – Технології Індустрії 4.0

Індустрія 4.0 стирає межі між фізичними, цифровими й біологічними сферами (рис. 1.5, рис. 1.6).



Рисунок 1.5 – Елементи Індустрії 4.0



Рисунок 1.6 – Бездротова передача даних

Наприклад, друк на 3D-принтері може здійснюватися різними способами та із використанням різних матеріалів, але в основі будь-якого із них лежить принцип пошарового створення (виращування) твердого об'єкта. Це універсальний метод створення великого спектра фізичних об'єктів на базі єдиної платформи. Він дає можливість відмовитися від різнорідних підходів щодо вирішення різноманітних завдань на користь єдиного підходу, реалізованого у цифровому вигляді.

## **Технологічні уклади**

*Технологічний уклад* – це історичний підхід до розгляду технологічних процесів від моменту їх виникнення до моменту повного припинення використання [70].

*Перший технологічний уклад* домінував у період 1790-1830-х рр. Технологічними лідерами були Великобританія, Бельгія, Франція. Ядром технологічного укладу стали: текстильна промисловість, текстильне машинобудування, виплавка чавуну, водяний двигун. Ключові чинники: водяний двигун і текстильні машини. Основні переваги: механізація виробництва та його концентрація на фабриках, які забезпечують зростання масштабів виробництва й продуктивності праці.

*Другий технологічний уклад* домінував у період 1840 – 1880-х рр. технологічними лідерами були Великобританія, Франція, Бельгія, Німеччина та США. Ядром технологічного укладу стали: паровий двигун (пароплави, паровози), залізничне будівництво, машинобудування, верстатно-інструментальна промисловість, вугільна та металургійна промисловості. Ключовим фактором став паровий двигун. Основні переваги другого технологічного укладу порівняно із першим технологічним укладом: зростання масштабів і концентрація виробництва на основі механізації праці з використанням парового двигуна.

*Третій технологічний уклад* домінував у період 1890 – 1940-х років. Технологічними лідерами були Німеччина, США, Великобританія, Франція, Бельгія, Швейцарія, Нідерланди. Ядро технологічного укладу: виробництво сталі, електроенергії, неорганічної хімії, електротехнічне та важке машинобудування, кораблебудування. Ключовими чинниками стали: електродвигун, сталь масового застосування. Основні переваги порівняно із другим технологічним укладом: підвищення різноманітності й гнучкості виробництва на основі використання електродвигуна.

*Четвертий технологічний уклад* домінував у період 1940 – 1980-х років. Ядром технологічного укладу стали: двигун внутрішнього згоряння, електроніка, хімізація "зелена революція", електронні обчислювальні машини, банки даних, нафто-вугільна та атомна енергетика.

*П'ятий технологічний уклад* домінував у період 1980 – 2020-й роки. Ядром технологічного укладу стали: мікроелектроніка, біотехнологія мікроорганізмів, персональні комп'ютери, Інтернет, робототехніка, нафтогазова та атомна енергетика. Він є матеріально-технологічним підґрунтям переходу людства до вищого етапу цивілізаційного прогресу.

су – інформаційного постіндустріального суспільства та виражає вищий рівень технології, коли інформація і знання стали новим чинником виробництва.

У даний час отримав розвиток і *шостий технологічний уклад* (рис. 1.7), ядром якого стали: нанотехнології, ракето-космічна техніка, тонка хімія, генна інженерія, біотехнології рослин і тварин, глобальні інформаційні мережі, нові джерела енергії (на основі водневих і термо-ядерних технологій), альтернативна енергетика (у т.ч. воднева).



Рисунок 1.7 – Структура нового VI технологічного укладу

Як видно, перший технологічний уклад утворився під впливом першої промислової революції. Його ключовим чинником були ткацькі машини, а ядром – водяний двигун, виплавка чавуну, обробка заліза, будівництво каналів. Одночасно у цьому укладі зароджується другий технологічний уклад у вигляді парових двигунів і машинобудування. Це забезпечило створення паровозів, пароплавів, а значить, будівництво залізниць, суднобудування, розвиток вугільної та металургійної промисловості. У надрах другого технологічного укладу зароджується третій уклад – виробництво сталі, електроенергії та неорганічної хімії. Ключо-

вим чинником цього укладу став електродвигун, що зумовило розвиток електротехнічного та важкого машинобудування, виробництва неорганічної хімії.

Провідним чинником четвертого укладу стали двигун внутрішнього згоряння та нафтохімія. У цьому укладі народжуються автомобілебудування, кольорова металургія, авіаційна промисловість, видобуток і переробка газу. Ключовим чинником п'ятого укладу стали мікроелектронні компоненти. Вони визначили розвиток таких галузей, як електроніка, обчислювальна техніка, програмне забезпечення, телекомунікації, роботобудування, біотехнології.

Таким чином, перші чотири технологічні уклади є формою індустріальної технології, розвитку машинного виробництва. П'ятий уклад визначає вищу ступінь технології, коли інформація та знання стали новим чинником виробництва. Він є матеріально-технологічною основою переходу людства до вищої стадії цивілізаційного прогресу – інформаційного (постіндустріального) суспільства. П'ятий технологічний уклад тривав до 2020 р., а далі з'явився шостий технологічний уклад, до якого відносять біотехнологію, ракетно-космічну техніку, тонку хімію та ін. Як видно, це досягається шляхом вилучення цих технологій із п'ятого технологічного укладу. Тому шостий технологічний уклад мало чим принципово відрізняється від технологій п'ятого укладу. Отже, й для виділення його в новий уклад мало підстав. Однак вчені припускають у найближчі десятиліття швидкий розвиток біотехнологій та генної інженерії, нанотехнологій, мембранних і квантових технологій. Подорожчання та неминучий дефіцит вуглеводневої сировини вимагає винайдення нових джерел енергії, перш за все, у водневих і термоядерних технологіях. Хоча й тут мають місце біотехнології, як і в п'ятому укладі, але, напевно, суспільство зараз перебуває на початковій стадії цього науково-технічного напрямку й тому тут закладено великі можливості. Вони можуть бути реалізовані у найближчому майбутньому, що зробить шостий технологічний уклад реальністю.

Отже, технологічні уклади – це комплекси, що відображають історичний ступінь розвитку індустріального технологічного способу виробництва. Перехід від парового до електричного двигуна, як більш досконалого та ефективного, визначило формування третього технологічного укладу, сенс якого полягав у перетворенні електроенергії на основний двигун розвитку всієї економіки. Двигун внутрішнього згоряння став

ключовим чинником розвитку четвертого технологічного укладу, представлено автомобілебудуванням, кольоровою металургією, нафтохімією, становленням масового й серійного виробництва.

Паровий двигун, електричний двигун, двигун внутрішнього згоряння – це етапи в удосконаленні енергетичної основи індустріального виробництва.

П'ятий технологічний уклад – електронні вироби, комп'ютери, обчислювальна техніка, програмне забезпечення, телекомунікації та багато іншого – це вже, за суттю, не традиційна індустріальна техніка та не машини в прийнятому розумінні, а засоби нового типу, які працюють не механічно, а на основі команд людини. Завдяки вбудованому в цих засобах мікрокомп'ютеру на напівпровідникових кварцових кристалах із інтегральною схемою, вони наділяються власною пам'яттю, що дозволяє здійснювати певні операції та управляти ними. Нова комп'ютерна техніка, будучи створеною людиною, його розумом, набагато значніше розширює масштаби та обсяги виконуваних операцій, що не під силу людині.

Прискорення науково-технічного прогресу, особливо починаючи із другої половини ХХ століття, зумовило швидкі зміни у техніці та технології, поглиблення взаємодії й взаємопроникнення технологічних укладів, скорочення життєвого циклу технологічних укладів до 40 років і менше. Із цього можна зробити висновок, що технологічний уклад – це техніко-технологічний комплекс, який функціонує на основі технології, яка є особливою в межах єдності технологічного способу виробництва, тобто це комплекс галузей, споріднених єдиними технологічними принципами. Виходячи із наведеної історії розвитку технологічних укладів, цей процес характеризується певними особливостями.

По-перше, технологічна багатокладність є характерною рисою техніко-економічних систем.

По-друге, поєднання еволюційного розвитку із революційними, стрибкоподібними технологічними нововведеннями, які охоплюють різні галузі економіки, призводить до поширення нових більш продуктивних технологій і визначає утворення та розвиток нового технологічного укладу. Інакше кажучи, у процесі розвитку технологічних укладів постійно зникають технологічні кордони й технологічні розриви, безперервний поступальний розвиток змінюється різкими стрибками, переходом до якісно нової технології, у кінцевому підсумку – до нового технологічного укладу.



По-третє, для розвитку технологічних укладів характерно поступально-циклічне зростання, при якому кількісні зміни переходять у якісні, які відкривають нові можливості кількісних змін із подальшим переходом у нову якість. Накопичення капіталу та зміна поколінь техніки і технології зумовлюють нерівномірний розвиток ринкової економіки, її циклічний характер, що диктує необхідність досягнення макроекономічної рівноваги. Тому розвиток технологічних укладів відбувається згідно малих і великих хвиль, тобто великих і малих циклів, виявляється в безперервному коливанні ринкової кон'юнктури, оскільки матеріальною основою промислового циклу є оновлення та розширення основного капіталу. Періодичні кризи, коли відбувається спад виробництва, його депресія, а потім поступово поновлення капіталу за рахунок застосування нової техніки і технології, визначають спочатку поживавлення, а потім і підйом економіки.

### **Інновації та інноваційний процес**

Найважливішим фактором розвитку нових високоефективних технологій, який базується на вищих світових науково-технічних досягненнях, є нововведення, що переходять у багатоступінчатому складному процесі в інновацію.

Термін "інновація" активно використовується у технічній і економічній літературі із переходом України на ринкові відносини. У даний час у літературі є чимало визначень терміну "інновації", аналіз яких показує, що специфічний зміст цих визначень складають зміни [56].

Ще в 1911 році австрійський вчений Шумпетер І. виділив п'ять типових змін, що стосуються нововведень [56]:

- 1) використання нової техніки, нових технологічних процесів або нового ринкового забезпечення виробництва (купівля-продаж);
- 2) впровадження продукції з новими властивостями;
- 3) використання нової сировини;
- 4) зміни в організації виробництва;
- 5) поява нових ринків збуту.

Пізніше, в 1930-і роки, Шумпетер І. ввів поняття "інновації". Методологія системного опису інновацій в умовах ринкової економіки базується на міжнародних стандартах.

Відповідно до міжнародних стандартів *інновація* визначається як кінцевий результат інноваційної діяльності, що одержав втілення у ви-

гляді нового або вдосконаленого продукту, впровадженого на ринку, нового або вдосконаленого технологічного процесу, використовуваного в практичній діяльності, або в новому підході до соціальних послуг [56]. Таким чином, неодмінними властивостями інновації є науково-технічна новизна, виробнича застосовність і комерційна реалізованість.

На практиці нерідко ототожнюють поняття "*новітність*", "*нововведення*" та "*інновація*", хоча між ними існують відмінності. *Новітність* – це новий метод, винахід, новий порядок, нова ідея. *Нововведення* означає, що новітність вже використовується. Із моменту прийняття до поширення нововведення одержує нову якість і стає *інновацією*.

Для успішного управління процесом створення інновацій необхідно розробити класифікацію інновацій та критерії оцінювання ступеня їх новизни. Із урахуванням сфери діяльності підприємства інновації можна розподілити на технологічні, виробничі, економічні, екологічні, торговельні, інтелектуальні, юридичні, соціальні та управлінські.

*За технологічними ознаками інновації розподіляють* на продуктові (наприклад, нові продукти, матеріали, сировина, комплектуючі) та процесні (нові технології та нові організаційні структури).

*Новизна інновацій* оцінюється за технологічними характеристиками й умовами комерційної реалізованості (тобто ринку). За типом новизни на ринку з метою задоволення поточного попиту й збільшення доходів підприємства (фірми), інновації розподіляють на нові на міжнародному рівні, нові для країни та нові для підприємства (хоча відомі на ринку).

Інновацію, як результат, необхідно розглядати нерозривно з інноваційним процесом, розвиток якого протікає за такими трьома стадіями: створення, освоєння й поширення інновацій (рис. 1.8).

На відміну від науково-технічного прогресу інноваційний процес не закінчується так званим впровадженням – першою появою на ринку нового продукту, послуги або доведенням до проектної потужності нової технології. Цей процес не переривається й після впровадження, оскільки мірою поширення (дифузії) нововведення вдосконалюється, становиться більш ефективним, набуває нових споживчих властивостей. Це відкриває для нього нові області застосування, нові ринки, а отже, й нових споживачів, які сприймають даний продукт, технологію або послугу як нові саме для себе. Таким чином, цей процес спрямований на створення необхідних ринків продуктів, технологій або послуг і здійснюється в тісній єдності з середовищем. Його спрямованість, тем-

пи й цілі, залежать від соціально-економічного середовища, в якому він функціонує й розвивається.

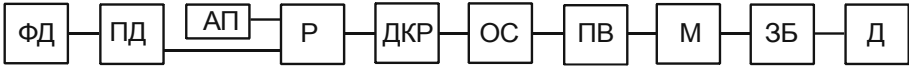


Рисунок 1.8 – Структурна модель системи інноваційного процесу щодо промислового виробництва:

ФД – фундаментальні дослідження;

ПД – прикладні дослідження;

Р – розробки пропозицій;

АП – аналіз патентів, винаходів, публікацій;

ДКР – дослідно-конструкторські роботи;

ОС – освоєння промислових виробництв нової продукції;

ПВ – промислове виробництво;

М – маркетинг;

ЗБ – збут продукції;

Д – дифузії, тобто поширення вже один раз успішно впровадженої інновації.

Кожна з трьох зазначених вище стадій інноваційного процесу (створення, освоєння й поширення інновацій) вимагає значних фінансових витрат. Процес фінансування інноваційного процесу залежить від структури інноваційної групи, національних особливостей, включаючи ринкові відносини. Так, практика організації пошукових досліджень в США породила своєрідну форму підприємництва – ризиковий (венчурний) бізнес, який представляється невеликими фірмами, що спеціалізуються на дослідженнях, розробках, виробництві нової продукції.

*Венчурні фірми* створюють вчені – дослідники, винахідники, інженери, які прагнуть з розрахунком на матеріальну вигоду втілити в життя новітні досягнення науки й техніки. Ринок венчурного (ризикового) капіталу в США в 1987 році становив \$29 млрд., з яких до 70 % фінансувалися такі пріоритетні напрями розвитку галузей, як інформаційна технологія, виробництво нових матеріалів і біотехнологія.

*Венчурний капітал* формувався за рахунок вкладення коштів великих компаній, банків, держави, страхових, пенсійних та інших фондів, а також особистих заощаджень засновників фірми. При виділенні кош-

тів на фінансування інноваційних проєктів, як показав досвід венчурного капіталу 1980-х років, в першу чергу враховувався професіоналізм працівників фірми, а потім, послідовно з послаблюючим впливом, враховувалися: наявність ринкової ніші, технічні можливості фірми, час окупності вкладень, частка участі в фінансованій фірмі [56].

Одну з технічних систем інноваційного процесу товарного виробництва можна подати у вигляді поєднання наступних елементів: ескізного опрацювання з виготовленням макета або досвідченого зразка, робочого проєктування, промислового впровадження, маркетингового дослідження, збуту товару.

На стадії фундаментальних досліджень розробляється теорія питання, яка становить фундамент інновації. Із практики відомо, що тільки невелика частина (менше 10 %) фундаментальних досліджень втілюється в нових продуктах чи технологіях, значно більше вони проявляються в потенційному зростанні науково-технічного прогресу, в підвищенні сприйнятливості суспільства до інновацій.

У процесі прикладних досліджень складається технічне завдання, яке на основі розроблених ескізного та робочого проєктів доводиться до промислового виробництва, при цьому значну увагу приділяють технічній підготовці виробництва.

На завершальній стадії інноваційного процесу забезпечується комерційна реалізація інновації, або новий підхід до соціальних послуг.

*Інноваційна маркетингова діяльність* заснована на вивченні патентів (і *ноу-хау*), що є джерелом інформації про новітні науково-технічні досягнення, знання яких дозволяє визначити новизну інновацій та прогнозувати напрями й темпи розвитку певних технологій.

Необхідно зазначити, що в останні роки з'явився значний попит на інноваційні процеси, що мають програмний характер. Таким чином, можна сформулювати основні положення відносно інноваційних технологій.

*Інновація* – це нововведення в галузі техніки, технології, організації праці або управління, засноване на використанні досягнень науки й передового досвіду, що забезпечує якісне підвищення ефективності виробничої системи або якості продукції. Інновація – це не будь-яке нововведення, а тільки таке, яке суттєво підвищує ефективність діючої системи.

*Технологія* – це комплекс організаційних заходів, операцій і прийомів, спрямованих на виготовлення, обслуговування, ремонт та/або

експлуатацію виробів з номінальною якістю та оптимальними витратами. Все розмаїття інновацій можна класифікувати за рядом ознак.

*1. За ступенем новизни:*

- радикальні (базисні) інновації, які реалізують відкриття, великі винаходи й стають основою формування нових поколінь і напрямків розвитку техніки та технології;

- поліпшують інновації, які реалізують середні винаходи;

- модифікаційні інновації, спрямовані на часткове поліпшення застарілих поколінь техніки та технології, організації виробництва.

*2. За об'єктом застосування:*

- продуктові інновації, орієнтовані на виробництво й використання нових продуктів (послуг) або нових матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих;

- технологічні інновації, націлені на створення й застосування нової технології;

- процесні інновації, орієнтовані на створення й функціонування нових організаційної структур, як всередині фірми, так і на міжфірмовому рівні;

- комплексні інновації, що представляють собою поєднання різних інновацій.

*3. За масштабами застосування:*

- галузеві;

- міжгалузеві;

- регіональні;

- в межах підприємства (фірми).

*4. За причинами виникнення:*

- реактивні (адаптивні) інновації, що забезпечують виживання фірми, як реакція на нововведення, які здійснюються конкурентами;

- стратегічні інновації – це інновації, реалізація яких носить попереджуючий характер з метою отримання конкурентних переваг в перспективі.

*5. За ефективністю:*

- економічна;

- соціальна;

- екологічна;

- інтегральна.

## **Напрями розвитку технологій виробництва на сучасному етапі**

Основою підвищення ефективності виробництва є *науково-технічний прогрес* (НТП). Рівень досконалості або прогресивності застосовуваних технологій визначається базовою технологією, покладеною в основу, а також технологічними засобами їх реалізацій, що залежать від загального науково-технічного потенціалу країни.

Рівень технології, як і оцінювання будь-якого об'єкту або процесу, є відносним критерієм. Він пов'язаний із соціально-економічними потребами суспільства, станом науки й техніки у даний момент у межах середовища спілкування, тобто пов'язаний зі станом і доступністю інформації щодо предмету оцінювання. Виходячи із цього, слід розрізняти технології за рівнем:

*примітивні технології* – на основі найпростіших знарядь;

*прості послідовні технології* – з використанням простих механізмів, пристосувань з ручними приводами;

*машинні технології* (рутинні, індустріальні) – на основі верстатів, машин із зовнішніми джерелами енергії або їх перетворювачами;

*високі технології*, які ще називають "наукомісткими", "прецизійними", "ультрапрецизійними", "тонкими", "нанотехнологіями" та ін., залежні від тих ознак технологічного процесу або властивостей виробу, які вважають визначальними.

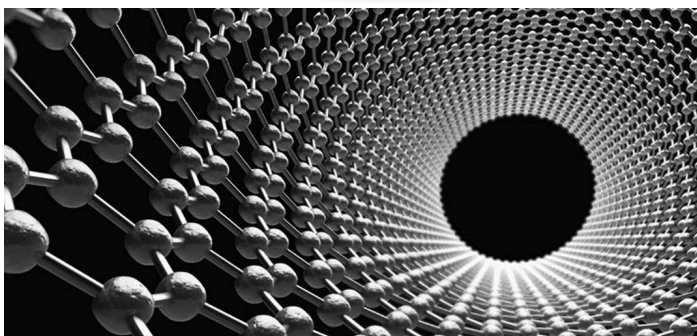
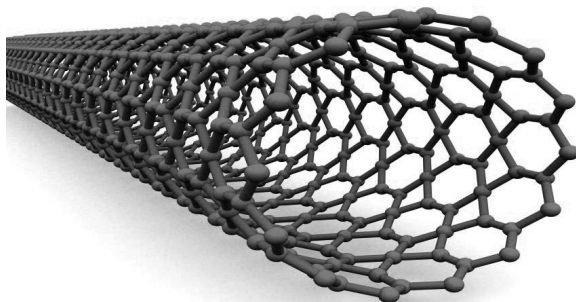
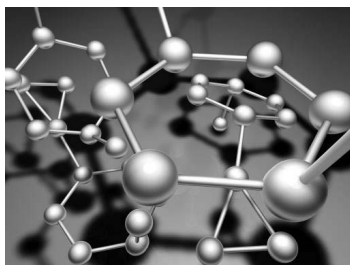
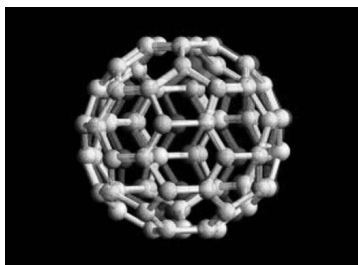
*Високі технології* – це нетрадиційні найбільш нові та прогресивні технології сучасності, які є найважливішою ланкою науково-технічної революції (НТР) на сучасному етапі.

До високих технологій відносяться найбільш наукомісткі галузі промисловості: мікроелектроніка, обчислювальна техніка, робототехніка, атомна енергетика, літакобудування, космічна техніка, мікробіологічна промисловість.

### **Високі технології**

***Нанотехнології.*** *Нанонаука* – це дослідження явищ і об'єктів на атомарному, молекулярному й макромолекулярному рівнях, характеристики яких суттєво відрізняються від властивостей їх макроаналогів.

*Нанотехнології* – це конструювання, характеристика, виробництво й застосування структур, приладів і систем, властивості яких визначаються їх формою й розміром на нанометровому рівні.



Іншими словами, нанотехнологія пов'язана з методами виробництва та застосування продуктів із заданою атомарною структурою шляхом контрольованого маніпулювання окремими атомами й молекулами. Нанотехнологія передбачає знання й управління процесами в масштабі 1 нм ... 100 нм (де  $1 \text{ нм} = 10^{-3} \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ мм} = 10^{-9} \text{ м}$ ). Продуктами нанотехнологій є більш досконалі матеріали, прилади та системи, що реалізують нові технологічні властивості [78].

Поняття "нанотехнологія" введено в обіг в 1974 році японським вченим Норіо Танігучі, який займався підвищенням точності та якості

обробки виробів (деталей). Потрібно було зменшити шорсткість обробленої поверхні до рівня приблизно 10 нм при виготовленні ходового гвинта підводного човна. Вважалося, що при цій шорсткості оброблена поверхня приймала нові технологічні властивості, що фактично виключали шум ходового гвинта, і акустикою складно було виявити підводний човен в підводному положенні.

Суть нанотехнології полягає в тому, що дріблення матерії призводить до нових властивостей. Якщо працювати на рівні атома, то це призводить, згідно із законами атомної фізики, до ланцюгової реакції, яка використовується у військових цілях (при створенні атомної бомби) і в мирних цілях (при створенні атомних електростанцій). Якщо працювати з невеликою групою атомів, то частка атомів, розташованих на їх поверхні, є визначальною у формуванні нових властивостей об'єкта, оскільки властивості цих "поверхневих" атомів відрізняються від властивостей цих же атомів у великому обсязі (на макрорівні). Саме це є однією з причин прояви нових властивостей на нанорівні [45].

Іншою причиною зміни властивостей є те, що на цьому розмірному рівні починає проявлятися дія законів квантової механіки, тобто рівень нанорозмірів – це рівень переходу від класичної механіки до квантової механіки. Як відомо, самими непередбачуваними у цьому випадку є перехідні стани.

До середини ХХ століття фахівці навчилися працювати як з масою атомів, так і з одним атомом. Згодом стало очевидно, що "маленька купка атомів" – це щось інше, не зовсім схоже ні на масу атомів, ні на окремий атом. Мабуть, вперше, вчені й технологи впритул зіткнулися з цією проблемою в фізиці напівпровідників. У своєму прагненні до мініатюризації вони дійшли до таких розмірів частинок (кілька десятків нанометрів і менше), при яких їх оптичні й електронні властивості почали різко відрізнятися від таких же для частинок "звичайних" розмірів. Саме тоді стало остаточно зрозуміло, що шкала "нанорозмірів" – це особлива область, відмінна від області існування макрочастин або суцільних середовищ. Тому справжня нанотехнологія починається з моменту появи нових властивостей речовин, пов'язаних з переходом до масштабів, що відрізняються від властивостей об'ємних матеріалів. Отже, найсуттєвішою й найважливішою якістю наночастин, основною відмінністю їх від мікро- і макрочастин є поява у них принципово нових властивостей, які не виявляються при інших розмірах.



Часто першим нанотехнологом називали героя оповідання письменника Лєскова М. С. – Лівшу, який викував маленькі (мініатюрні) цвяхи й ними підкував блоху. Однак вони так і залишилися цвяхами й не змінили своїх функціональних та інших властивостей (утримувати підкову). Це приклад мініатюризації, а не приклад нанотехнології. А ось в фантастичному оповіданні "Мікроруки" Бориса Житкова описано приклад нанотехнології, тобто зміни властивостей зі зменшенням розмірів речовини: "Мені потрібно було витягнути тонкий дріт – тобто тієї товщини, яка для моїх живих рук була б як волосся. Я працював і дивився в мікроскоп, як простягали мідь мікроруки. Ось тонше, тонше – ще залишилося протягнути п'ять разів – і тут дріт рвався. Навіть не рвався – він розсипався, як зроблений з глини. Розсипався в дрібний пісок. Це була знаменита своєю в'язкістю червона мідь".

Використання в нанотехнології передових наукових досягнень дозволяє відносити нанотехнологію до високих технологій. Так, розвиток сучасної електроніки йде шляхом зменшення розмірів пристроїв. Однак існує межа зменшення розмірів пристроїв, якщо використовувати класичні методи виробництва. У цих умовах на досить мале зменшення розмірів пристрою доводиться за експонентним законом збільшувати економічні витрати, що стає неефективно. Тому застосування нанотехнологій є важливим кроком розвитку електроніки та інших наукоємних виробництв.

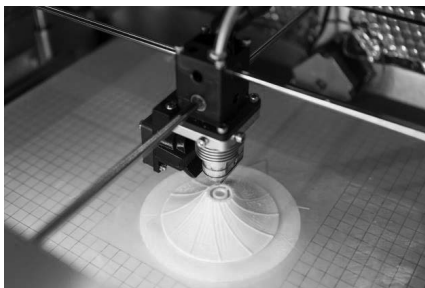
***Інтегрований робочий процес прискореного формоутворення виробу або його прототипу – Rapid Prototyping (RP).*** Виготовлення моделей і прототипів, необхідних в рамках створення виробу, відбувається, як правило, за допомогою звичайних технологій, за необхідності у комбінації із ливарним виробництвом. Зокрема, тут знаходять застосування NC – фрезерні верстати, копіювальні фрезерні, токарні верстати та ін. Крім того, ці моделі вручну збирають, склеюють, скріплюють.

Нові етапи розвитку науки, інформатики, техніки CNC, лазерної технології та ін. [29, 47] дозволили перейти до інтегрованих способів прискореного формоутворення, позбутися від декількох фаз створення прототипів, розглянутих раніше.

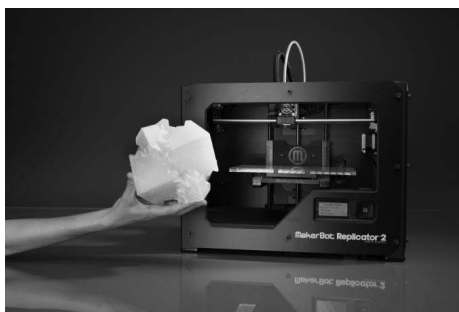
***Суть методу.*** Інтегрований робочий процес прискореного виготовлення деталей або їх прототипів є органічне поєднання можливостей комп'ютерних технологій обробки інформації та трьохкоординатно-

го моделювання (CAD) і сучасних способів виготовлення. Спосіб дозволяє у часі та просторі поєднати або надзвичайно зблизити конструювання і виготовлення типової або одиначної моделі (безпосередньо деталі) та скоротити час на їх виготовлення залежно від ступеня складності на 30 ... 70 %.

Цей генеративний процес, який отримав назву Rapid Prototyping, зародився близько 40 років тому. Але вже зараз, за даними дослідників, у світі існує приблизно до 2000 установок, що працюють за ідеологією Rapid Prototyping, у яких реалізуються різні принципи. Області застосування цього робочого процесу найширші: машинобудування, авіація, космічні дослідження, автомобілебудування, електроніка, медицина, бізнес та ін. Сьогодні можна стверджувати: сучасні ті галузі, де застосовується Rapid Prototyping [6, 7, 17, 56].



3D-сканер



3D-принтер

Ідеологія прискореного формоутворення виробу (моделі, прототипу) базується на: можливості комп'ютерного автоматизованого проектування виробу (за кресленням, аналітичними залежностями або ре-

зультатам вимірювань), комп'ютерної оптимізації його конструкції, виходячи із вимог дизайну, форми, функціональних властивостей CAD); трансформації трикоординатної моделі у сукупність пошарових двовимірних, двокоординатних моделей; можливості відтворити цю сукупність пошарових моделей, тобто матеріалізувати всю модель єдиним цілим, як твердотільний виріб або його прототип (CAM).

*Способи матеріалізації 3D CAD-моделей* є найважливішою складовою інтегрованого робочого процесу прискореного формоутворення, виготовлення виробів або їх прототипів, оскільки саме вони багато у чому визначають скорочення часу створення виробу, продукту довільної, найскладнішої форми; ступінь підвищення якості виробу; скорочення сумарних виробничих витрат. У сукупності ці чинники визначають конкурентоспроможність продукту на ринку [6, 7, 17, 56].

Розроблені до теперішнього часу способи матеріалізації теоретичних моделей різні за багатьма ознаками, технологічними можливостями та ін. Однак всім існуючим способам притаманно багато спільного:

- всі прототипи або вироби виготовляються на основі даних 3D CAD-моделювання;
- всі прототипи або вироби виготовляються пошарово;
- власне виріб або його прототип отримують не шляхом відділення, зняття припуску із заготовки, а за допомогою нарощування, додавання матеріалу;
- нарощування матеріалу в процесі формоутворення відбувається у перехідній його фазі від рідкого або порошкоподібного до твердого стану;
- виготовлення конструктивного елемента не вимагає форм або інструменту, тому відпадають проблеми, пов'язані зі зношуванням інструменту в процесі формоутворення різанням, штампуванням, куванням та ін.;
- відсутність обмежень, пов'язаних із складністю форми виробу (внутрішні порожнини, складні внутрішні або зовнішні поверхні): чим складніше конфігурація виробу, тим більше перевага процесу;
- різке скорочення витрат часу;
- ефективність всіх способів RP суттєво підвищується за їх комбінації зі завершальною технологією виготовлення твердотільних виробів – вакуумне лиття, лиття під тиском та інші його види.

Указані способи отримали умовне позначення, що складається із початкових літер слів, які визначають назву способів матеріалізації (RP):

- SL (SLA) – Stereolithography – спосіб стереолітографії;
- SLS (LS) – Selective Laser Sintering – виборне лазерне спікання;
- LOM – Laminated Object Manufacturing – виготовлення шаруватих об'єктів;
- FDM – Fused Deposition Modeling – моделювання опалюванням;
- SGC – Solid Ground Curing – основний термічний вплив;
- BPM – Ballistic Particle Manufacturing – виготовлення із використанням балістики;
- DLF – Directed Light Fabrication – виготовлення спрямованим світлом;
- DSPC – Direct Shell Production Casting – пряме блочне виготовлення оболонки;
- MJS – Multiphase Jet Solidification – багатофазне затвердіння струменя;
- 3D-printing – TDP – Three Dimensional Printing – за принципом трикоординатного глибокого друку.

Ці способи можна класифікувати за ознаками: стан вихідного матеріалу, використання лазерної техніки та ін. Способи можна згрупувати також за марками застосовуваних матеріалів:

- фотополімери – SLA, SGC;
- термопласти – SLS, SL, FDM;
- віск – SLS, SL, FDM;
- папір, фольга – LOM;
- кераміка – TDP;
- метали – SLS, FDM, MJS.

Далі розглянемо принципи і сутність основних із застосовуваних способів матеріалізації тривимірних математичних моделей виробів.

*Спосіб стереолітографії (SL).* За цим способом геометричне відтворення деталі здійснюється пошарово дисперсійним твердінням рідкого фотополімеру за допомогою UV-лазера (фотополімеризація) (рис. 1.9). Звичайні товщини шару складають 0,05 до 0,2 мм. На основі 3D CAD-даних для окремих площин перетину розробляють управляючі програми для XY-сканування поверхні рідкого фотополімеру.

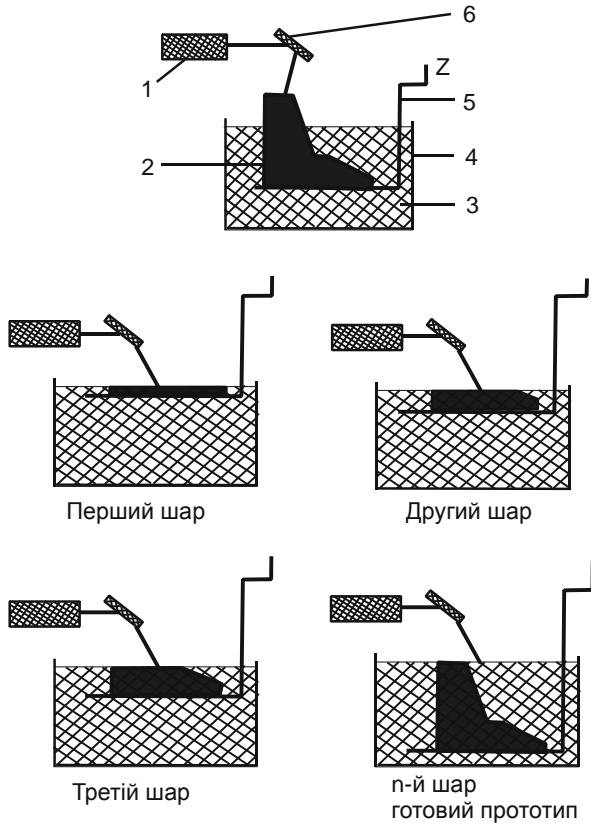


Рисунок 1.9 – Схема отримання тривимірної твердотільної моделі пошаровим нарощуванням за способом стереолітографії: 1 – лазер; 2 – виріб; 3 – рідкий полімер; 4 – ванна; 5 – рухома платформа; 6 – дзеркало, що керує скануванням лазерного променя

Конструктивний елемент будується поступово на платформі носія, яка знаходиться на початку обробки безпосередньо під поверхнею полімеру. Промінь лазера, керований комп'ютером, проходить вздовж поверхні рідкого полімеру, "скануючи" її частину відповідно до конфігурації першого шару. Відбувається дисперсійне твердіння цього шару рідкого фотополімеру, після чого платформа носія опускається на величину, рівну товщині твердого шару. Так послідовно відбувається відтворення тривимірної геометрії конструктивного елемента.

SL-метод сьогодні є найточнішим. Із його допомогою можна виготовити дуже складні геометричні поверхні із внутрішніми порожнечами та найтоншими стінками і отворами у субмікрооб'ємах.

Стереолітографія пов'язана із фотополімерами, а, значить, світочутливі властивості, що стосуються цього, домінують над усіма іншими властивостями матеріалу, такими як твердість, еластичність, температурна стійкість.

SL-метод не тільки найточніший та найвідоміший RP-метод, але й найбільш поширений у світі: 50 % всіх RP-пристроїв припадає на стереолітографію.

Типовими прикладами для способу SL є корпусні деталі. Складні тонкостінні вироби виготовляються із високою точністю та якістю.

Прототип служить для перевірки конструкції, перевірки ергономіки і дизайну, виробництва і монтажу, а також для комунікації, аргументації під час переговорів із підприємствами-постачальниками. Раніше виготовлення зразків деталей звичайними методами побудови моделей займало кілька тижнів, а завдяки застосуванню SL цей термін скорочується у 8 разів. Повний процес виробництва конструктивного елемента (КЕ) включає очищення, остаточне загартування та ручне доопрацювання.

Широкі можливості різних способів матеріалізації тривимірних математичних моделей визначають винятково високий темп, із яким реалізується на практиці ідеологія RP. Близько 25 % діючих установок використовується в автомобільній індустрії, до 15 % – в електротехніці, включаючи побутове призначення, до 7 % – у медицині, до 5 % – у верстатобудуванні та інструментальному виробництві. Дослідження підтверджують, що пряме отримання деталей або їх моделей методами RP забезпечує якість поверхні за критерієм шорсткості обробки, що наближається до можливостей фрезерування та навіть шліфування. Шляхом раціоналізації процесу RP та облагородження моделі покриттями зносостійкість виробів вдається підвищити у 3 – 5 разів. Тому провідні авіабудівні та автомобілебудівні фірми із цією технологією пов'язують суттєве скорочення часу та фінансових витрат на розробку нової продукції.

### **Методи моделювання та оптимізації технологічних систем**

Кожному із нас постійно доводиться приймати різні рішення. Очевидно, перш ніж його прийняти, ми обдумуємо, аналізуємо ситуацію,

шукаємо правильні варіанти – і лише після цього обираємо найкращий із нашої точки зору варіант та приймаємо рішення. Наскільки правильний ми вибрали варіант – оцінюємо за результатами реалізації рішення, його практичного втілення чи-то на рівні побутових речей, чи-то під час вирішення технічних завдань. Процес прийняття правильного рішення є надзвичайно складним, він залежить від досвіду людини у тій чи іншій сфері, від рівня знань тощо. Чим глибше і повніше ми можемо проаналізувати сутність досліджуваного об'єкта або явища, тим правильніше може бути прийняте рішення.

Сьогодні технічні та технологічні системи є дуже складними системами. Наука і техніка отримали великий розвиток: створено і запущено у космос ракети, отримано атомну енергію і використано її у мирних цілях. За всім цим стоїть величезна людська праця, процеси пізнання, процеси створення найпотужніших фізико-математичних теорій, проведення великої кількості складних експериментальних досліджень. Для цих цілей країни постійно виділяють і продовжують виділяти значні фінансові та матеріальні кошти.

Так, до вирішення проблеми управління ядерною реакцією свого часу був підключений величезний науковий потенціал: десятки науково-дослідних інститутів, конструкторських організацій, дослідних виробництв і заводів. Цією проблемою займалися фізики-атомники, хіміки, механіки, фахівці із теплофізики та багатьох інших напрямів науки. І все це було направлено на вивчення процесу атомної реакції та можливості управління нею. За суттю, вирішувалося завдання моделювання умов протікання ядерної реакції для того, щоб можна було прийняти правильне рішення із управління нею та створення атомних електростанцій, тобто використання атомної енергії у мирних цілях. Таким чином, ми підійшли до понять "моделювання" і "моделі", які у даний час мають першорядне значення у техніці, науці та інших сферах людської діяльності.

У науці прийнято моделі розділяти на фізичні та абстрактні [42].

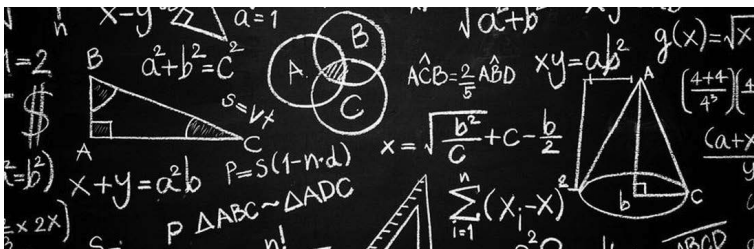
Фізичні моделі утворюються із сукупності матеріальних об'єктів. До фізичних моделей можна віднести макет машини або приладу. Однак фізичні моделі мають обмежене застосування, оскільки для багатьох явищ і процесів їх неможливо побудувати.

Що таке абстрактні моделі? Це словесний опис досліджуваного об'єкта, уявлення його у вигляді креслення, схеми, таблиці, алгоритму

або програми, математичної залежності та ін. Найбільшого поширення із абстрактних моделей отримали математичні моделі, які подають досліджуваний процес або явище в формі математичних виразів (формул, рівнянь, нерівностей та ін.). Їх можна розробити як чисто аналітичним шляхом, так і на основі експериментальних досліджень.

Із найпростішими математичними моделями ми всі пов'язані ще із школи, коли вивчали фізику та математику. Закони Ньютона, Ома та ін., що виражені формулами, це і є математичні моделі механічних і електричних процесів.

Рівень пізнання досліджуваного процесу залежить від того, який використовується математичний апарат. У школі ми мали справу із арифметикою, алгеброю, геометрією, тригонометрією.



Це початкові знання математики. Однак цих знань недостатньо для більш глибокого математичного моделювання. Тому необхідно вивчати вищу математику, включаючи диференціальне та інтегральне числення, математичну фізику, теорію імовірностей, статистику та інші дисципліни. Це дозволяє на більш високому рівні вирішувати технічні завдання із використанням методів математичного моделювання.

Будь-яка модель описує модельований об'єкт із певними припущеннями. "Осягнути" неосяжне не можна. За суттю, *моделлю* називають відображення окремих характеристик об'єкта із метою його вивчення. Модель дозволяє виділити із досліджуваного об'єкта лише необхідні для вирішення проблеми. Наприклад, якщо вивчаємо технологічний процес механічної обробки деталей (різцем, фрезою або шліфувальним кругом), то необхідно побудувати математичні моделі кінематики процесу або статички чи динаміки процесу. Так, у кінематичній моделі не розглядаються сили різання, а моделюються кінематичні рухи деталі та інструменту, встановлюються параметри зрізу. У динаміч-



ній моделі процес обробки вивчається із позицій зміни сили різання, швидкості та прискорення переміщення, інерційності процесу та ін. [60].

Із сказаного витікає, що модель – це не точна копія процесу, а відображення тільки певної частини її властивостей. Тому основне завдання моделювання полягає у розумному спрощення моделі, тобто у виборі ступеня подібності (або відповідності) моделі та об'єкта. Якщо у математичну модель включити забагато властивостей об'єкта, то можна отримати складну система рівнянь із великою кількістю невідомих параметрів і невідомих функцій. Вирішити її буде дуже складно. І, навпаки, якщо прийняти занадто спрощену математичну модель, то у підсумку може виявитися, що вона не розкриває повною мірою явища, що задовольняють заданим умовам. Отже, під час побудови математичної моделі треба відокремити головні властивості від другорядних, і в першому наближенні другорядними властивостями знехтувати. Однак відділення головних властивостей об'єкта від другорядних у моделі – це мистецтво, творчість, яка потребує високих знань предмету і досвіду моделювання, тобто потрібні дуже глибокі фізико-математичні знання, які фахівець може отримати у вищому навчальному закладі.

Після побудови математичної моделі процесу, можна підійти до вибору оптимального (найкращого) рішення. При цьому необхідно визначити межі існування моделі, тобто накласти на математичні залежності обмеження. Під час вибору оптимального рішення слід обрати критерій оптимальності. Щодо технологічних процесів це може бути максимальна продуктивність, мінімальна собівартість, мінімальна шорсткість обробленої поверхні, мінімальні сили різання і енергоємність процесу та ін. [35, 36, 38, 42, 67].

Критерій оптимальності подається у математичній формі у вигляді функції, яку ще називають функцією мети або цільовою функцією.

Розрізняють два види оптимізації технологічних процесів: структурну і параметричну. Структурна оптимізація характеризує вибір оптимальної структури технологічного процесу (маршрут обробки, наприклад, попередня та остаточна обробка на різних верстатах). Параметрична оптимізація забезпечує отримання оптимальних технологічних параметрів на конкретних операціях обробки (точіння, свердління, фрезерування, шліфування): розрахунок параметрів режимів різання, стійкості інструменту, визначення допусків на міжопераційні розміри та ін. Структурна оптимізація складніша, ніж параметрична.

Оптимізація може бути якісною та кількісною. Якісна оптимізація заснована на суб'єктивному досвіді, здоровому глузді, на основі довідкових даних і типових рішень. У виробництві вона переважає.

Параметрична оптимізація за характером є кількісною, оскільки дає вихід на оптимальні параметри режиму різання та ін. Структурна оптимізація може бути якісною та кількісною.

Традиційний метод оптимізації структури технологічного процесу полягає у багаторазовій оптимізації параметрів і подальшому виборі тієї структури, у якій цільова функція у точці екстремуму мінімальна або максимальна. Недоліком такого методу є складність і тривалість процедури оптимізації, оскільки необхідно спочатку провести параметричну оптимізацію всіх процесів (попередньої та остаточної обробки), потім перебрати різні варіанти досягнення поставленої мети, проаналізувати комбінації та вибрати найкращий варіант.

**Знаходження екстремумів цільової функції.** У загальному випадку досліджувана функція може мати складний вигляд (рис. 1.10). Тому необхідно досліджувати функцію на екстремуми методами вищої математики, знайти точки всіх максимумів і мінімумів, знайти значення функції на границях.

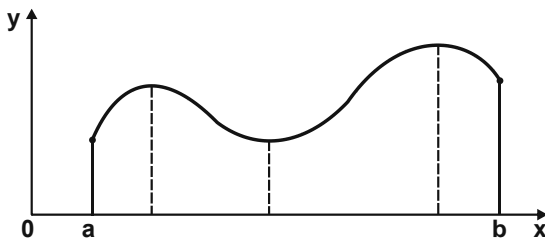


Рисунок 1.10 – Графік функції із екстремумами

Якщо в якості критерію оптимальності необхідно забезпечити найменше значення, то слід порівняти значення у точках мінімумів із граничними значеннями і вибрати найменше. Це й буде рішенням оптимізації. Якщо в якості критерію оптимальності необхідно забезпечити максимальне значення, то слід порівняти значення у точках максимумів із граничними значеннями і вибрати найбільше. Найбільше і найменше значення визначають глобальні оптимуми, а проміжні екстремуми – локальні оптимуми.

**Приклад 1.1. Оптимізація параметрів режимів різання.** Вирішенню задач оптимізації параметрів режимів різання, характеристик інструментів та інших параметрів механічної обробки у науково-технічній літературі постійно приділяють велику увагу [1, 11, 16, 18, 31, 32, 39, 42, 50, 53, 54, 62, 67]. Для цього розроблено нормативи режимів різання основних видів механічної обробки, які дозволяють науково обґрунтовано підійти до проектування ефективних технологічних процесів виготовлення деталей машин.

Одним із перших завдань із оптимізації параметрів механічної обробки є завдання визначення оптимальних параметрів режимів різання під час токарної обробки (рис. 1.15 [42, 60]) із урахуванням обмежень та граничних умов. Для вирішення цього завдання розроблено математичну модель, яка включає цільову функцію (ЦФ), граничні умови (ГРУ) та обмеження (ОБМ).

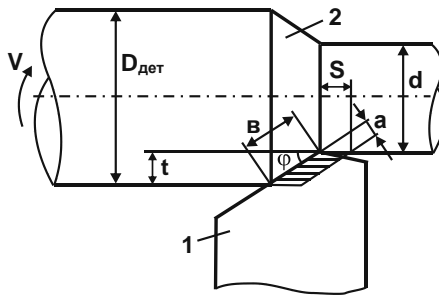


Рисунок 1.15 – Розрахункова схема поздовжнього точіння:  
1 – різець; 2 – оброблювана деталь

Машинний час  $T_0$  визначають за залежністю:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S}. \quad (1.1)$$

Цільовою функцією прийнято машинний час:

$$\min T_0 = \frac{L}{n \cdot S} \rightarrow \max (F > n \cdot S). \quad (\text{ЦФ})$$

Прийняті обмеження щодо ріжучої здатності інструменту, потужності приводу головного руху верстата та продуктивності обробки визначаються за умовами:

$$\left\{ \begin{array}{l} n \cdot S^{y_v} \leq \frac{1000 \cdot C_v \cdot D^{z_v} \cdot K_v}{\pi \cdot T_H^m \cdot t^{x_v}} \text{ (ріжуча здатність інструмента)} \\ n^{z_{p_z}+1} \cdot S^{y_{p_z}} \leq \frac{6120 \cdot 10^{3(z_{p_z}+1)} \cdot N_{дв} \cdot \eta}{C_{p_z} \cdot (\pi \cdot D)^{z_{p_z}+1} \cdot K_{p_z}} \text{ (потужність привода) (ОБМ)} \\ n \cdot S \geq \frac{n \cdot l_{в,р}}{60 \cdot k_3 \cdot r_d - T_{доп} \cdot П} \text{ (продуктивність обробки).} \end{array} \right.$$

Прийняті граничні значення частоти обертання шпинделя та поздовжньої подачі визначаються за умовами:

$$\left\{ \begin{array}{l} n_{\min} \leq n \leq n_{\max} \\ S_{\min} \leq S \leq S_{\max} \end{array} \right., \quad (\text{ГРУ})$$

де  $n$ ,  $S$  – відповідно, частота обертання шпинделя та поздовжня подача (параметри оптимізації);

$T_H$  – нормативна стійкість ріжучого інструменту;

$D$  – діаметр оброблюваної деталі;

$t$  – глибина різання;

$C_v$  і  $C_{p_z}$  – постійні коефіцієнти;

$l_{в,р}$  – виліт різця;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження обладнання;

$r_d$  – кількість одночасно оброблюваних деталей;

$П$  – задана продуктивність обробки;

$L$  – довжина переміщення різця;

$T_{доп}$  – допоміжний час;

$N_{дв}$  – потужність приводу головного руху верстата;

$\eta$  – к. к. д. приводу.

У даній математичній моделі система обмежень (ОБМ) та цільова функція (ЦФ) нелінійні. Якщо праві частини у нерівностях обмежень (ОБМ) позначити літерою  $P$  із відповідними індексами та представити систему обмежень та цільову функцію у логарифмічних координатах, то розв'язання завдання оптимізації математичної моделі суттєво спроститься.

Після перетворень умови оптимізації у новій постановці набувають вигляду:

$$\begin{aligned}
 F_1 = \ln F = \alpha + \beta &\rightarrow \max ; \\
 \alpha = \ln S; \quad \beta = \ln(n); \\
 \beta + y_v \cdot \alpha &\leq \ln P_{pc}; \\
 (n_z + 1) \cdot \beta + y_z \cdot \alpha &< \ln P_{пл}; \\
 \beta + \alpha &\geq \ln P_{пр}; \\
 \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; \quad \beta_{\min} \leq \beta \leq \beta_{\max}.
 \end{aligned}
 \tag{1.2}$$

У цьому випадку максимум цільової функції знаходиться у вершині заштрихованого багатокутника – області допустимих значень оптимізованих параметрів (рис. 1.16). Ця вершина найбільш віддалена від початку координат ( $n^*, S^*$ ). Оптимальне вирішення задачі із цією математичною моделлю отримано у роботі [42] чисельним методом.

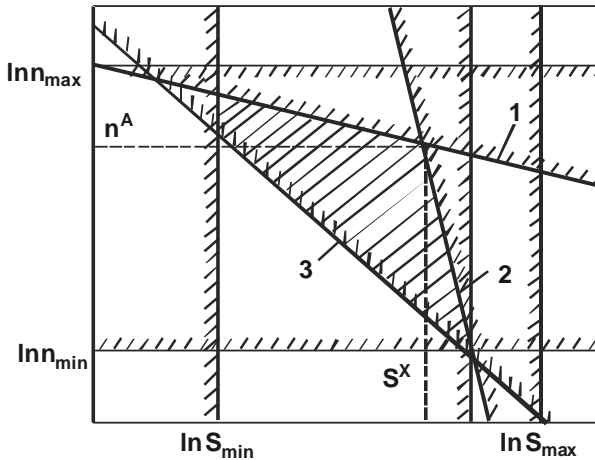


Рисунок 1.16 – Область допустимих значень параметрів, що оптимізуються: 1 – ріжуча здатність інструменту; 2 – потужність приводу; 3 – продуктивність обробки

Як видно, у цьому рішенні цільовою функцією прийнято машинний час, тоді як на практиці, поряд зі зниженням машинного часу, важливо забезпечити і зниження собівартості обробки. Це вимагає проведення оптимізації параметрів механічної обробки за двома критеріями оптимальності: найменшому машинному часу обробки (або максимальній продуктивності) і найменшій собівартості, для чого необхідно розробити математичну модель визначення собівартості обробки.

У роботі [68] показано, що собівартість обробки та штучний час (трудомісткість обробки) зі збільшенням швидкості різання спочатку зменшуються, потім збільшуються, проходячи точку мінімуму (рис. 1.17). Мінімуми у даному випадку обумовлені збільшенням зношування ріжучого інструменту та витрат на його заміну.

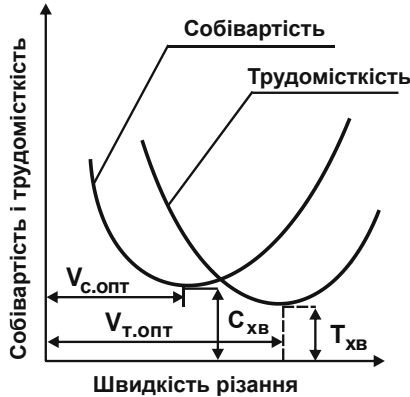


Рисунок 1.17 – Залежність собівартості та трудомісткості обробки від швидкості різання

Як витікає із рис. 1.17, мінімуми собівартості та штучного часу обробки не збігаються. Швидкість різання, оптимальна за собівартістю обробки, завжди менше за оптимальну швидкість різання за штучним часом (трудомісткістю обробки). Даний висновок узгоджується із результатами експериментальних досліджень технологічної собівартості та трудомісткості обробки (штучно-калькуляційного часу), отриманими під час розточування отвору зубчастого колеса зі сталі 12Х2Н4А діаметром  $30_{+0,1}$  за 7-им квалітетом точності та параметром шорсткості поверхні  $R_z = 3$  мкм на токарному верстаті 1К62, а також під час обробки даного отвору протягуванням:

Технологічна собівартість обробки (грн):

під час протягування	0,11
під час розточування	0,11

Трудомісткість (штучно-калькуляційний час, хв):

під час протягування	1,05
під час розточування	3,63

Як видно, за однаковою технологічною собівартістю трудомісткість обробки під час розточування отвору вище, ніж під час протягування. Отже, за умов зіставлення ефективності технологічних процесів не слід обмежуватися аналізом лише технологічної собівартості обробки, а слід розглядати два критерії оптимальності: технологічну собівартість і трудомісткість обробки.

**Приклад 1.2. Розрахунок параметрів шорсткості оброблюваної поверхні під час шліфування.** Підвищення якості обробки деталей машин шляхом зменшення шорсткості поверхні під час шліфування є однією із найважливіших умов створення конкурентоспроможної машинобудівної продукції. Разом із тим, закономірності формування шорсткості поверхні під час шліфування надзвичайно складні та вимагають подальших глибоких теоретичних досліджень із застосуванням теорії імовірностей. Тому важливо розглянути аналітичне рішення задачі визначення параметрів шорсткості поверхні  $R_a$  і  $R_{max}$  під час шліфування в умовах неупорядкованого розташування ріжучих зерен на робочій поверхні шліфувального круга та їх імовірнісної участі у процесі різання (рис. 1.18,а) [38, 39, 49].

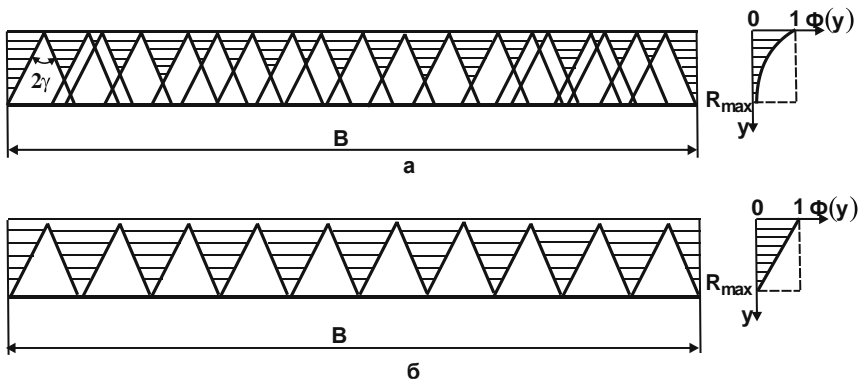


Рисунок 1.18 – Розрахункова схема імовірнісної функції  $\Phi(y)$  за умов нерівномірного (а) та рівномірного (б) розташування проєкцій зерен

У основу розрахунків покладено імовірнісну функцію  $\Phi(y)$ , яка визначає імовірність незнятого оброблюваного матеріалу ( $y$  вигляді мікронерівностей) із поверхні оброблюваної деталі:

$$\Phi(y) = e^{-\frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n}{B} \cdot y}, \quad (1.3)$$

де  $\gamma$  – половина кута у вершині конусоподібного ріжучого зерна;

$n$  – кількість абразивних зерен, які приймають участь у процесі утворення шорсткості поверхні;

$B$  – ширина шліфування, м;

$y$  – координата, що відраховується від вершини ріжучого зерна, м.

Положення середньої лінії  $y = a$ , яка розподіляє мікропрофіль обробленої поверхні на дві частини, визначається за умови рівності заштрихованих на рис. 4.2 площ  $F_1$  і  $F_2$ :

$$a = \int_0^{R_{\max}} \Phi(y) \cdot dy = \frac{B}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot R_{\max}}{B}} \right). \quad (1.4)$$

На рис. 4.2 найбільша западина мікропрофілю відповідає значенню  $y=0$ , а найбільший виступ мікропрофілю – значенню  $y=R_{\max}$  (рис. 1.18). Тоді параметр шорсткості поверхні  $R_a$  описується залежністю (рис. 1.19):

$$R_a = 2 \cdot \int_a^{R_{\max}} \Phi(y) \cdot dy = \frac{B}{\operatorname{tg} \gamma \cdot n} \left( e^{-\frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot a}{B}} - e^{-\frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot R_{\max}}{B}} \right). \quad (1.5)$$

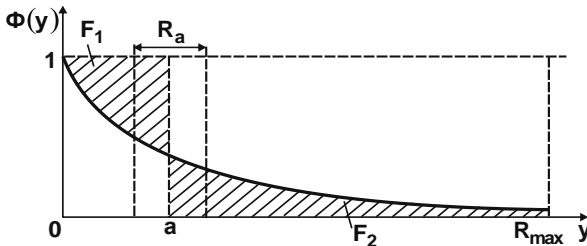


Рисунок 1.19 – Розрахункова схема параметра шорсткості поверхні  $R_a$

У дійсності, межею інтегрування експоненціальної функції  $\Phi(y)$  у залежностях (1.4) і (1.5) слід розглядати умову  $y \rightarrow \infty$  замість умови  $y=R_{\max}$ . Тоді залежності (1.4) і (1.5) набувають вигляду:

$$a = \frac{B}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n}; \quad (1.6)$$



$$R_a = \frac{0,367 \cdot B}{\operatorname{tg} \gamma \cdot n}. \quad (1.7)$$

Як видно, параметри  $a$  і  $R_a$  визначаються величиною  $n$ : чим вона більше, тим менше  $a$  і  $R_a$ .

За умов впорядкованого розташування ріжучих зерен на робочій поверхні шліфувального круга та, відповідно, впорядкованого накладення проєкцій зерен на діаметральну площину оброблюваної деталі (рис. 1.18,б) функція  $\Phi(y)$  набуває вигляду:

$$\Phi(y) = 1 - \frac{y}{R_{\max}}. \quad (1.8)$$

Після підстановки залежності (1.8) у залежності (1.4) і (1.5) маємо:

$$a = \int_0^{R_{\max}} \left(1 - \frac{y}{R_{\max}}\right) \cdot dy = \frac{R_{\max}}{2}; \quad (1.9)$$

$$R_a = 2 \cdot \int_a^{R_{\max}} \left(1 - \frac{y}{R_{\max}}\right) \cdot dy = \frac{R_{\max}}{4}. \quad (1.10)$$

Параметр шорсткості поверхні  $R_{\max}$  у даному випадку визначається за умови:  $2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot R_{\max} = B$ . Звідки

$$R_{\max} = \frac{B}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n}. \quad (1.11)$$

Відповідно

$$a = \frac{B}{4 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n}; \quad (1.12)$$

$$R_a = \frac{0,125 \cdot B}{\operatorname{tg} \gamma \cdot n}. \quad (1.13)$$

Із порівняння залежностей (1.7) і (1.13) видно, що за умов впорядкованого розташування ріжучих зерен на робочій поверхні шліфувального круга та, відповідно, впорядкованого накладення проєкцій зерен на діаметральну площину оброблюваної деталі (рис. 1.18,б), параметр шорсткості поверхні  $R_a$  у 3 рази менше, ніж за умови невпорядкованого накладення проєкцій зерен на діаметральну площину оброблюваної деталі (рис. 1.18,а). Це указує на те, що невпорядкований (імовірнісний) характер участі зерен у різанні призводить до збільшення параметра шорсткості поверхні  $R_a$  (рис. 1.20) й, відповідно, до погіршення якості оброблюваної поверхні. Тому застосування абразивних інструментів із впорядкованим розташуванням ріжучих зерен на робочій по-

верхні (наприклад, абразивних стрічок, тобто під час стрічкового шліфування) дозволяє підвищити якість обробки завдяки зменшенню параметра шорсткості поверхні  $R_a$ , що підтверджується численними практичними даними [72, 74].

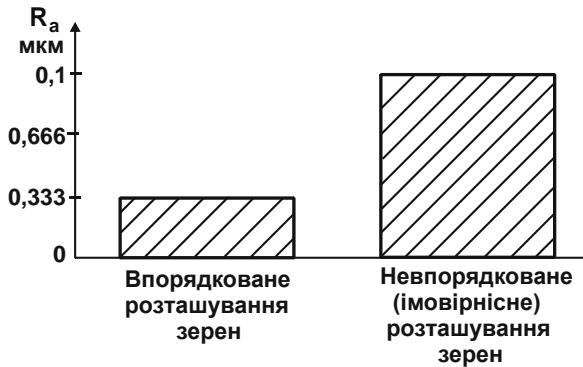


Рисунок 1.20 – Розрахункові значення параметра шорсткості поверхні  $R_a$  за умов впорядкованого і невпорядкованого розташування зерен на робочій поверхні абразивного інструменту:

$$B = 1 \text{ мм}; \gamma = 45^\circ; n = 3,67 \cdot 10^3 \text{ шт.}$$

На відміну від параметра шорсткості поверхні  $R_a$ , параметр шорсткості поверхні  $R_{\max}$  для експоненціальної функції  $\Phi(y)$ , що описується залежністю (1.3), можна визначити лише із наперед заданим ступенем точності. Наприклад, за умови  $y = R_{\max}$ , приймаючи значення  $\Phi(y = R_{\max}) = 0,1; 0,01; 0,001$  та ін. Тоді за умови  $y = R_{\max}$  залежність (1.3) опишеться:

$$R_{\max} = -\frac{\ln \Phi(y = R_{\max}) \cdot B}{2 \cdot \text{tg} \gamma \cdot n} \quad (1.14)$$

Знак "мінус" у залежності (1.14) указує на те, що функція  $\ln \Phi(y = R_{\max})$  є негативною. Із урахуванням залежностей (1.14) і (1.7) встановлено відношення  $R_{\max}/R_a = -1,362 \cdot \ln \Phi(y = R_{\max})$ .

Приймаючи  $\Phi(y = R_{\max}) = 0,1$ , маємо:  $\ln \Phi(y = R_{\max}) = -2,3$ . Тоді:

$$R_{\max} = \frac{1,15 \cdot B}{\text{tg} \gamma \cdot n}; \quad \frac{R_{\max}}{R_a} = 3,133.$$

Приймаючи значення  $\Phi(y = R_{\max}) = 0,01$ , маємо:  $\ln \Phi(y = R_{\max}) = -4,6$ .  
Тоді:

$$R_{\max} = \frac{2,3 \cdot B}{\text{tg} \gamma \cdot n}; \quad \frac{R_{\max}}{R_a} = 6,266.$$

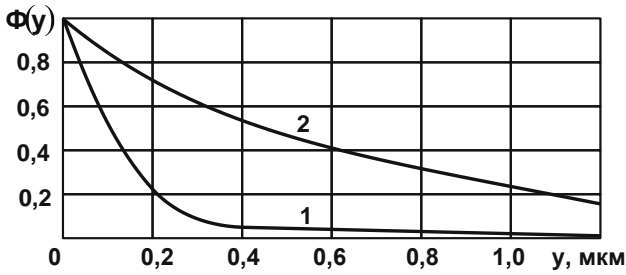
Із зменшенням значення  $\Phi(y = R_{\max})$  параметр  $R_{\max}$  і відношення  $R_{\max}/R_a$  збільшуються, причому, необмежено. Тому встановити фактичні значення параметра  $R_{\max}$  та відношення  $R_{\max}/R_a$  можна за інших умов, наприклад, за умови впорядкованого розташування зерен на робочій поверхні інструменту (рис. 1.18,б). У цьому випадку, виходячи із залежності (1.10), параметр  $R_{\max} = 4R_a$ . Однак, у реальних умовах абразивної обробки, як правило, має місце невпорядковане розташування ріжучих зерен на робочій поверхні абразивного інструменту (рис. 1.18,а). Тому закономірності формування шорсткості поверхні слід розглядати із позиції теорії імовірностей.

Із урахуванням залежності (1.7) експоненціальну функцію  $\Phi(y)$ , що описана залежністю (1.3), можна подати у вигляді:

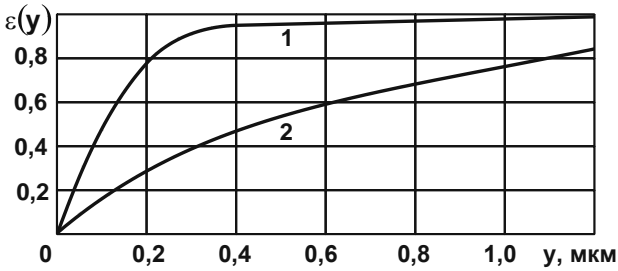
$$\Phi(y) = e^{-\frac{0,734}{R_a} \cdot y}. \quad (1.15)$$

Очевидно, чим більше параметр шорсткості поверхні  $R_a$ , тим менше значення функції  $\Phi(y)$ . Тому під час абразивного полірування, яке характеризується меншими значеннями  $R_a$  порівняно зі шліфуванням, функція  $\Phi(y)$  буде приймати менші значення (рис. 1.21,а), а функція  $\varepsilon(y) = 1 - \Phi(y)$ , навпаки, більші значення (рис. 1.21,б). Підтвердженням тому є експериментальні графіки зміни класичної функції – відносної опорної довжини мікропрофілю обробленої поверхні  $t_p$  (в %) після різних методів обробки (рис. 1.22 [77]). Вони указують на те, що під час абразивного полірування досягається найменше значення шорсткості обробленої поверхні.

Наведені на рис. 1.22 графіки функції  $t_p$  (в %) відповідають графіку зміни функції  $\varepsilon(y) = 1 - \Phi(y)$  (рис. 1.21). Для цього слід розглядати координату у спрямовану у протилежну сторону, тобто вниз із вершини найбільшої мікронерівності. У міру збільшення координати  $y$  функція  $\varepsilon(y) = 1 - \Phi(y)$  безперервно збільшується, асимптотично наближаючись до значення 1.



а



б

Рисунок 1.21 – Графіки зміни функцій  $\Phi(y)$  і  $\varepsilon(y)$ :

1 –  $R_a = 0,1$  мкм; 2 –  $R_a = 0,5$  мкм

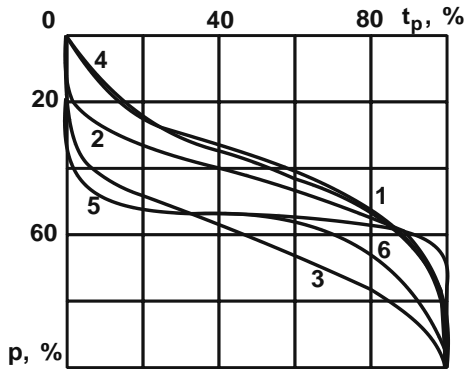


Рисунок 1.22 – Відносні опорні довжини мікропрофілю обробленої поверхні  $t_p$  (в %) зразків із сплаву АМг4 після різних методів обробки:

1 – прокат (вихідна поверхня); 2 – гідроабразивна обробка;

3 – точіння; 4 – фрезування;

5 – абразивне полірування; 6 – точіння алмазом

Виходячи із рис. 1.22, під час абразивного полірування функція  $t_p$  збільшується незначно, а потім фактично за однакового значенні  $y$  збільшується майже від 0 до 1 й далі лише асимптотично необмежено наближається до значення 1. За суттю, значення координати  $y$ , за досягнення якого відбувається різке збільшення функції  $t_p$ , визначає положення середньої лінії мікропрофілю обробленої поверхні  $y = a$  (рис. 1.19). Таке різке збільшення функції  $t_p$ , фактично від 0 до 1, указує на дуже мале значення параметра шорсткості поверхні  $R_a$ , що дорівнює 0,1 мкм.

Невелике збільшення функції  $t_p$  на ділянці, що передує її різкому збільшенню фактично від 0 до 1, пов'язане із наявністю невеликої кількості зерен, що мають значну висоту виступання порівняно із основною масою зерен. Отже, різка зміна функції  $t_p$  у діапазоні від 0 до 1 пояснюється участю у різанні великої кількості абразивних зерен, що мають приблизно однакову висоту виступання над рівнем робочої поверхні абразивного інструменту. Тому ефект абразивного полірування полягає, у першу чергу, можливості забезпечення фактично одновисотного розташування абразивних зерен на робочій поверхні абразивного інструменту.

На робочій поверхні шліфувального круга ріжучі зерна розташовано різновисотно. У результаті відбувається різновисотна участь їх у різанні. Це призводить до збільшення параметрів шорсткості поверхні  $R_a$ ,  $R_{max}$  та погіршення якості обробки.

Таким чином показано, що під час абразивного полірування можна домогтися суттєвого зменшення шорсткості оброблюваної поверхні. Однак при цьому тривалість обробки достатньо висока. Так, встановлено [11], що тривалість операції круглого зовнішнього шліфування твердосплавного ріжучого інструменту (розвертки) становить 1 ... 5 хв під час знімання припуску величиною до 2 мм. Тривалість операції доведення алмазною пастою цього інструменту під час знімання припуску величиною 0,02 мм становить від 3 до 12 хв й більше. Як видно, процес шліфування більш продуктивний, проте вимагає пошуку шляхів зменшення шорсткості поверхні до рівня, що досягається в умовах доведення та абразивного полірування.

Ефективним напрямом вирішення цього завдання щодо внутрішнього шліфування є використання м'якого повстяного (фетрового) шліфувального круга із наклеєним шаром абразивного порошку 63С 20П (рис. 1.23). Експериментально встановлено, що у цьому випадку за 30 хвилин шліфування досягається шорсткість поверхні  $R_a = 0,04$  мкм. Це відкриває нові можливості суттєвого зменшення параметра шорсткості поверхні  $R_a$  без збільшення трудомісткості та зменшення продуктивності обробки. Також ефективно внутрішнє шліфування здійснювати, встановлюючи вісь обертання шліфувального круга із індивідуальним приводом перпендикулярно вісі обертання оброблюваного отвору. Це дозволяє збільшити площу контакту круга із оброблюваною поверхнею і змінити напрям утворення рисок від зерен, що пропрацювали. Вони утворюються уздовж оброблюваної поверхні, що підвищує працездатність пневмо- та гідроциліндрів.



Рисунок 1.23 – Схема обробки шліфуванням отвору в циліндрі

Таким чином, у роботі встановлено аналітичні залежності для визначення параметрів шорсткості поверхні під час шліфування та умов їх зменшення. Показано, що урахування імовірнісного характеру участі зерен шліфувального круга у різанні дозволяє більш достовірно оцінити закономірності формування шорсткості поверхні під час шліфування. Теоретично та експериментально встановлено, що забезпечення приблизно одновисотного розташування ріжучих зерен на робочій поверхні шліфувального круга дозволяє суттєво зменшити шорсткість поверхні – до рівня, що досягається під час доведення алмазною пастою

та абразивного полірування. На цій основі розроблено ефективний метод внутрішнього шліфування отворів у пневмо- та гідроциліндрах із використанням м'якого повстяного круга із наклеєним шаром абразивного порошку 63С 20П, що забезпечує шорсткість поверхні на рівні  $R_a = 0,04$  мкм.

### Контрольні питання

1. Наведіть характеристику 4-х промислових революцій.
2. Чим відрізняються третя і четверта промислові революції?
3. У чому полягають результати технологічних революцій?
4. Обґрунтуйте поняття "технологічний уклад" та скільки всього існує технологічних укладів? Надайте їм характеристику.
5. Який зв'язок існує між технологічними укладами та промисловими революціями?
6. Чим відрізняються п'ятий та шостий технологічні уклади?
7. Чим відрізняються поняття "новітність", "нововведення" та "інновація"?
8. У чому полягає сутність поняття "дифузія" у структурній моделі системи інноваційного процесу?
9. Наведіть класифікацію інновацій за основними ознаками.
10. Чим високі технології відрізняються від традиційних технологій?
11. Наведіть приклади нанотехнологій. Наскільки 1 нанометр менше 1 метра?
12. У чому полягає сутність інтегрованого робочого процесу прискореного формоутворення виробу або його прототипу?
13. Які Ви знаєте способи матеріалізації тривимірних математичних моделей виробів?
14. Чим відрізняється спосіб стереолітографії від способів обробки матеріалів різанням?
15. Надайте характеристику абстрактним моделям.
16. Що таке математична модель?
17. Що таке критерій оптимальності?
18. Чим відрізняється структурна оптимізація від параметричної?
19. Поясніть сутність структурної та параметричної оптимізації на прикладі розроблення технологічного процесу металообробки.
20. Як визначають найбільше і найменше значення функції на заданому проміжку?

## Робота 2. Машини та їх складові частини

**Мета роботи:** ознайомити студентів із призначенням та конструкцією типових механізмів і передач машин, деталей і з'єднань. Навчити складати кінематичні схеми механізмів і передач машин.

### *Загальні відомості*

#### **Класифікація механізмів, машин, вузлів і деталей машин**

*Механізмом* називається система рухомо пов'язаних між собою тіл, яка призначена для перетворення руху одного або декількох тіл в рух інших тіл. Як правило, механізм пов'язаний зі зміною кутових швидкостей, або із перетворенням одного виду механічного руху в інший. Таким чином, механізм – це система рухомо зв'язаних між собою тіл, що здійснюють під дією прикладених до них сил певні, наперед задані рухи. Тіла, складові механізму, називають *ланками*. У будь-якому механізмі є рухомі і нерухомі ланки.

*Рухома ланка*, рух якій надається прикладенням зовнішніх сил, вважають ведучою, а рухома ланка, що сприймає рух від ведучої ланки, – веденою. Наприклад, у лещатах рукоятка – ведуча ланка, рухома губка – ведена ланка. Нерухома губка разом із корпусом утворює нерухому ланку.

Механізми можуть мати самостійне застосування (різні пристосування для кріплення деталей та ін.), але частіше є кінематичною основою машини.

*Машиною* називається механізм, або з'єднання механізмів, які призначено для виконання потрібної корисної роботи, пов'язаної із процесом виробництва або транспортування, або ж із процесом перетворення енергії, або інформації.

Двигун і робочу машину, що з ним з'єднана, називають *машинним агрегатом*. Іноді до складу машинного агрегату входять *передавальні механізми*. Із позицій системного підходу будь-яка машина (обладнання) як технологічна система є пристрій із узгоджено працюючими частинами, що виконують певні доцільні рухи для перетворення енергії, матеріалів та інформації. Машина повинна бути міцною, довговічною, економічною та безпечною у роботі, конкурентоспроможною за різними параметрами із аналогічними машинами.



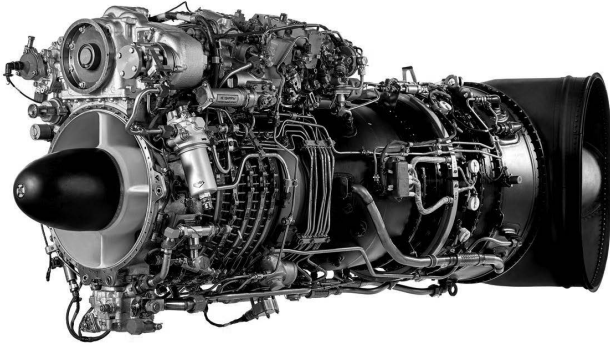
Залежно від характеру робочого процесу машини розподіляють на:

- машини-двигуни, які перетворюють будь який вид енергії (теплову, електричну тощо) у механічну енергію (електродвигуни, парові машини, гідравлічні та газові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння тощо);
- машини-генератори, які перетворюють механічну енергію у будь яку іншу енергію, наприклад, компресори, динамомашини тощо;
- машини-знаряддя, які призначено для використання механічної роботи машин-двигунів із метою виконання технологічних операцій, тобто операцій обробки та переробки різних матеріалів, виготовлення різних виробів, деталей машин тощо. До машин цього виду відносять, наприклад, ливарне та пресове обладнання, металорізальні верстати: токарні, свердлильні, фрезерні та інші, різні системи машин: автоматичні лінії, ділянки, цехи тощо;
- транспортні машини, які призначено для переміщення різних вантажів (автомобілі, крани, конвеєри тощо);
- управляючі машини – це автоматизовані комплекси, які призначено для управління складними агрегатами, системами або сукупністю взаємозалежних об'єктів, що мають у своєму складі один або декілька обчислювальних пристроїв чи комп'ютер.









У обладнанні складних технологічних систем (заводи, цехи) залежно від призначення можна виділити дві великі групи – обладнання для обробки матеріалів без / або зі зняттям стружки та допоміжне обладнання для виконання операцій, без яких неможливе виготовлення деталей необхідної якості.

До обладнання для обробки металів без зняття стружки відносять обладнання для лиття, штампування і пресування. На металорізальному устаткуванні знімають із заготовок шар металу спеціальним ріжучим інструментом, наприклад, однолезовим різцем, або багатлезовою фрезою, або іншими інструментами для отримання виробів необхідних розмірів і форми. На допоміжному обладнанні здійснюють підігрів заготовок у печах або нагрівальних пристроях, термообробку деталей для зміни їх механічних або споживчих властивостей та інші операції.

За рівнем спеціалізації обладнання ділиться на універсальне (загального призначення), спеціалізоване і спеціальне. За рівнем автоматизації – на обладнання із ручним управлінням, напівавтоматичне, автоматичне. Відповідно до розташування робочих органів (шпинделів та інструментів) технологічних машин розрізняють верстати із горизонтальними, вертикальними і похилими компоновками, що визначають взаємне розташування основних функціональних вузлів (робочих органів або найбільших корпусних деталей). Принципи, за якими складалися ці компонування машин, нерозривно пов'язані із спільною роботою людини, а самі машини досліджуються спеціальною наукою – *ергономікою*. Тому машини розроблено відповідно до фізичних можливостей людини – її висоти, сили, стомлюваності у різних положеннях тощо.

Для металорізальних верстатів всі компонування, що зустрічаються, можуть бути розподілено на три великі групи: кронштейн, агрегат (рухливий моноблок, для якого спрощується складання-розбирання) і прес – нерухомий моноблок (забезпечує виготовлення більш точних виробів). Найбільшого поширення набули верстати із агрегатною компоновкою. Цьому сприяють їх експлуатаційні та конструктивні переваги: виконання вузлів у вигляді окремих агрегатів дозволяє порівняно легко створювати різні спеціальні модифікації, органи управління концентруються в одній зручній для обслуговування зоні, спрощується загальний монтаж верстата у цеху, дільниці тощо.

У процесі еволюції верстатів намітилася тенденція перетворення їх на верстати-напівавтомати та автомати, створення систем машин

(наприклад, від ГВМ – гнучких виробничих модулів – до ГАЛ, ГАД, ГАВ – відповідно, гнучких автоматичних ліній, ділянок, виробництв).

Найважливішим завданням удосконалення верстатів стає ресурсовикористання (споживання енергії, матеріалів і сировини), що характеризується коефіцієнтом корисної дії (к. к. д.) та коефіцієнтом використання матеріалу (КІМ – відношення мас готової продукції (деталі) та заготівки), тощо.

### **Деталі і вузли (складальні одиниці машин), їх класифікація**

*Деталь* – це найпростіша частина машини, яка виготовляється із матеріалу однієї марки (із цільного матеріалу або із його окремих частин, отриманих зварюванням) без застосування складальних операцій (шпонка, болт, зубчасте колесо та ін.). Тому деталь не можна розібрати на простіші без руйнування.

*Вузол (складальна одиниця)* – це комплекс сумісно працюючих деталей (підшипники, муфти та ін.).

У машинобудуванні розрізняють деталі і вузли загального і спеціального призначення.

*Деталі і вузли загального призначення* називаються такі деталі і вузли, які зустрічаються у всіх машинах (болти, вали, зубчасті колеса, підшипники, муфти та ін.).

*Деталі і вузли спеціального призначення* називають деталі і вузли, які зустрічаються тільки в одному або декілька типів машин (шпинделі верстатів, поршні, шатуни та ін.).

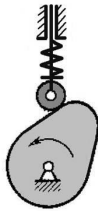
Всі деталі і вузли загального призначення діляться на три групи:

- з'єднувальні та кріпильні деталі і з'єднання, які можуть бути нерознімними (зварні, клепані, клейові) і рознімними (шпонкові, різьбові, зубчасті, із гарантованим натягом);
- деталі передачі обертального руху: (зубчаста, черв'ячна, пасова, фрикційна, ланцюгова);
- деталі і вузли, які обслуговують передачі (вали, вісі, підшипники, муфти).

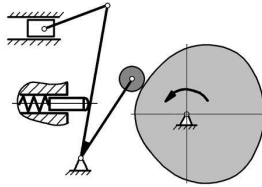
**Механізми перетворення обертального руху в прямолінійний.** До цих механізмів, що широко використовують у техніці, відносять: рейкову передачу та передачу гвинт – гайка (рис. 2.1), кулачковий механізм (рис. 2.2), кривошипно-шатунний механізм (рис. 2.3), стрічковий механізм (рис. 2.4).



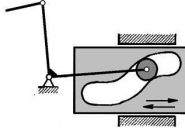
Рисунок 2.1 – Рейкова передача та передача гвинт – гайка



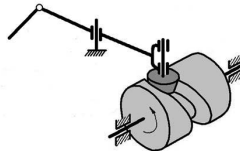
а



б

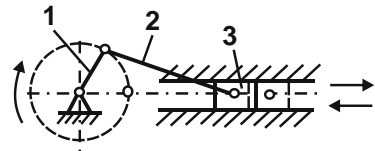


в

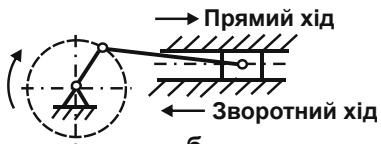


г

Рисунок 2.2 – Типи кулачкових механізмів



а



б

Рисунок 2.3 – Кривошипно-шатунний механізм двигуна



Рисунок 2.4 – Стрічковий конвеєр

Рейкові передачі включають як провідну ланку зубчате колесо або черв'як. Рейка може бути із прямими або косими зубами. Рейкова передача із зубчатим колесом має вищий коефіцієнт корисної дії (к. к. д.), ніж черв'ячно-рейкова передача, перевагою якої є велика плавність і редукція. За один оберт зубчатого колеса величина переміщення рейки складає:  $l = \pi \cdot m \cdot z$ , де  $m$  – модуль зубчатого колеса;  $z$  – число зубів;  $\pi = 3,14$ .

Передачі гвинт – гайка забезпечують набагато більшу редукції, ніж рейкові передачі із зубчатим колесом, і підвищену плавність руху. Обертальний і прямолінійний рухи є зворотні. Гайки можуть бути цілісні, рознімні (розсувні) і напівгайки (у токарних верстатах). Застосовують передачі гвинт – гайка ковзання і гвинт – гайка кочення (наприклад, у верстатах із ЧПУ – у останніх високий к. к. д., велика швидкість). За один оберт гвинта або гайки елемент, що з'єднується, переміститься на величину

$$l = t \cdot z,$$

де  $z$  – кількість заходів різьблення з'єднання;  
 $t$  – крок різьблення.

Гвинтові механізми широко використовують у техніці: від рознімних з'єднань (болт – гайка, шпилька або гвинт – гайка) до механізмів, що переміщують робочі органи (супорт, стіл верстата, повзун преса).

Кулачковий механізм складається із циліндрового або дискового кулачка і штовхача (повзуна), який притискається до кулачка пружиною. На відміну від рейкової передачі або передачі гвинт – гайка, яким надають рівномірний рух, кулачок, обертаючись рівномірно, здатний забезпечити різні закони руху штовхача. Це залежить від профілю кулачка. У зворотний бік штовхач переміщується пружиною, вантажем, гідро- або пневмоциліндром. Кулачковий механізм широко використовують у різних технологічних машинах (особливо в автоматах і напів-автоматах), забезпечуючи виготовлення деталей за циклом: швидке



підведення – повільний робочий хід – витримка (зупинка штовхача) – швидке відведення (інструменту, столу та ін.).

Кривошипно–шатунний механізм містить кривошип 1, шатун 2 і повзун 3 (рис. 2.3). Кривошип – ведуча ланка (стержень або диск), обертається навколо вісі, повідомляючи за допомогою шатуна поворотно-поступальний хід веденій ланці – повзуну або поршню, наприклад, у двигунах внутрішнього згорання. Величина переміщення – хід повзуна – дорівнює двом радіусам кривошипа.

Хід повзуна – це шлях, пройдений від однієї мертвої точки до іншої, тобто від крайніх положень, де його швидкість дорівнює нулю.

**Механізми для перетворення обертального руху в обертальний.** Ці механізми широко застосовують для передачі руху на валі із паралельними і пересічними вісями та із вісями, що схрещуються.

За характером руху ведучої ланки механізми можуть забезпечувати переривчастий і безперервний рухи, за типом взаємодіючих ланок такі механізми можуть бути зубчастими, фрикційними та із гнучкими ланками.

Основною характеристикою механізмів є передавальне відношення, що визначається відношенням частоти обертання або швидкості відучого і веденого валів:  $i = n_2 / n_1$ . У кінематичному ланцюзі, що складається із декількох передач, загальне передавальне відношення отримують перемноженням передавальних відношень окремих кінематичних пар (1, 2, 3, ..., n), складових ланцюга:

$$i_{лц} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_n.$$

Під час вивчення зубчастих механізмів (зубчастих передач, рис. 2.5) слід звернути увагу на те, що цей вид механічних передач найбільш поширений у машинобудуванні завдяки наступним перевагам: компактності, надійності, високому к. к. д., простоті відходу, високій точності передавального відношення, здатності передавати великі навантаження. Їх класифікують за характером розташування валів, за формою профілів зубів (евольвентні, циклоїдні, круглі тощо), за числом ступенів (одно-, двох- і багатоступінчасті), із зубами прямими, косими, шевронними і криволінійними, за типом передач (із зовнішнім і внутрішнім зачепленням). Передавальне відношення зубчастої передачі зручно визначати через кількість зубів зубчастих коліс, що зачеплюються ( $z_1$  – ведучого,  $z_2$  – веденого):  $i = z_1 / z_2$ .

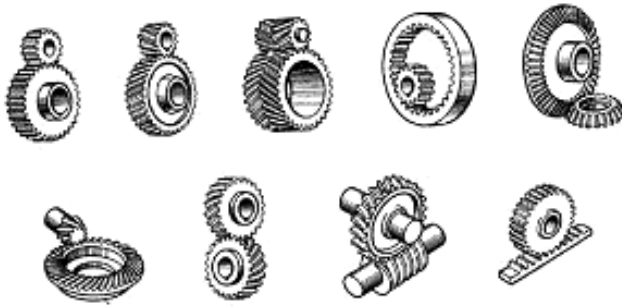


Рисунок 2.5 – зубчасті передачі

Для створення передач із вісями, що схрещуються, використовують гвинтові, гіпоїдні зубчасті колеса, а також черв'ячні передачі.

Черв'ячні передачі застосовують, зазвичай, якщо кут схрещування дорівнює  $90^\circ$ . Вони мають ряд переваг: можливість отримання великого передавального відношення в одноступінчастій передачі (у кінематичних передачах різних пристосувань передавальні відношення досягають 1000, а у силових 10 – 50, тоді як для пари зубчастих коліс не більше 5 – 7); плавність і безшумність роботи; можливість самогальмування. До недоліків черв'ячних передач відносять порівняно низький к. к. д. і необхідність застосування кольорових металів під час їх виготовлення.

Передавальне відношення черв'ячної передачі виражається через відношення числа зубів колеса  $z_k$  до заходів різьблення  $z$  на черв'яку тобто:

$$i_{\text{ч}} = \frac{z_k}{z}$$

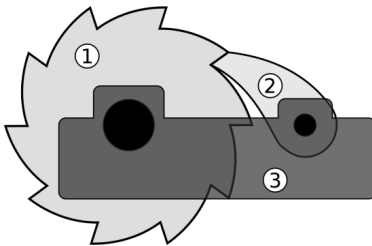


Рисунок 2.6 – Храповий механізм: 1 – зубчасте колесо; 2 – заскочка; 3 – станина

Черв'ячні передачі широко застосовують у механічному годиннику (переміщення хвилинної, годинникової стрілок), у електролічильниках, різних приладах.

До механізмів, що здійснюють переривчастий рух, відносять храповий (рис. 2.6) і мальтійський (рис. 2.7) механізми.

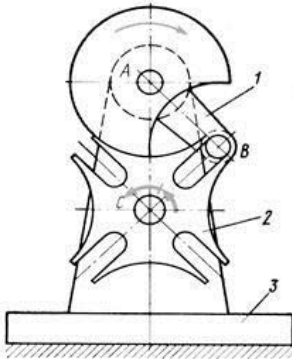


Рисунок 2.7 – Мальтійський механізм: 1 – ведучий диск (кривошип);  
2 – ведений диск (хрест); 3 – станина

*Мальтійський механізм* (рис. 2.7) перетворює безперервне обертання вхідної ланки – кривошипа 1 у переривчасте (із зупинками) обертання вихідної ланки – хреста 2. Механізм складається із станини 3 і вищої пари, яка утворена цівкою В кривошипа та пазом хреста.

*Фрикційні механізми* здійснюють передачу руху завдяки силам тертя між притиснутими одна до одної ланок (двома катками, катком і плоским повзуном та ін.).

На рис. 2.8 зображено фрикційний механізм, у якого передача руху від вхідної ланки 1 до вихідної ланки 2 здійснюється силою тертя  $F$ , що створюється притисканням однієї ланки до іншої силою  $Q$ .

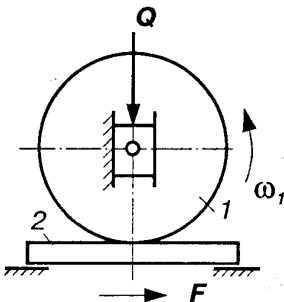


Рисунок 2.8 – Фрикційний механізм: 1 – вхідна ланка; 2 – вихідна ланка

Передавальне відношення у механізмах кінематичного призначення може досягати  $i = 25$  і більш, а у силових передачах потужністю до 300 кВт – до  $i = 15$ . Вони безшумні, конструктивно нескладні, забезпечують можливість безступінчастого регулювання передавального відношення.

*Недоліками фрикційних передач* є: можливість просковзування катків, зношування, наявність значного зусилля, що стискає катки.

Розрізняють дві групи фрикційних передач: із *постійним і регульованим передавальним відношенням (варіатори)*.

Механізми із *гнучкими ланками* застосовують для передачі руху між порівняно далеко розташованими одна від одної ланками (для потужностей до декількох сотень кіловат, передавальних чисел до 10, окружних швидкостей до 30 м/с). Як гнучкі ланки використовують ремені, шнури, канати, стрічки, ланцюги (рис. 2.9). Відповідно до типу гнучкої ланки розрізняють передачі стрічкові, плоскоремінні, клиноремінні, канатні, ланцюгові та ін.

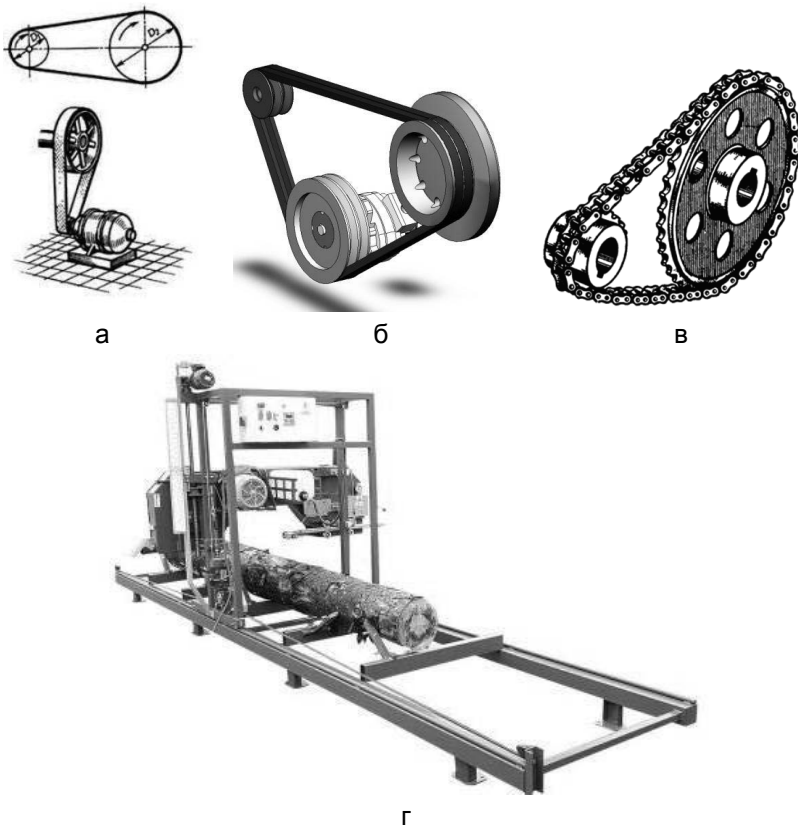


Рисунок 2.9 – Механізми із гнучкими ланками: а – плоскоремінна; б – клиноремінна; в – ланцюгова; г – стрічкова пилорама Trak-Met TTP-600 ECO

Передавальні відношення, відповідно, ремінної і ланцюгової передач визначаються:

$$i_p = \beta \cdot \frac{d_1}{d_2}; \quad i_z = \frac{z_1}{z_2}.$$

де  $d_1, d_2$  – відповідно, діаметри ведучого і веденого шківів;

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує просковзування ремня  $\beta \leq 1$ ;

$z_1, z_2$  – відповідно, число зубів ведучої і веденої зірочки. Для зменшення просковзування ремінних передач (у розрахунках враховується коефіцієнтом просковзування  $\beta$ ) застосовують зубчасті нескінченні плоскі ремені, основні розміри яких визначаються за їх модулем  $m = t/\pi$  ( $t$  – крок між зубами) і регламентовані.

### Деталі, які передають обертальний рух

Найбільш характерними типовими деталями, які передають обертальний рух у промисловому обладнанні, є вали, вісі, підшипники, муфти та ін.

**Вали та вісі.** Вал – це деталь машини, що обертається у підшипниках і призначена для передачі крутного моменту уздовж своєї вісі, а також підтримання вузлів пристроїв, що обертаються. Найчастіше вали працюють у парі із рухомими деталями – зубчастими колесами, зірочками, шківками тощо (рис. 2.10).

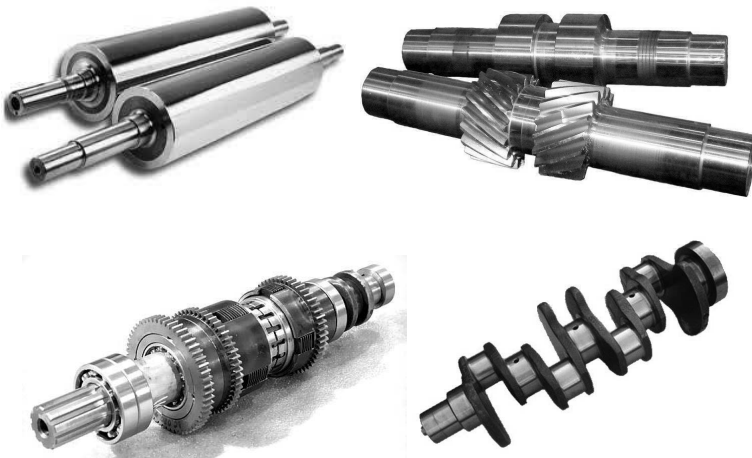


Рисунок 2.10 – Вали різної конструкції та призначення

*Вісь* – це нерухома деталь або деталь, що обертається, яку призначено для підтримання насаджених на неї деталей (рис. 2.11). Вісь обертаючого моменту не передає. Вісі можуть бути *нерухомими* або *обертатися* разом із насадженими на них деталями. Виготовляються, як правило, прямими і мало чим відрізняються від прямих валів.

За конструкцією вали поділяються на прямі, кривошипні, колінчасті, шліцьові, вал–шестірні, карданні, телескопічні та ін. Особливу групу складають гнучкі вали, які під час експлуатації здатні передавати крутний момент між вісями, які значно змінюють орієнтацію.

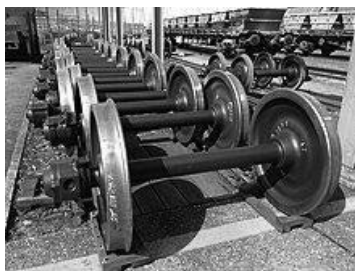
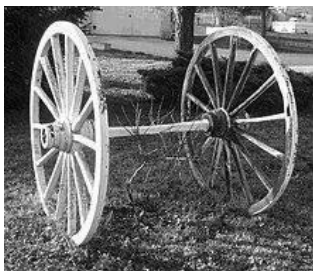


Рисунок 2.11 – Чотиригранна вісь воза та колісні пари (що з'єднані віссю)

Вали можуть бути гладкими або ступінчастими. Утворення ступенів пов'язано із різною напруженістю посадок окремих перетинів, а також умовами виготовлення і зручності складання. Довгі вали можуть складатися із окремих частин, що з'єднані муфтами.

За призначенням вали розподіляють на:

- передавальні вали – це несучі деталі механічних передач (зубчастих, фрикційних, черв'ячних та ін);
- корінні вали – це несучі основні робочі елементи машин, які найбільш часто зустрічаються у конструкціях кривошипно-шатунного механізму;
- трансмісійні вали – призначено для розподілу механічної енергії за окремими робочими механізмами.

Вали є опорою для обертових деталей. Під час роботи вали піддаються таким видам силових навантажень: вигинних і крутних моментів та поперечних сил, тобто вони працюють на вигин і крутіння, а в окремих випадках – на розтягання і стиск.

За типом перетину вали і вісі виготовляють суцільними і порожнистими. Порожнистий перетин застосовують для зменшення маси або для розміщення всередині інших деталей.

Вали широко застосовують у механізмах і складальних одиницях машин. Обертіві частини приводів машин – зубчасті колеса, диски, муфти, шків та ін. – у більшості випадків встановлюють на валах і вісях, які можуть мати різне розташування: горизонтальне, вертикальне, похиле. Різниця між валом і віссю полягає у тому, що вал обертається і передає зусилля через закріплені на ньому деталі іншим деталям, які із ними з'єднуються, тоді як вісь, обертаючись або залишаючись нерухомою, тільки підтримує деталі, які знаходяться на ній.

Для передачі зусиль вали з'єднують із зубчастими колесами, а також із шківками за допомогою спеціальних деталей – шпонок, що встановлюються частиною на валу, частиною у спряженій деталі, або за допомогою шліцьових з'єднань. Перетин шпонок і пазів у з'єднувальних деталях вибирається залежно від діаметру вала і характеру з'єднання.

*Цапфами* називають ділянки вала або вісі, що знаходяться у опорах кочення або ковзання (рис. 2.12).

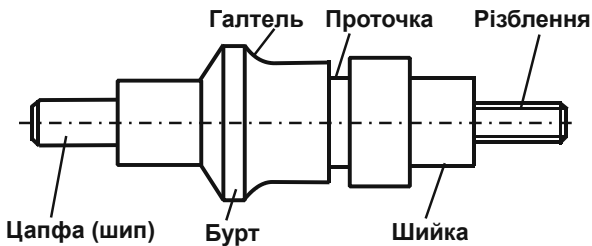


Рисунок 2.12 – Елементи вала

Цапфи залежно від їх положення на валу розподіляють на шипи, шийки і п'яти. *Шип* розташований на кінці вала і сприймає радіальне навантаження. *Шийка* розташована у середній частині вала, також сприймає радіальне навантаження і одночасно схильна до дії крутного моменту. *П'ята* – торцева частина вала або осі і сприймає тільки осьові навантаження.

Вали і вісі – відповідальні деталі машин. Опорні частини валів дуже ретельно обробляються для кращого їх з'єднання із деталями.

Конструкція валів визначається способом кріплення на них деталей, типом і розмірами підшипників, які для них є опорою, технологічними умовами обробки і складання.



Рисунок 2.13 – Шліцьові вали

У багатьох верстатах застосовують *шліцьові вали* – із неглибокими поздовжніми канавками на поверхні (рис. 2.13). Канавки чергуються із виступами – *шлицями*, які можуть бути прямокутного, трикутного або фасонного профілів. Точно такі ж шліци роблять у ступіці, що з'єднується із валом деталі, яку можна переміщати уздовж валу.

*Шліцьові з'єднання* складніші за пристроєм і виготовленням, ніж шпонкові, зате вони забезпечують точне розташування деталі на валу і дозволяють передавати дуже великі обертаючі зусилля із меншим поперечним перетином валу, ніж зі з'єднанням на шпонці, крім того, вони довговічні та зносостійкі.

**Підшипники.** Підшипниками називають опори валів і вісей, які призначено для сприйняття радіальних і осьових навантажень (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Підшипники

*Радіальним навантаженням* називається зусилля, що діє перпендикулярно вісі валу. *Осьовим навантаженням* називається зусилля, що діє уздовж вісі валу.

Залежно від характеру відносного переміщення деталей розрізняють тертя двох видів: *тертя ковзання* і *тертя кочення*.



За характером виникаючого у них тертя підшипники поділяють на *підшипники ковзання* і *підшипники кочення*.

**Підшипники ковзання.** Ці деталі називають так тому, що між обертаючою шийкою вала і нерухомою опорною внутрішньою поверхнею підшипників виникає тертя ковзання (рис. 2.15). Початковий зазор між шийкою вала і посадковою поверхнею підшипника збільшується зі збільшенням їх зношування. Швидкість збільшення зазору залежить від конструкції підшипника.



Рисунок 2.15 – Підшипники ковзання та кочення

У промисловому обладнанні застосовують підшипники ковзання різних конструкцій. Їх виготовляють, головним чином, із антифрикційних матеріалів, які забезпечують:

- достатню міцність і твердість як за нормальних температур, так і за температур найбільшого нагріву під час роботи;
- найменше тертя, нагрівання та зношування;
- деяку мікропористість для збереження змащення у період зупинки вала (шпинделя);
- легкість видалення маслом продуктів зношування.

У верстатобудуванні підшипники в основному виготовляють із антифрикційних кольорових сплавів двох типів: бронз олов'яних і алюмінієвих, а також бабітів. Підшипники ковзання розподіляють на дві основні групи: *нерознімні* і *рознімні*.

Для *підшипників ковзання* характерні наступні недоліки:

- великі втрати переданої потужності внаслідок тертя;
- неминучість розвитку початкового зазору між вкладишем і посадковим місцем, яке спеціально утворене для створення масляного шару в межах цього зазору;

- значна трудомісткість виготовлення підшипників, витрата кольорових металів та ін.

*Підшипники кочення* широко застосовують у всіх галузях машинобудування. Вони є готовою складальною одиницею, основним елементом яких є тіла кочення – кульки або ролики, встановлені між кільцями і утримувані один від одного на певній відстані за допомогою сепаратора. У процесі роботи кульки (або ролики) котяться біговими доріжками кілець, одне із яких, як правило, розміщують у механізмі нерухомо. В умовах тертя кочення втрати переданої потужності значно менше, ніж в умовах тертя ковзання.

*Радіально-упорні шарикопідшипники* призначено для сприйняття комбінованих навантажень (одночасно діючих радіальних і осьових).

У підшипниках кочення цапфа вала, як правило, спирається на поверхню внутрішнього кільця і обертається разом із ним відносно зовнішнього кільця.

Підшипники кочення більш зносостійкі, ніж підшипники ковзання. Крім того, вони здатні працювати за різних швидкостей без додаткового регулювання, не потребують великої кількості мастила, не вимагають складного догляду. Нарешті, застосування підшипників кочення характеризується найменшими втратами потужності від тертя в опорах.

Залежно від характеру навантажень, які сприймаються підшипниками кочення, їх поділяють у конструктивному відношенні на три групи: радіальні шарико- і роликотілопідшипники, упорні шарико- і роликотілопідшипники, а також радіально-упорні роликотіло- і шарикотілопідшипники. Ролики за формою можуть бути циліндричними, бочкоподібними, конічними, голчастими. Із метою зменшення радіальних розмірів підшипника у деяких випадках кільця відсутні, а ролики котяться безпосередньо по цапфі та корпусу.

Підшипники кожного із зазначених видів діляться на одно-, дво- і багаторядні.

Дворядні шарико- й роликотілопідшипники складаються із тих же частин, що і однорядні, але внутрішнє кільце у них має дві паралельні доріжки кочення, а доріжка кочення зовнішнього кільця виконана у формі сфери. Останнім обумовлюється назва цих підшипників – сферичні. Завдяки сферичній формі внутрішньої поверхні зовнішнього кільця відбувається вільне самовстановлення підшипника за підвищеної неспіввісності (перекосі) гнізд підшипників для вала в корпусній деталі;

цим запобігається защемлення кульок або роликів. У зв'язку з цією особливістю сферичних підшипників їх називають також *самоустановлюючими*. У звичайних підшипниках кочення перекося валу не допускаються. Багаторядні підшипники мають кілька рядів кульок або роликів.

**Муфти.** У механізмах промислового обладнання використовують різні з'єднувальні *муфти*. Одні муфти призначено для з'єднання двох співвісно розташованих валів або валів, близьких до цього положення, інші муфти – фрикційні – призначено для з'єднання двох валів або з'єднання вала із посаженою на нього деталлю. Багатодискові фрикційні муфти застосовують також для включення або виключення деяких механізмів.

Муфти приводів виконують й інші важливі функції: компенсацію невеликих монтажних відхилень взаємного розташування вузлів і агрегатів, роз'єднання валів, автоматичне управління роботою машини, плавне сполучення валів під час запуску машин, захист машин від поломок у аварійному режимі тощо.

Постійні з'єднання валів отримують за допомогою жорстких і пружних муфт. Жорсткими муфтами з'єднують співвісно розташовані вали за допомогою втулки і штифтів або шпонок. Ці муфти компактні, дешеві, мало зношуються. Їх, як правило, не ремонтують, а після зношування замінюють новими. Пружні муфти допускають деяке відхилення з'єднуючих валів від співвісності, пом'якшують поштовхи і удари, наприклад, завдяки еластичній кулачкової втулці (рис. 2.16).



Рисунок 2.16 – Пружна муфта

Для постійного з'єднання валів у сучасних машинах широко застосовують *кулачково-дискові (хрестові) трьохкулачкові муфти*, що є різновидом пружних муфт.

Хрестовими муфтами можна з'єднати два вали із відхиленням від співвісності до 0,04 діаметра вала і кутовим відхиленням до  $0^{\circ} 30'$ .

Кулачкові муфти мають малі габарити, прості за конструкцією та й виготовлення їх обходиться дешевше. Недолік цих муфт полягає у тому, що їх включення на швидкому ході без певних запобіжних заходів супроводжується ударом, який може бути причиною аварії.

Обгінні муфти широко використовують у механізмах для передачі руху в одному напрямі, вони автоматично замикаються за одним напрямом обертання і розмикаються – за протилежним.

Багатодискові фрикційні муфти утворюють із двох або декількох дисків, які щільно притиснуті один до одного торцевими поверхнями. При цьому діаметри і кількість дисків вибирають залежно від потужності, що передається. Чим більше площа контакту між дисками, тим більше потужність, що передається.

Запобіжні пристрої мають багато складальних одиниць і механізмів обладнання. Їх призначено для запобігання механізмів від помилкових включень надмірних напружень, які викликають аварії.

До запобіжних пристроїв можна віднести: запобіжники від надмірних навантажень, обмежувачі ходу, блокувальні пристрої.

Запобіжники від надмірних навантажень електричної, гідравлічної і механічної дії оберігають механізми від перевантажень, викликаних неправильною експлуатацією або несправністю обладнання.

Зрізні штифти і шпонки повинні руйнуватися під дією перевантажень, розриваючи кінематичний ланцюг. Цим запобігається пошкодження або поломка більш відповідальних і складних деталей.

### **З'єднання: призначення, види з'єднань. Приклади, переваги та недоліки видів з'єднань**

Машини та верстати, обладнання та побутова техніка – всі ці механізми у своїй конструкції мають безліч деталей. Їх якісне з'єднання – гарантія надійності і безпеки під час роботи. Тому розглянемо види з'єднань, їх характеристики, переваги і недоліки.

З'єднання бувають рознімними і нерознімними. *Рознімним з'єднанням* називають таке з'єднання, яке підлягає розбиранню (різьбові, шпонкові, шліцьові та ін.). *Нерознімним з'єднанням* називають таке з'єднання, яке не підлягає розбиранню або під час розбирання якого одна із деталей руйнується (зварне, заклепувальне та інші з'єднання).



Рисунок 2.17 –  
Різьбове з'єднання

**Різьбові з'єднання.** Різьбове з'єднання є найбільш поширеним рознімним з'єднанням. Його утворюють болти, гвинти, шпильки, гайки та інші деталі, які мають різьблення. Основним елементом різьбового з'єднання є різьблення (рис. 2.17).

**Шпонкові з'єднання.** Шпонка служить для відносно нерухомого з'єднання зубчастого колеса, шків або напівмуфти із валом (рис. 2.18). Шпонка є сталевим брусом, який встановлюють у пази валу і маточини. Вона призначена для передачі обертального моменту між валом і маточиною колеса, шків, зірочки та ін.

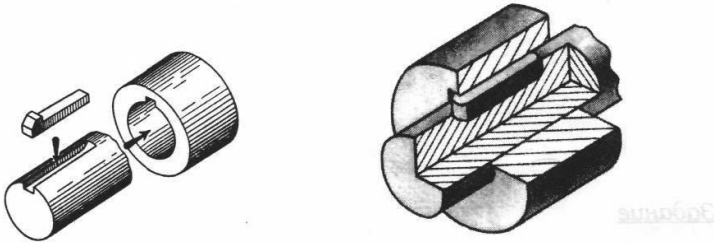


Рисунок 2.18 – Шпонкові з'єднання

**Зубчасте (шліцьове) з'єднання.** Це з'єднання утворюється за рахунок виступаючих зубів на валу і поглиблення під них на маточині (рис. 2.19). Робочими поверхнями є бічні сторони зубів. Шліцьові зуби бувають прямобічні, евольвентні та трикутні. Шліцьові з'єднання широко застосовують у коробках передач. З'єднання із трикутними зубами застосовують для різних рукояток і фіксують болтами.

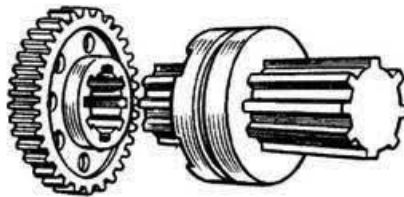


Рисунок 2.19 – Зубчасте (шліцьове) з'єднання

*Перевагами шліцевого з'єднання є: висока міцність, краще центрування, менше ослаблення валу. Недоліками шліцевого з'єднання є: більш складне виготовлення та вища вартість.*

**Штифтові з'єднання.** Штифтові з'єднання є рознімними і застосовуються для з'єднання різних плоских деталей, для їх фіксації і центрування (рис. 2.20).

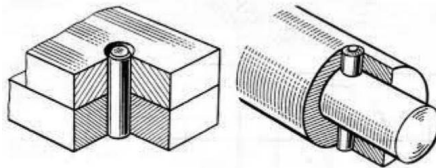


Рисунок 2.20 – Штифтові з'єднання

**Зварювальні з'єднання.** Такі види з'єднань утворюють завдяки нагріванню і наплавленню матеріалу в місці кріплення із утворенням зварного шва (рис. 2.21). Ці з'єднання вважаються одними із найпоширеніших.

Існує декілька варіантів зварювання. Найпопулярніші з них – це *зварювання електродугою*. Можна виділити його три основні види:

- автоматичне під флюсом (відрізняється високою продуктивністю і якістю, використовується у масовому виробництві);
- напівавтоматичне під флюсом (використовується для зварювання коротких переривчастих швів);
- ручне (незначна продуктивність, якість залежить безпосередньо від досвіду зварника).



Рисунок 2.21 – Процес зварювання з'єднань та вигляд зварювального з'єднання

*Контактне зварювання* застосовують у масовому виробництві для зварювання тонколистових металів.

*Перевагами зварювання* є: висока міцність і щільність з'єднання, висока продуктивність зварювання, невеликі витрати металу, можливість ремонту і реставрації деталей, невисока вартість робіт, отримання з'єднання герметичним і щільним, можливість застосування автоматизованих процесів та роботи із товстим профілем.

*Недоліками зварювання* є: складність обладнання та необхідність високої кваліфікації робітника, поява деформацій поверхні деталей під час нагрівання, низька надійність деталей в умовах роботи із вібраціями і ударними навантаженнями.

**Пайка.** Пайкою називається процес отримання нерознімного з'єднання двох або декількох деталей із застосуванням присадки – припою (рис. 2.22).

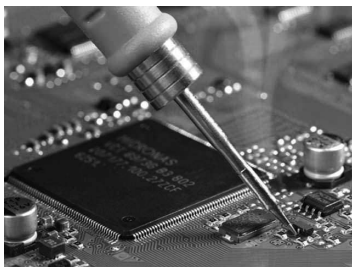


Рисунок 2.22 – Процеси пайки

На відміну від зварювання у момент пайки поверхня металу не нагрівається до температури оплавлення. Функцію з'єднання виконує розплавлений припій, який має нижчу температуру плавлення. Такий спосіб з'єднання застосовують для малих деталей, що пов'язано із обмеженням зазору між поверхнями частин.

**Склеювання.** Це спосіб отримання нерухомого нерознімного з'єднання за допомогою спеціальних речовин, здатних за певного фізичного стану скріплювати деталі завдяки прояву сил адгезії (рис. 2.23). Для такого способу не потрібен розігрів поверхонь.

Під кожен вид металу підбирається свій клей, який забезпечує щільне зчеплення. Для таких операцій деталі, які підлягають склеюванню, необхідно попередньо підготувати. Їх поверхні шліфують, обез-

жирюють, на них наносять спеціальне ґрунтування, після чого здійснюють операцію зі склеювання. Застосовувані склади клею відрізняються додатковими властивостями і адгезією до різних поверхонь.



Рисунок 2.23 – Процес склеювання труб

**Заклепувальні з'єднання.** Заклепувальне з'єднання – одне із найдавніших способів з'єднання (рис. 2.24). Цей спосіб застосовують в основному для з'єднання листового металу і фасонних профілів. Технологічний отвір у поверхнях здійснюють свердлінням, куди потім вставляють заклепку.

*Перевагами заклепувальних з'єднань є:* простота технології, висока міцність, рухливість з'єднання, що запобігає утворенню тріщин, можливість застосування до матеріалів, які не піддаються зварюванню, надійність.

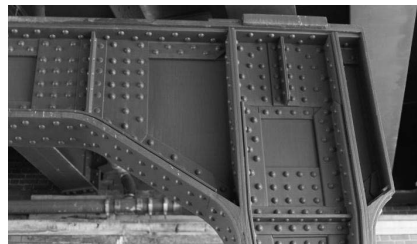
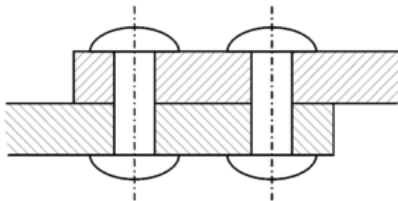


Рисунок 2.24 – Заклепувальні з'єднання

*Недоліками заклепувальних з'єднань є:* дуже низька продуктивність клепання, великі витрати матеріалу, ослаблення деталі отвором, недостатня герметичність.



Клепанння буває ручне і машинне, холодне і гаряче (для  $d > 12$  – тільки гаряче). Клепані шви бувають міцні, щільні і міцнощільні, однорядні та багаторядні.

**Пресове з'єднання.** Нерухомі нерознімні з'єднання із гарантованим натягом широко застосовують під час з'єднання із втулками, кільцями, підшипниками, буксами, роторами, зубчастими колесами, маховиками тощо (рис. 2.25). Їх міцність визначається силами зчеплення на контактних поверхнях, тобто величиною натягу після складання.

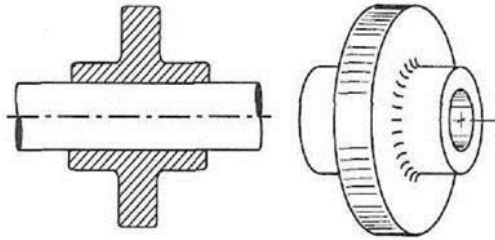


Рисунок 2.25 – Пресове з'єднання

Пресове з'єднання можна здійснювати нагріванням деталі, що охоплює (втулки), або охолодженням охопленої деталі (валу) перед складанням, наданням пластичної деформації одній із деталей, що з'єднуються (наприклад, розвальцюванням), шляхом створення пружної деформації охопленої деталі або запресовуванням охопленої деталі у охоплювану деталь із натягом.

Заклепувальне з'єднання здійснюється підгонкою посадочних місць деталей. З'єднання відбувається за рахунок сили тертя. В основному цей вид з'єднання вважають нерознімним. Але це умовно. У практиці все ж виконують демонтаж і заміну деталей.

**Порівняння переваг та недоліків видів з'єдань.** Кожне з'єднання відрізняється своїми характеристиками.

**Різьбове з'єднання.** Витримує великі навантаження, є надійним з'єднанням, має широкий асортимент виробів, легкість монтажу і демонтажу, можливість застосовувати механізацію та характеризується невисокою вартістю. Недоліками з'єднання є: підвищена кількість концентраторів напружень, що знижує міцність конструкції.

**Шпонкове з'єднання.** Нескладна конструкція, легкий монтаж і демонтаж. Недоліками з'єднання є те, що паз для шпонки за рахунок

зменшення перетину вала і маточини послаблює міцність з'єднання. Також це відбувається за рахунок концентрації напружень крутіння і вигину. Процес виготовлення шпонкового з'єднання є трудомістким.

*Зубчасте (шліцьове) з'єднання.* Утворює міцне зчеплення і точний напрям осьового переміщення, передає великий крутний момент, зменшує кількість деталей, забезпечує надійність в умовах реверсивних і динамічних навантажень, зменшує ослаблення валу. Недоліками з'єднання є: підвищена вартість, складна технологія виробництва.

*Зварювальне з'єднання.* Незначна вартість робіт, з'єднання є герметичним і щільним, можливість застосування автоматизованих процесів та здійснення зварювання товстих профілей. Недоліками з'єднання є: під час ручного зварювання якість залежить безпосередньо від кваліфікації працівника, деформація поверхні деталей під час нагрівання, низька надійність в умовах вібрацій і ударного навантаження.

*Пайка.* Відсутні деформації поверхонь деталей, висока точність, можливість розпаювання. Недоліками є: складний процес підготовки підстав, необхідно забезпечувати мінімальний зазор під час пайки.

*Клейове з'єднання.* Невисока вартість, відсутнє ослаблення робочого перетину, можливість комбінованого використання із іншими видами з'єднань, герметичність стику, підвищуються антикорозійні властивості шва, стійкість до впливу води, хімічних речовин і температурних перепадів, проста технологія нанесення.

Недоліками з'єднання є: необхідність ретельної підготовки підстави, за неправильного підбору складу клею можуть знижуватися характеристики з'єднання.

*Заклепувальне з'єднання.* Можливість застосування до матеріалів, які не піддаються зварюванню, надійність, перешкоджає появі втомних тріщин. Недоліками з'єднання є: трудомісткість, матеріаломісткість, під час клепаання з'являються деформації поверхонь деталей у результаті механічної дії.

*Пресове з'єднання.* Конструкція достатньо проста, гарне розташування з'єднувальних деталей, витримує великі навантаження. Недоліками з'єднання є: складність складання, міцність знижується від дії вібрацій і коливань.

Отже, кожен вид з'єднання має свої переваги і недоліки. Із огляду на ці чинники слід вибирати оптимальні види з'єднання у кожному конкретному випадку.



*Технічне завдання* – це документ, який складається спільно замовником і розробником та містить загальне уявлення про призначення, технічні характеристики і принципи пристрої майбутнього виробу.

*Технічна пропозиція* – це додаткові або уточнені вимоги до виробу, які не могли бути зазначені у технічному завданні.

*Творчість* – це специфічна матеріальна або духовна діяльність, що породжує щось нове або нову комбінацію відомого.

*Винахід* – це нове рішення технічної задачі, що дає позитивний ефект.

*Ескізування* – це процес створення ескізу, попереднього рисунку, фіксує задум, що містить основні обриси створюваного об'єкта.

*Компоновка* – це розташування основних деталей, вузлів, складальних одиниць майбутнього об'єкта.

*Розрахунок* – це чисельне визначення зусиль, напружень і деформацій у деталях, встановлення умов їх нормальної роботи; виконується у міру необхідності на кожному етапі конструювання.

*Креслення* – це точне графічне зображення об'єкта, що містить повну інформацію щодо його форми, розмірів та основних технічних умов виготовлення.

*Пояснювальна записка* – це текстовий документ, що містить описання пристрою і принципу дії виробу, а також технічні характеристики, економічне обґрунтування, розрахунки, указівки щодо підготовки виробу до експлуатації.

*Специфікація* – це текстовий табличний документ, що визначає склад виробу.

*Ескізний проект* – це перший етап проектування, коли встановлюються принципові конструктивні і схемні рішення, що дають загальні уявлення щодо пристрою і роботи виробу.

*Технічний проект* – це заключний етап проектування, коли виявляються остаточні технічні рішення, що дають повне уявлення щодо виробу.

*Робочий проект* – це повний комплект робочої документації (текстової та графічної), у якій міститься повна інформація щодо конструювання, виготовлення, експлуатації та ремонту машини.

**Основні принципи і етапи створення машин.** Машини, як і інші вироби, виготовляють тільки за проектом, який, у будь-якому випадку, є сукупністю графічних і текстових документів. Правила і поряд-

док розроблення та оформлення цих документів встановлюється комплексом стандартів – Єдиною системою конструкторської документації (ЄСКД). Проектування машин виконують у кілька стадій. Для одиничного виробництва це: розроблення технічної пропозиції; розроблення ескізного проекту; розроблення технічного проекту; розроблення документації для виготовлення виробу; коригування документації за результатами виготовлення та випробування виробу.



Стадії проектування під час серійного виробництва ті ж, однак коригування документації доводиться повторювати кілька разів: спочатку для дослідного екземпляра, потім для дослідної партії, потім за результатами виготовлення і випробувань першої промислової партії.

Приступаючи до виконання кожного етапу конструювання, як і взагалі до будь-якої роботи, необхідно чітко позначити три позиції: вихідні дані – будь-які об'єкти та інформація; мета – очікувані результати, величини, документи, об'єкти; засоби досягнення мети – методи конструювання, розрахункові формули, інструментальні засоби, джерела енергії та інформації, конструкторські навички, досвід.

Теоретично замовник повинен скласти і видати розробнику Технічне завдання – документ, у якому кваліфіковано і чітко позначено всі технічні, експлуатаційні та економічні параметри майбутнього виробу. Однак, як правило, цього не відбувається, оскільки замовник зайнятий своїми відомчими завданнями, а, головне, не має достатніх навичок проектування.

Робота починається із того, що замовник і виконавець спільно складають (і підписують) Технічне завдання. При цьому виконавець по-

винен отримати максимум інформації щодо потреби, побажання, технічних і фінансових можливостей замовника, обов'язкових і бажаних властивостей майбутнього виробу, особливостей його експлуатації, умов ремонту, можливостей ринку збуту. Ретельний аналіз цієї інформації дозволить проектувальнику правильно вибудувати логічний ланцюжок "завдання – мета – засоби" і максимально ефективно виконати проект [5, 8, 10, 20, 51, 69].

Розроблення Технічної пропозиції починається із вивчення Технічного завдання. З'ясовуються призначення, принцип пристрою і способи з'єднання основних складальних одиниць і деталей. Все це супроводжується аналізом науково-технічної інформації щодо аналогічних конструкцій. Виконуються кінематичний розрахунок, проектувальні розрахунки на міцність, жорсткість, зносостійкість і за критеріями працездатності. Із каталогів попередньо вибираються всі стандартні вироби – підшипники, муфти та ін. Виконуються перші ескізи, які поступово уточнюються. Необхідно прагнути до максимальної компактності розташування і зручності монтажу-демонтажу деталей.

На стадії Ескізного проекту виконуються уточнені та перевірені розрахунки деталей, креслення виробу в основних проєкціях, опрацьовується конструкція деталей із метою їх максимальної технологічності, вибираються з'єднання деталей, опрацьовується можливість складання-розбирання і регулювання вузлів, вибирається система змащування і ущільнення. Ескізний проект повинен бути розглянутий і затверджений, після чого він стає основою для Технічного проекту. За необхідності виготовляються і випробовуються макети виробу.

Технічний проект повинен обов'язково містити креслення загального вигляду, відомість технічного проекту та пояснювальну записку. Креслення загального вигляду повинно надати відомості щодо конструкції, взаємодії основних частин, експлуатаційно-технічних характеристиках і принципів роботи виробу. Відомість Технічного проекту та Пояснювальна записка, як і всі текстові документи повинні містити вичерпну інформацію щодо конструкції, виготовлення, експлуатації та ремонту виробу. Вони оформляються у строгій відповідності із нормами і правилами ЄСКД.

Таким чином, проект набуває остаточного вигляду, включаючи креслення і пояснювальну записку із розрахунками, який називається *робочою документацією*.

**Вимоги до машин і критерії їх якості.** Вимоги до машин різноманітні і часто суперечливі, однак їх можна умовно розділити на основні взаємопов'язані групи: технологічні вимоги; економічні вимоги; експлуатаційні вимоги [23, 24, 37, 43, 55].

*Якість закладається* на стадії проектування, забезпечується на стадії виробництва і підтримується в процесі експлуатації.

*Ступінь відповідності* вимогам характеризують критерії якості – це конкретні параметри: вимірювані або обчислювані величини.

Однак відомо, що повне задоволення всіх вимог – це абсолютно нездійсненне завдання, тому завжди доводиться вишукувати компроміс, забезпечуючи головні вимоги та відповідні їм критерії якості. Тому слід зазначити основні вимоги до деталей і машин.

*Технологічність* – це виготовлення виробу за мінімальних витрат праці, часу і коштів у повній відповідності своєму призначенню.

*Економічність* – це мінімальна вартість виробництва і експлуатації.

*Працездатність* – це стан об'єкта, за яким він здатний виконувати задані функції.

*Надійність* – властивість об'єкта зберігати у часі здатність до виконання заданих функцій.

Основними критеріями якості машин є:

- *потужність* – це швидкість перетворення енергії;
- *продуктивність* – це обсяг роботи (продукції, інформації), що виконується за одиницю часу;
- *коефіцієнт корисної дії* – це частка енергії (потужності), яка дійшла до споживача;
- *габарити* – це граничні розміри;
- *енергоємність* – це витрата палива або електричної енергії, віднесеної до обсягу роботи (пройденої відстані, виробленої продукції);
- *матеріаломісткість* – це кількість конструкційного матеріалу машини, зазвичай, віднесеної до одиниці потужності;
- *точність* – це здатність максимально відповідати заданому положенню (швидкості та ін.);
- *плавність ходу* – це мінімальні прискорення під час роботи машини.

**Умови нормальної роботи деталей і машин.** Успішна робота деталей і машин полягає у забезпеченні працездатності та надійності.

*Працездатність* деталей і машин визначається як властивість виконувати свої функції із заданими показниками і характеризується наступними критеріями:

- *міцність* – це здатність деталі чинити опір руйнуванню або необоротній зміні форми (деформації);
- *жорсткість* – здатність деталі чинити опір будь якій деформації;
- *зносостійкість* – це здатність зберігати первинну форму своєї поверхні завдяки можливості чинити опір зношуванню;
- *тепlostійкість* – це здатність зберігати свої властивості в умовах дії високих температур;
- *вібростійкість* – це здатність працювати в потрібному діапазоні режимів без неприпустимих коливань.

*Надійність* визначає властивість деталі й машини виконувати свої функції, зберігаючи задані показники протягом заданого часу.

У процесі роботи деталі і машини піддаються не тільки розрахунковим навантаженням, які конструктор очікує і ураховує, а й потрапляють у позаштатні ситуації, які дуже важко передбачити. Наприклад, удари, вібрація, забруднення, екстремальні природні умови та ін. При цьому виникає відмова – тобто втрата працездатності внаслідок руйнування деталей або порушення їх правильної взаємодії.

Відмови бувають повні та часткові; раптові (поломки) і поступові (зношування, корозія); небезпечні для життя; важкі і легкі; переборні і непереборні; відмови, які виникають на початку експлуатації та пов'язані із наявністю дефектних деталей; відмови за причиною зношування, втоми і старіння матеріалів.

Надійною можна вважати машину, що має такі властивості.

*Безвідмовність* – це здатність зберігати свої експлуатаційні показники протягом заданого напрацювання без вимушених перерв.

*Довговічність* – це здатність зберігати задані показники до граничного стану із необхідними перервами для ремонтів і технічного обслуговування.

*Ремонтпридатність* – це пристосованість виробів до попередження, виявлення та усунення відмов і несправностей за допомогою технічного обслуговування і ремонту.

*Збереженість* – це здатність зберігати потрібні експлуатаційні показники після встановленого терміну зберігання і транспортування.



Надійність важко розрахувати кількісно, вона звичайно оцінюється як імовірність безвідмовної роботи на підставі статистики експлуатації групи ідентичних машин. Отже, за всієї значимості описаних критеріїв *міцність є важливим критерієм працездатності і надійності*.

**Загальні принципи розрахунків на міцність.** Всі етапи проектування, кожен крок конструктора супроводжується розрахунками. Це природно, оскільки кваліфіковано виконаний розрахунок набагато простіше і в сотні разів дешевше експериментальних випробувань. Найчастіше конструктор має справу із розрахунками на міцність. Розрізняють *проектувальні* та *перевірочні* розрахунки. *Проектувальний розрахунок* виконується, коли за очікуваними навантаженнями, із урахуванням властивостей матеріалу визначаються геометричні параметри деталей.

*Перевірочний розрахунок* виконують, коли відома вся "геометрія" деталі і максимальні навантаження, а з урахуванням властивостей матеріалу визначаються максимальні напруження, які повинні бути менше допустимих.

### **Структурний і кінематичний аналіз механізмів машин**

*Структура механізму* – це його будова. Будовою механізму визначаються такі його важливі характеристики, як види виконуваних рухів, способи їх перетворення, число ступенів вільності. Основними структурними елементами механізму є ланки (тверді тіла) та кінематичні пари (рухомі з'єднання твердих тіл). Тобто, із точки зору теорії машин і механізмів, будь-який механізм чи машина складаються лише із ланок, які з'єднані між собою кінематичними парами.

#### ***Ланки та кінематичні пари. Класифікація кінематичних пар.***

Усі механізми та машини складаються із окремих деталей. Під час роботи машини ряд деталей рухаються як одне ціле відносно інших деталей. Тому в теорії машин і механізмів має місце таке поняття як *ланка*. Одна деталь або сукупність декількох деталей, які утворюють одну жорстку систему тіл і не мають рухів одна відносно іншої, представляють собою ланку. Отже, кожна ланка може складатися із однієї або декількох деталей, що утворюють нерухомі з'єднання. Найчастіше зустрічається таке визначення ланки. Тому тверді тіла, із яких складається механізм, називають *ланками*. При цьому мають на увазі як абсолютно тверді, так і тіла, що деформуються, і гнучкі тіла.

Ланки механізму рухомо з'єднані між собою. Рухоме з'єднання двох ланок, що дотикаються, називають *кінематичною парою*. Точки, лінії, поверхні ланки, якими вона стикається (з'єднується) із іншою ланкою, утворюючи кінематичну пару, називають *елементами кінематичної пари*. Кінематична пара під час взаємодії елементів допускає відносний рух ланок. Для того, щоб елементи кінематичної пари перебували у постійному дотику (ланки в механізмі повинні бути постійно з'єднані між собою), тобто пара повинна бути замкнена.

За характером замикання кінематичні пари поділяють на пари із силовим (завдяки сил ваги, пружності, тиску рідини або газу та ін.) і геометричним (завдяки конструктивних форм ланки) замиканням.

**Класифікація кінематичних пар.** За характером з'єднання ланок кінематичні пари поділяють на дві групи: нижчі та вищі. До нижчих відносяться пари, у яких ланки стикаються по поверхні, а до вищих – якщо елементами кінематичної пари є тільки лінії або точки. При цьому лінійний або точковий контакт розуміють як початковий – дотик ланок без зусиль, а під навантаженням ланки, які утворюють вищу пару, будуть дотикатися за деякою дійсною поверхнею, яка називається *плямою контакту*.

### Виконати завдання

1. Оцініть потенційні можливості конкуруючих фірм (або підприємств) у підвищенні ефективності виробничої діяльності (зниженні вартості товару, підвищенні конкурентоспроможності виробленої продукції та зменшенні небезпеки банкрутства) протягом 5 років, якщо кожна із чотирьох фірм має змогу підвищити КІМ до 0,8 (0,82; 0,83; 0,84; 0,85 – задається викладачем) протягом відповідно 2, 6, 5, 3 років, щорічно збільшуючи його значення, відповідно на 5, 10, 20, 25 %. Відповідь проілюструйте таблицею та графіком. Які мають бути рекомендації для цих фірм? Оцініть можливу величину відходів виробництва, якщо маса деталі – 2, 3, 4, 5, 10 кг (варіант визначається викладачем), а програма випуску – 100 та 10000 виробів на рік. Оцініть можливе збільшення кількості виробів зі збільшенням КІМ на 1, 5, 10 %.

2. На виробничій ділянці (токарні верстати потужністю 2,5; 5; 7,5; 10 кВт) припускають виготовляти п'ять типів різних виробів; необхідна (ефективна) потужність різання становить для кожного із типів виробів відповідно 50 Вт, 0,5 кВт, 2 кВт, 6 кВт і 7,5 кВт. Виходячи із енергетич-

них міркувань (раціональний коефіцієнт завантаження обладнання не менше 0,7), оцініть к. к. д. та запропонуйте раціональний розподіл виробів для кожного із чотирьох верстатів (зобразивши верстати умовно у вигляді прямокутників). Які можливі варіанти перерозподілу виробів? Відповідь поясніть письмово. Наведіть графіки зміни к. к. д. у разі виконання всіх деталей на одному верстаті.

3. Складіть кінематичний ланцюг, що складається із ремінної і декількох зубчастих передач (дві, три, чотири), задавши довільно діаметри шківів і кількості зубів так, щоб передавальні відношення складали значення (1,5; 2; 2,5 – варіант погодити із викладачем) і викреслити у довільному масштабі. Встановіть кінцеве значення передавального відношення для кінематичного ланцюга.

4. Наведіть кінематичні схеми механізмів для перетворення обертального руху у поступальний і обертального руху у обертальний (безперервний або переривчастий). Визначіть передавальні відношення двох – трьох типових передач (гвинтової, зубчастої і ремінної).

### Контрольні питання

1. У чому полягає відмінність механізму від машини?
2. Яке призначення машин-генераторів, машин-двигунів та машин-знаряддя? Наведіть приклади.
3. Яке призначення універсального, спеціалізованого і спеціального обладнання?
4. Із якою метою застосовують багатоступінчасті передачі?
5. У чому полягає фізична сутність поняття "передавальне відношення"?
6. Частота обертання ведучого валу передачі  $n_1 = 2000$  об./хв, а веденого  $n_2 = 400$  об./хв. На якому валу передачі обертаючий момент більше? У скільки разів?
7. Як визначити загальне передавальне відношення?
8. Що таке "модуль зубчастого зачеплення" і для чого вводиться цей параметр?
9. Через які параметри виражається передавальне відношення ремінної, фрикційної і ланцюгової передач, а також зубчастої передачі?
10. Назвіть переваги та недоліки основних видів з'єднань.
11. Якими критеріями характеризується працездатність деталей і машин?

### **Робота 3. Загальні відомості щодо правил виконання конструкторської документації**

**Мета роботи** – ознайомити студентів із особливостями виконання графічних робіт, побудови проєкцій простих фігур за методом прямокутного (ортогонального) проєктування та побудови креслення геометричного тіла у трьох проєкціях і аксонометричних проєкцій простих фігур.

#### ***Загальні положення***

#### **Основні відомості щодо виконання графічних робіт**

Найпростішим видом виробу є деталь – це виріб, виготовлений із однорідного за найменуванням і маркою матеріалу без застосування складальних операцій.

Зображення виробів на кресленнях здійснюють як проєкції, що виконуються ортогональним проєктуванням виробів на відповідні площини (горизонтальну, фронтальну, профільну) [46].

Зображення виконуються за допомогою різних ліній. Розглянемо основні лінії та їхнє призначення:

————— – це суцільна основна лінія призначена для зображення ліній видимого контуру, лінії контуру перетину (винесеного й вхідного до складу розрізу), її товщина 0,5 – 1 мм;

- - - - - – це штрихова лінія, що зображує лінію невидимого контуру, її товщина дорівнює приблизно 0,3 – 0,5 від товщини основної лінії;

- - - - - – це штрихова стовщена лінія, що зображує ділянки поверхні певної довжини, що піддаються фарбуванню або зміцненню;

- . . . . - – штрих-пунктирна тонка лінія товщиною 0,3 – 0,5 від товщини основної лінії, застосовується для проведення осьових, а також центрових ліній;

————— – це суцільна тонка лінія товщиною 0,3 – 0,5 товщини основної лінії, яку застосовують для розмірних і виносних ліній, а також для штрихування в перетинах. Приклад використання ліній наведено на рис. 3.1.

Самостійна та аудиторна робота передбачає виконання практичних завдань із побудови креслень. Під час виконання креслень необхідно керуватися правилами та умовами креслення, установленими "Єдиною системою конструкторської документації" (ЄСКД).

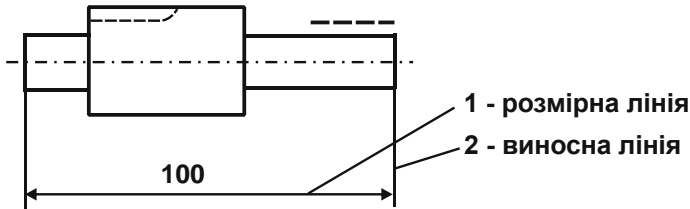


Рисунок 3.1 – Приклад використання різних типів ліній

Завдання виконують на аркушах креслярського паперу. Креслення супроводжується основним написом, що розташовують у правому нижньому куті уздовж будь-якої сторони формату (на аркуші формату А4 (210×297 мм)). Основний напис розташовують тільки уздовж короткої сторони.

Зображення предмета може бути виконане у натуральну величину, зменшене або збільшене. Відношення лінійних розмірів на кресленні до лінійних розмірів предмета називається *масштабом*.

ЕСКД встановлює ряд масштабів зображень на кресленнях:

- масштаби зменшення – 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:75; 1:100; 1:200;
- масштаби збільшення – 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 40:1; 50:1; 100:1.

Підставою для визначення величини зображеного предмета та його частин є розмірні числа; правила нанесення розмірів встановлено ЕСКД. Розміри на кресленнях указують розмірними числами та розмірними лініями, які обмежують стрілками (рис. 3.2).

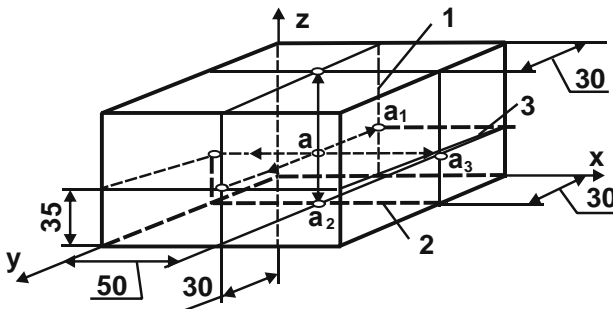


Рисунок 3.2 – Проекції точки  $a$  із координатами  $x = 50$ ,  $y = 30$ ,  $z = 35$  на грані куба у трикоординатній системі:  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  – відповідно, проекції точки на фронтальну, горизонтальну і профільну площини

Розмірні числа наносять над розмірною лінією можливо ближче до її середини (рис. 3.2). Висоту цифр встановлюють не менш 3,5 мм. Зазор між розмірним числом і розмірною лінією складає близько 1,0 мм. Розмірну лінію проводять паралельно відрізку, розмір якого виноситься, а виносні лінії проводять перпендикулярно розмірним лініям.

Загальна кількість розмірів на кресленні повинна бути мінімальною, але достатньою для виготовлення і контролю виробу. Кожний розмір проставляється тільки один раз. Не можна виносити менший розмір за більший. Розмірні лінії переважно наносити поза контуром зображення. Виносні лінії повинні виходити за кінці стрілок розмірної лінії на 1 – 5 мм.

Відстань від розмірної лінії до паралельної їй лінії контуру, а також відстані між паралельними розмірними лініями повинні бути у межах 6 – 10 мм. Не можна використовувати як розмірні лінії контурні, осеві, центрові та виносні лінії.

Лінійні розміри на кресленнях проставляються у міліметрах без позначення одиниць виміру.

Розміри кутів указують у градусах, хвилинах і секундах із позначенням одиниць виміру. Під час нанесення розміру кута розмірну лінію проводять як дугу із центром у його вершині, а виносні лінії – радіально (рис. 3.3).

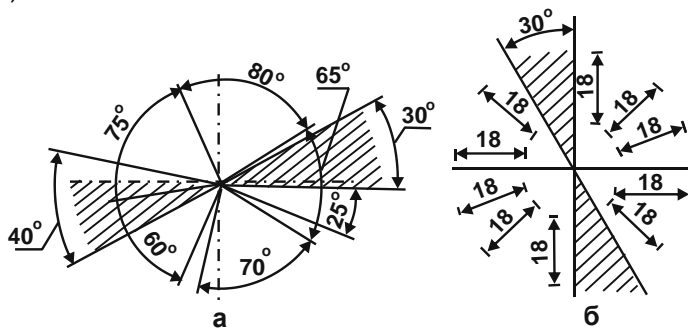


Рисунок 3.3 – Установлення розмірів

Якщо довжина розмірної лінії мала для розміщення стрілок, то розмірну лінію продовжують за виносні лінії й там наносять розміри.

Розмірні числа лінійних розмірів за різних нахилів розмірних ліній розташовують, як показано на рис. 3.3,а; кутові розміри наносять так,

як показано на рис. 3.3,б. У заштрихованій зоні розмірні числа слід наносити на полицях ліній винесень (рис. 3.3,а). Якщо для написання розмірного числа мало місця над розмірною лінією, то розміри наносять за виносною лінією над розмірною подовженою лінією.

Перед розмірним числом *діаметра* наносять знак Ø. Для кіл малого діаметра розмірні лінії, стрілки й сам розмір наносять із зовнішньої сторони.

Перед розмірним числом радіуса дуги завжди пишуть прописну латинську букву R, розмірну лінію проводять у напрямі до центра дуги й обмежують тільки одною стрілкою, що впирається у дугу або її продовження.

Для позначення розмірів *квадрата* використовують знак □, висота якого дорівнює  $\frac{7}{10}$  висоти розмірного числа. За іншого розташування у квадрата наносять розміри його сторін.

Знак *конусності* поверхні < наносять на полиці лінії винесення, розташованої паралельно вісі конуса або на вісі конуса. Гострий кут знака < направляють у бік вершини конуса. Конусність виражають у відсотках або у вигляді простого дробу. Величина конусності визначається відношенням різниці діаметрів двох поперечних перетинів конуса до відстані між ними.

Значення *нахилу* прямої указують знаком ∠ на полиці лінії винесення. Нахил задають як дріб або у відсотках.

Розміри *фасок* на кресленні наносять двома лінійними розмірами або одним лінійним і одним кутовим розміром.

Багато лекальних кривих (коло, еліпс, парабола та ін.) є утворюючими багатьох виробів або їхніх частин.

*Коло* – це сукупність точок, однаково розташованих від однієї центральної точки, яка може бути утворюючою сфери або тора (поверхня тора утворюється колом, що обертається навколо вісі, паралельної вісі симетрії кола та віддаленої від неї на деяку відстань). Ці вироби (сфера або тор) можуть бути резервуарами, наприклад, для зберігання палива; їх частини – поверхнями машин або коліс тощо.

*Еліпс* – це сукупність точок, сума відстаней від кожної точки до двох інших точок, розташованих на великій вісі еліпса та названих *фокусами* (точки  $F_1$  і  $F_2$ , рис. 3.4,а), однакова – утворює еліпсоїди (обертання утворюючої навколо вісі симетрії), які використовують зав-

дяки аеродинамічним та гідродинамічним властивостям як корпуси повітряних або річкових суден, резервуари (еліптичні днища).

*Парабола* – це сукупність точок  $M_1$ ,  $M_2$  та ін. (рис. 3.4,б), відстані від будь-якої із них до однієї точки, названої фокусом (точка  $F$ ), та до іншої точки, розташованої на прямій (названої директриса), рівні між собою – утворює параболоїди, наприклад, параболічні антени та ін.

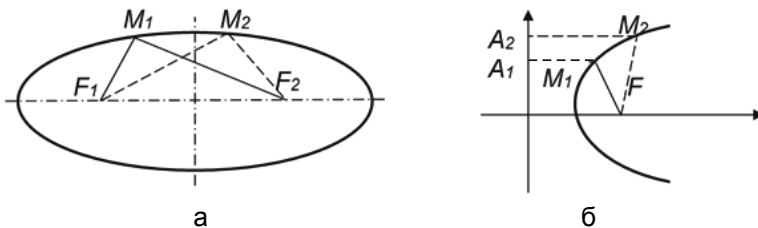


Рисунок 3.4 – Основні властивості еліпса (а) і параболи (б):  
для еліпса:  $F_1M_1F_2 = F_1M_2F_2$ ; для параболи:  $A_1M_1 = M_1F$ ;  $A_2M_2 = M_2F$

На рис. 3.5 наведено приклади деталей машин, під час креслення яких необхідно переходити від кола до еліпса, параболи та інших більш складних криволінійних поверхонь.

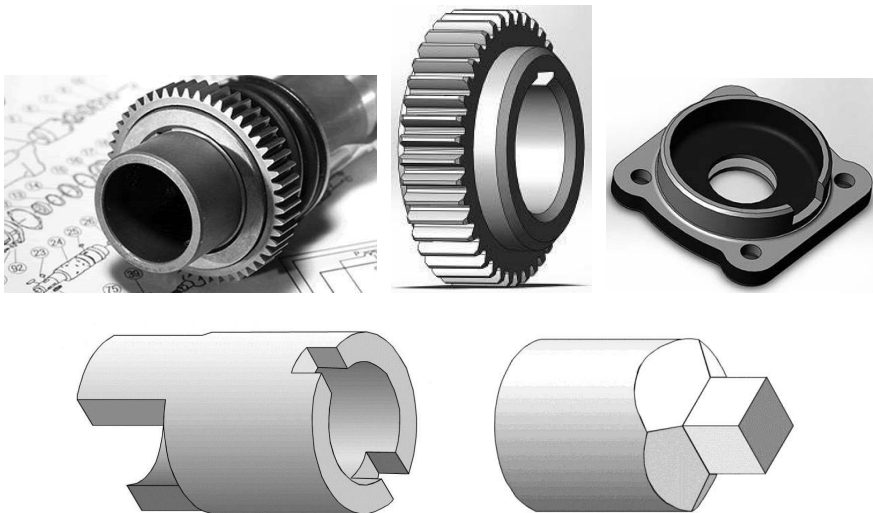


Рисунок 3.5 – Приклади деталей машин



Розглянемо особливості поділу кола на частини (рис. 3.6). Щоб розділити коло на частини, необхідно згадати розподіл прямої на 2 рівні частини (за допомогою циркуля виконуючи засічки) і послідовно виконувати наступне. Під час побудови 6-кутника із довільної точки на колі (краще на вісі симетрії – точка 1) зробити засічку радіусом, що дорівнює радіусу кола (знаходимо точку 2).

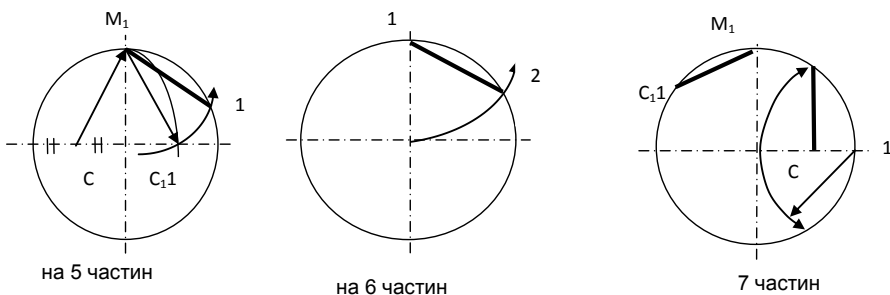


Рисунок 3.6 – Розподіл кола на частини

Відстань між точками 1–2 є стороною шестикутника (побудувати шестикутник самостійно).

Під час побудови семикутника його довжину можна знайти, розподіливши радіус на дві частини (із точки 1 зробити засічку і опустити перпендикуляр на радіус або з'єднати перетин засічок). Довжина перпендикуляра – сторона семикутника послідовно відкладається як прямі  $C_1M_1$ .

Під час побудови п'ятикутника його довжину можна визначити, виконавши початкову частину роботи аналогічно побудові семикутника. Спочатку потрібно знайти середину радіусу – точку C. Із неї провести дугу, отримавши точку  $C_1$ . Після цього радіусом  $M_1C_1$  зробити на колі засічку, отримавши точку 1. Сторона  $M_11$  є стороною п'ятикутника (побудувати п'ятикутник самостійно).

Приклад побудови еліпса наведено на рис. 3.7. Еліпс будується так: радіусами, рівними великій та малій півосі еліпса ( $\frac{a}{2}$  і  $\frac{b}{2}$ ), проводять кола, які розподіляють на 12 рівних частин (на колі із діаметром відповідної великої вісі  $a$  – це точки (0, 1, 2 ... 11)). Для цього спочатку розподіляють коло на 6 частин, а потім, змістивши ніжку циркуля на  $90^\circ$ , знову розподіляють коло на 6 частин.

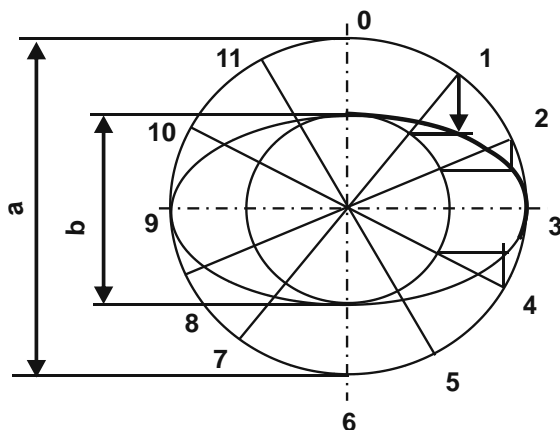


Рисунок 3.7 – Побудова еліпса

Встановлені точки з'єднують прямими (наприклад, 1 – 7). Із точок перетину прямих із колами, на великому і малому колах, проводять до перетину, відповідно, перпендикулярні та горизонтальні лінії. Точки перетину перпендикулярних і горизонтальних ліній з'єднують лекальними кривими.

Співвідношення малої та великої вісей еліпса називають його *ексцентриситетом*:

$$\varepsilon = \frac{b}{a}$$

### Виконати завдання

1. Побудуйте еліпс із заданим ексцентриситетом (0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4 – вибір узгодити із викладачем).

**Основні відомості щодо методу прямокутного (ортогонального) проектування як основного методу, який використовується під час розроблення конструкторської документації**

Зображення виробів на кресленнях здійснюють у вигляді проєкцій, що виконуються ортогональним (прямокутним) проектуванням виробів на відповідні площини (найчастіше на горизонтальну, фронтальну, профільну). При цьому умовно приймається, що виріб (на рис. 3.2 представлено у вигляді точки) проєктується на відповідні грані куба із

відповідними, наприклад, положенню точки із координатами  $x = 50$ ,  $y = 30$ ,  $z = 35$ . Тоді після розгортання на площину граней куба проєкції точки  $a$  на основні площини (фронтальну  $1 - a_1$ , горизонтальну –  $a_2$ , профільну –  $a_3$ ) будуть представлені, як показано на рис. 3.8 (розміри показано відповідно до положення точки всередині куба, зазвичай, їх не показують).

Для засвоєння основ проектування виконайте завдання: знайдіть за двома заданими проєкціями точки її третю проєкцію, відповідно до рис. 3.8.

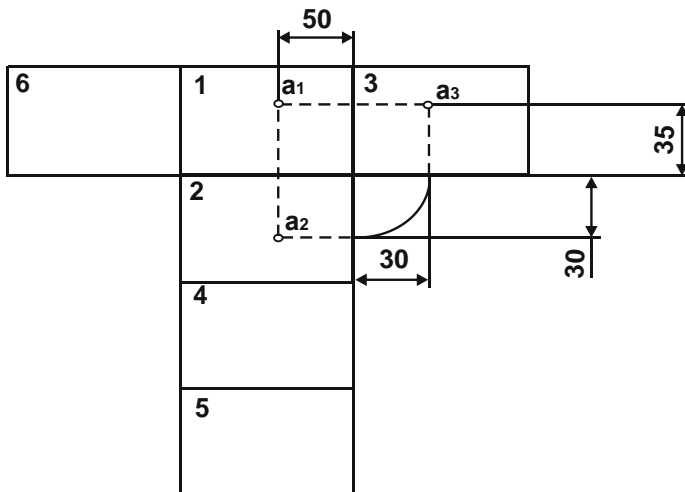


Рисунок 3.8 – Приклад проєціювання точки  $a$  на фронтальну, горизонтальну та профільну площини (на площинах 4, 5, 6 за необхідності також можуть зображуватися проєкції точки  $a$  (відповідно, як види ззаду, знизу і збоку))

Із урахуванням того, що будь-яку пряму лінію у просторі можна розташувати у відповідній площині, наприклад, паралельній або перпендикулярній до основних площин, можна встановити декілька важливих властивостей прямокутного проєціювання:

- за умови розташування прямої перпендикулярно до основної площини її проєкцією на цю площину є точка;
- за умови розташування прямої паралельно основної площини її проєкція на цю площину буде відповідати дійсній довжині прямої.

Для знаходження дійсної довжини прямої, розташованої довільно у просторі (не у площині) паралельно основній площині (наприклад, фронтальній), слід застосувати штучний прийом: повернути площину із прямою у розташування площини, на якій знаходиться пряма, до положення, паралельного основній площині. Цей прийом використовують, наприклад, для знаходження довжини грані піраміди.

На рис. 3.9 наведено приклад знаходження проекції лінії на профільній площині.

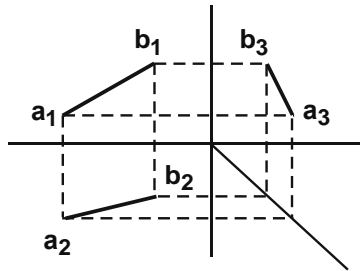


Рисунок 3.9 – Приклад знаходження проекції лінії на профільній площині

### Виконати завдання

1. Відповідно до рис. 3.10, за двома заданими проекціями точки знайдіть третю проекцію цієї точки.

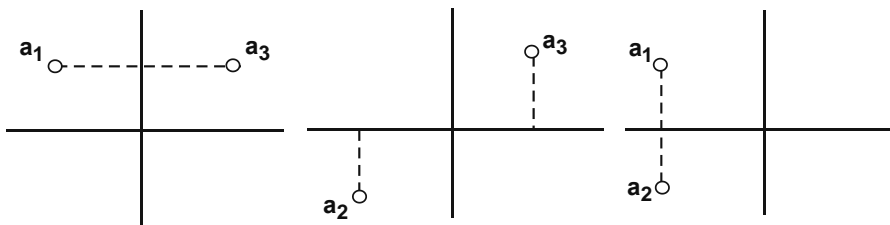


Рисунок 3.10 – За двома проекціями точки, знайдіть третю точку, задавши довільно значення проекцій (побудови виконати на аркуші формату А4)

2. Відповідно до рис. 3.11, за двома заданими проекціями лінії, знайдіть її третю проекцію.

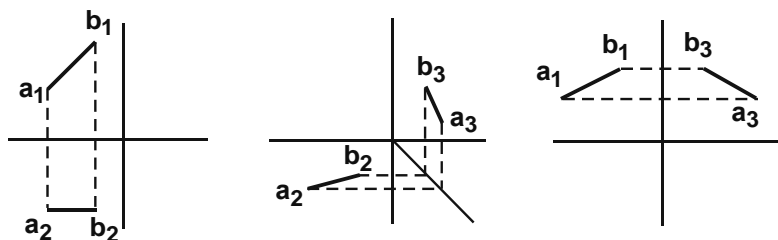


Рисунок 3.11 – Знайти побудовою третю проекцію лінії, задавши самостійно дві проекції лінії

### Побудова креслення геометричного тіла у трьох проекціях

Розглянемо етапи виконання ескізу і креслення геометричного тіла. Виконувати завдання із проєційованого креслення починаємо із складання ескізу із натури. Слід нагадати, що ескіз – це креслення, виконане переважно від руки у довільному масштабі, але із дотриманням пропорцій між елементами зображуваного предмета. Ескіз слід виконувати на папері у клітинку, оскільки він полегшує проведення прямих ліній (вертикальних, горизонтальних і похилих під кутом  $45^\circ$ ) і дотримання пропорцій зображень. Міліметровий папір використовувати забороняється, оскільки через наявність розбивки за міліметрами замість виконання зображення "на око" підраховуються і виконуються його розміри у міліметрах. Зображення (види) виконують без вимірювання предмета. Вимірюють предмет після нанесення розмірних ліній на ескізі.

Ескіз є підставою для виконання робочого креслення.

Перший етап – це вивчення форми, призначення предмета і вибір головного виду, визначення мінімальної кількості зображень. У цьому завданні студенти виконують три види креслення: попереду, зверху і зліва.

Другий етап – це планування аркуша (формату А3) – нанесення габаритних прямокутників майбутніх трьох видів із відстанню 25 ... 30 мм між ними та від рамки креслення. Справа від видів далі на кресленнях розміщують аксонометрію і винесений перетин. У правому нижньому кутку розміщують основний надпис, у лівому верхньому – повернене на  $180^\circ$  позначення креслення.

Третій етап – це проведення вісей симетрії видів, а також допоміжних ліній (на несиметричних видах). Вісі слід наносити ретельно,

оскільки вони є орієнтирами для подальших побудов і збереження пропорцій між елементами предмета "на око".

Четвертий етап – це виконання зовнішніх видимих і невидимих контурних ліній предмета на всіх трьох видах.

П'ятий етап – це зображення невидимих контурів порожнин предмета.

Шостий етап – це зображення отворів, виступів та інших елементів предмета і ліній взаємного перетину його поверхонь.

Сьомий етап – це виконання перетинів, які виявлятимуть внутрішню форму предмета на кожному вигляді. Попередньо студенти повинні ознайомитися із поняттям простих і складних перетинів – ламаних і східчастих, їх позначеннями і надписами. Усі перетини, крім простих, виконуються площинами симетрії, позначаються лініями, стрілками і надписом. Зазвичай, не позначаються та не надписуються місцеві перетини або вириви. Особливо слід звернути увагу на суміщення половин симетричних перетинів із половинами видів.

Восьмий етап – це нанесення розмірних ліній переважно поза надписів зображень. При цьому визначають мінімально необхідну кількість розмірів, місце та напрями майбутніх замірів. Кожен розмір на кресленнях слід наносити тільки один раз, причому на зображенні, де даний елемент найбільш виявлений. Габаритні розміри переважно наносять на головному вигляді. Розмірні лінії та числа рекомендується наносити у тій послідовності, як виконувалися види на ескізі:

- габаритні розміри зовнішнього контуру (висота, ширина, довжина) предмета;
- розміри контурів внутрішньої порожнини;
- розміральні розміри, що визначають положення вісей симетрії предмета і його елемента (отвори, виступи) щодо конструкторських або технологічних баз – тобто поверхонь, від яких здійснюється вимірювання;
- розміри всіх інших елементів предмета.

Дев'ятий етап – це вимірювання предмета і простановлення розмірних чисел на ескізі. Для обміру предметів студенти використовують найпростіші кінцеві вимірювальні інструменти: обмірні лінійки (сталеві), нутроміри і штангенциркулі. Ескіз подається викладачеві для перевірки і затвердження вибору перетину, що виконується на кресленні за ескізом. Креслення виконується у тій же послідовності, що й ескіз, і доповнюється перетином (рис. 3.12).

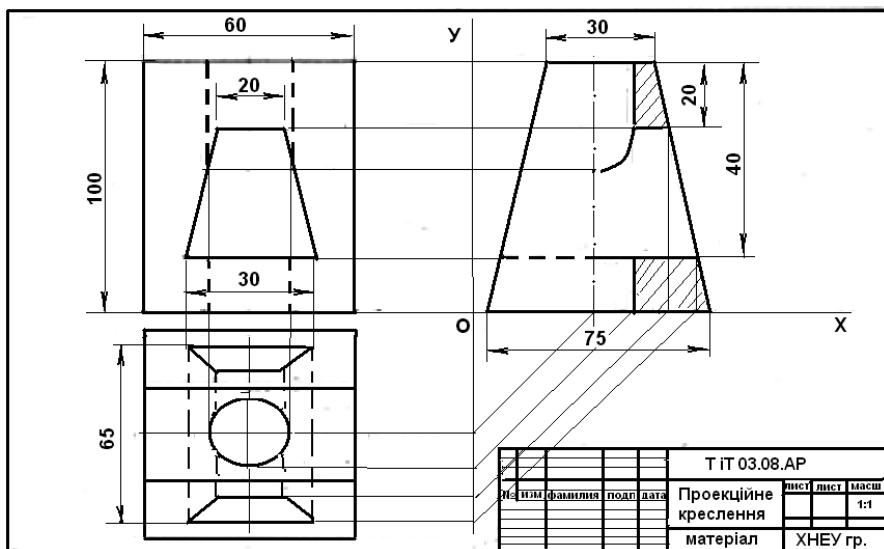


Рисунок 3.12 – Побудова креслення геометричного тіла у трьох проекціях

У фігурах (циліндрі, конусі, сфері, піраміді або призмі) використовують різні прийоми або властивості тієї поверхні, на якій розміщена лінія (наприклад, елемент логотипу фірми). Найбільш характерно використання штучного базування лінії за допомогою утворюючої (або відомої її проекції, що проходить через вибрану точку на прямій) або розрізанням фігури січною площиною, паралельною основній (наприклад, горизонтальній), що проходить через точку на прямій, проекція якої буде знаходитися на проекції лінії перетину січної площини та фігури. При цьому тип цієї лінії буде відомий – або коло при перетині конуса, або фігура, подібна до основи (при перетині піраміди). Так знаходять проекції трьох (рідше чотирьох точок).

Приклад знаходження проекцій лінії на циліндрі та конусі наведено на рис. 3.13. Для підвищення наочності зображення внутрішніх поверхонь (наприклад, у циліндрі квадратної форми, рис. 3.14) використовують перетини і розрізи. Їх зображують слідами січної площини за типом А–А, які виконують у тому масштабі, як і креслення деталі, або іншому (частіше збільшеному).

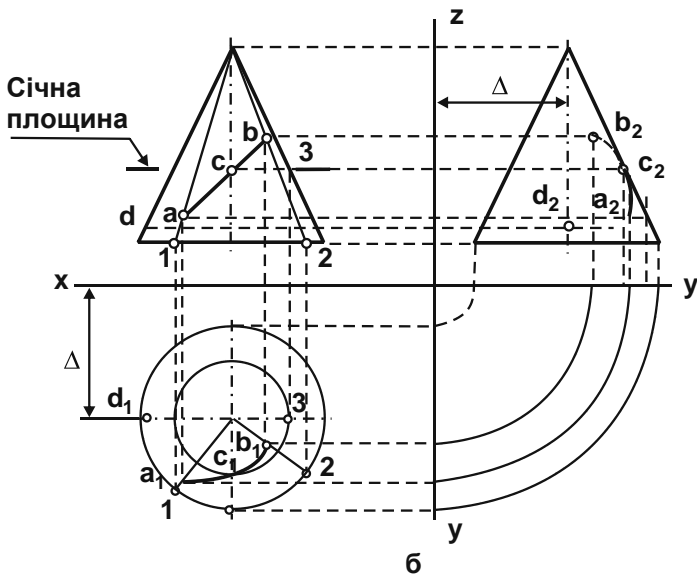
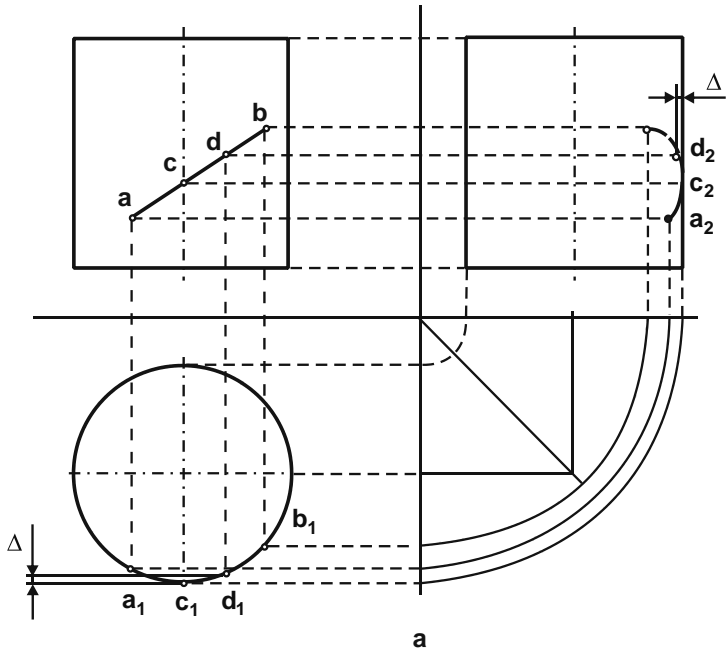


Рисунок 3.13 – Знаходження проєкцій ліній на фігури:  
 а – на циліндрі; б – на конусі



Побудову перетину і розрізу супроводжують написом типу А–А (рис. 3.14) і здійснюють (розглянемо складніший варіант – під кутом, а не паралельно основі циліндра), як показано на рис. 3.14. Будується відбиток, на якому відкладаються точки, взяті з горизонтальної проекції циліндра: спочатку для однієї фігури (для циліндра – це еліпс), а потім – для іншої (квадратної призми).

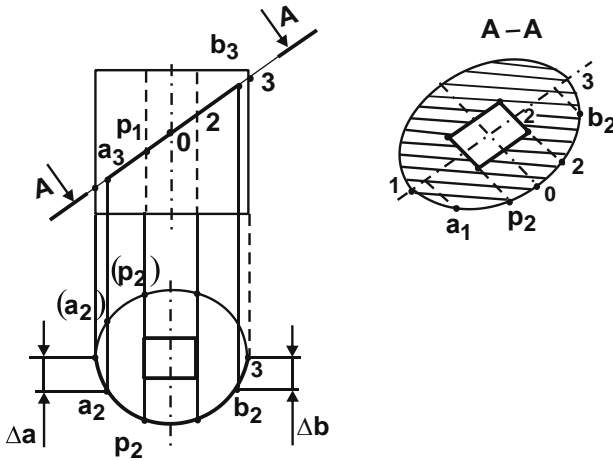


Рисунок 3.14 – Приклад побудови перетину А – А

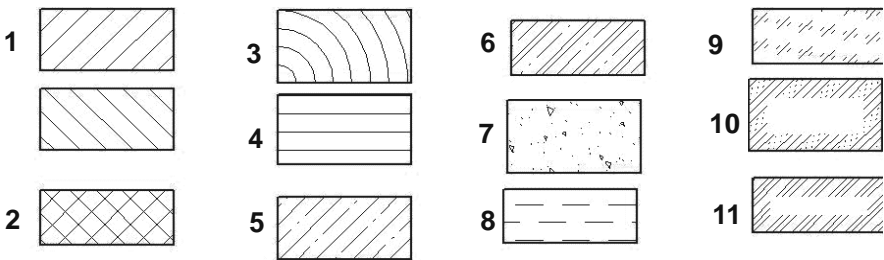


Рисунок 3.15 – Стилі штрихування для позначення типу матеріалу у розрізах та перетинах: 1 – метал; 2 – неметал (гума, пластмаса та ін.); 3 – дерево у поперечному перетині; 4 – дерево у поздовжньому перетині; 5 – залізобетон; 6 – скло; 7 – пісок; 8 – рідина; 9 – напружений залізобетон; 10 – насипний ґрунт

Залежно від положення січної площини перетинами циліндра є коло (січна площина паралельна горизонтальній площині) або прямокутник (січна площина перпендикулярна горизонтальній площині). Перетини та розрізи штрихують. Тип штрихування вибирають із урахуванням матеріалу деталі (рис. 3.15).

### **Виконати завдання**

1. За індивідуальним завданням викладача побудувати креслення геометричного тіла (натуральну модель) у трьох проекціях із перетином на одному із видів (рис. 3.13, рис. 3.14). Побудову виконати методом ортогонального проектування на аркуші креслярського паперу формату А3.

Виконуючи роботу, слід враховувати таке:

- види повинні знаходитися у проекційному зв'язку; зображеннями має бути зайнято не менше 75 % поля креслення;

- між видами забезпечити місце для проставлення розмірів.

2. За варіантами індивідуальних завдань, наведених у Додатку А, за двома заданими проекціями побудувати третю проекцію (вид зліва); побудувати відсутні лінії перетину поверхонь; побудувати винесений перетин А–А.

Для виконання побудови трьох видів із перетинами заданого геометричного тіла (рис. 3.15) необхідно:

- виконати роботу на аркуші креслярського паперу формату А3;
- побудувати вигляд спереду, зверху, користуючись варіантом індивідуального завдання та за наявності двох видів побудувати вид зліва.

Виконати на всіх видах перетини площинами рівня, що проходять через осьові лінії геометричних тіл. При цьому на зображеннях, якщо це можливо, об'єднати частини виду із частиною перетину. Проставити необхідні розміри.

Загальна кількість розмірів на кресленні повинна бути мінімальною, але достатньою для виготовлення і контролю виробів. Лінії побудов під час остаточного оформлення креслення слід зберегти.

3. На аркуші формату А4 або А3 виконайте проекції тіл: циліндр, конус, куля, призма та піраміда (основи призми і піраміди – трикутник, чотирих-, п'яти- або шестикутник; задається викладачем). Розміри фігур вибрати самостійно, співвідношення висоти та однієї із сторін (або діаметра) основи вибрати залежно від варіанта рівним: 1:1; 1:1,5; 1:2;

1:2,5. На одній із проєкцій (фронтальній, горизонтальній або профільній – задається викладачем) нанесіть лінію (відрізок прямої або кривої лінії) та знайдіть її проєкції на двох інших проєкціях.

Збільшивши масштаб піраміди (конуса) у 2 – 2,5 рази, побудуйте проєкції фігури на окремому аркуші формату А3 та її розгортку у правій нижній частині аркуша із зазначенням розмірів (у таблиці та розмірними лініями).

4. Побудуйте прості та складні перетини на типових фігурах (рис. 3.12 – рис. 3.15) згідно із індивідуальним завданням.

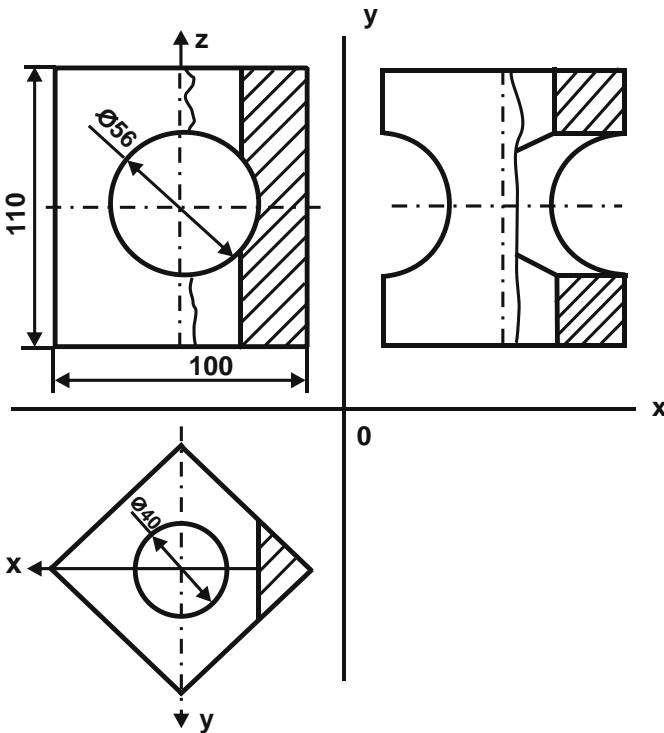


Рисунок 3.15 – Ескіз геометричного тіла у трьох проєкціях

### Основні відомості щодо методу виконання аксонометричних зображень

Для більш наглядного подання деталей (паспорт виробу, посібник із експлуатації, рекламний проспект) часто використовують технічні рисунки, виконані методом побудови аксонометричних проєкцій. Відповід-

но цьому методу, аксонометричні проєкції отримують за трьома координатами:  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , уздовж яких без спотворення (ізометричні аксонометричні проєкції) або із спотворенням розмірів виробу уздовж однієї вісі (диметричні та ін.) відкладають проєкції характерних точок 1, 2, 3, 4 (рис. 3.16, рис. 3.17, прямокутні проєкції) та ін.

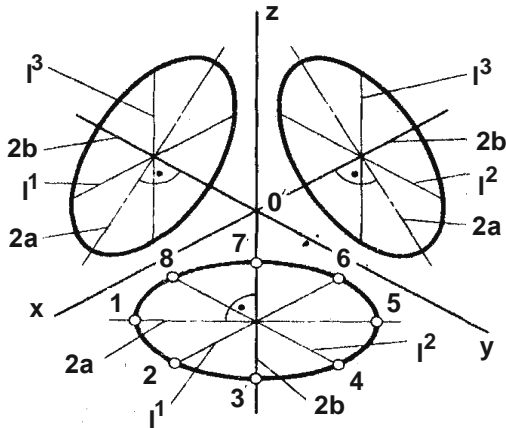


Рисунок 3.16 – Подання кола в аксонометрії

Вісі ізометричних аксонометричних проєкцій розташовують під кутом  $120^\circ$  один до одного (найпростіше це виконати, якщо розтинном циркуля, рівним радіусу кола, розділити його на 6 рівних частин і з'єднати із центра кола через одну точку кола). На рис. 3.16 і рис. 3.17 наведено приклади виконання ізометричних аксонометричних проєкцій.

*Види аксонометрії.* Залежно від напрямку проєціювання аксонометричні проєкції розподіляють на косокутні (напрямок проєціювання неперпендикулярний до площини аксонометричних проєкцій) і прямокутні (напрямок проєціювання перпендикулярний до площини аксонометричних проєкцій).

*Ізометрія* – це коли всі три коефіцієнти спотворення рівні між собою.

*Диметрія* – це коли два коефіцієнти спотворення рівні між собою та відрізняються від третього.

*Триметрія* – це коли всі три коефіцієнти спотворення не рівні між собою.

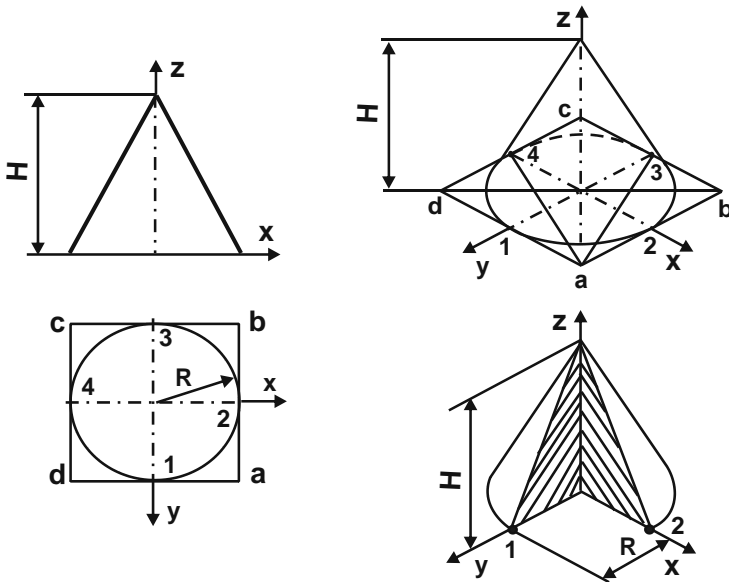


Рисунок 3.17 – Побудова ізометричної проєкції конуса

Схеми розташування аксонометричних вісей показано на рис. 3.16. Вісі ізометричних аксонометричних проєкцій розташовують під кутом  $120^\circ$  один до одного.

Зображення кола в аксонометрії є еліпсом (рис. 3.16), причому, за використання наведених коефіцієнтів спотворення велику вісь еліпса для ізометричної проєкції приймають рівною 1,22 діаметра кола, а для диметричної проєкції – 1,06 діаметра кола.

Мала вісь еліпса в ізометрії для всіх трьох площин проєкцій дорівнює 0,71 діаметра кола. У диметрії мала вісь еліпса для двох площин проєкцій, що межують із віссю у (коефіцієнт спотворення за якою дорівнює 0,5), становить 0,35 діаметра кола, а для третьої, обмеженої вісьями із коефіцієнтом спотворення 1:1:0,94 діаметра кола.

У практиці інженерної графіки еліпс, який є ізометрією кола, що знаходиться у координатній або їй паралельній площині, можна замінити на чотири центрові овали, що мають такі ж вісі.

Побудову овалу здійснюють, укладенням кола у квадрат і послідовним нанесенням точок 1, 2, а, б, с, d із проведенням відповідних дуг із вершин а, с (між точками 1–2 і 4–3). Поєднання точок 3–2 і 1–4 здійс-

нуються радіусом, що дорівнює довжині відрізка від точки 3 (або 4) до горизонтальної вісі (великої вісі еліпса).

Побудову конуса та 4-х кутової піраміди (рис. 3.17, рис. 3.18) здійснюють послідовним нанесенням точок та проведенням ліній основи піраміди, паралельно вісям  $x$  і  $y$ .

Для наочності побудовані проекції можуть мати розрізи вздовж площин, що проходять перпендикулярно до основи вздовж вісей  $x$  і  $y$ .

У нижній частині наведено приклад виконання розрізу уздовж вісей  $x$  і  $y$ . Штрихування виконують у різні сторони, відступаючи від початку координат на однакову відстань і з'єднуючи обрані точки вздовж вісей (рис. 3.18).

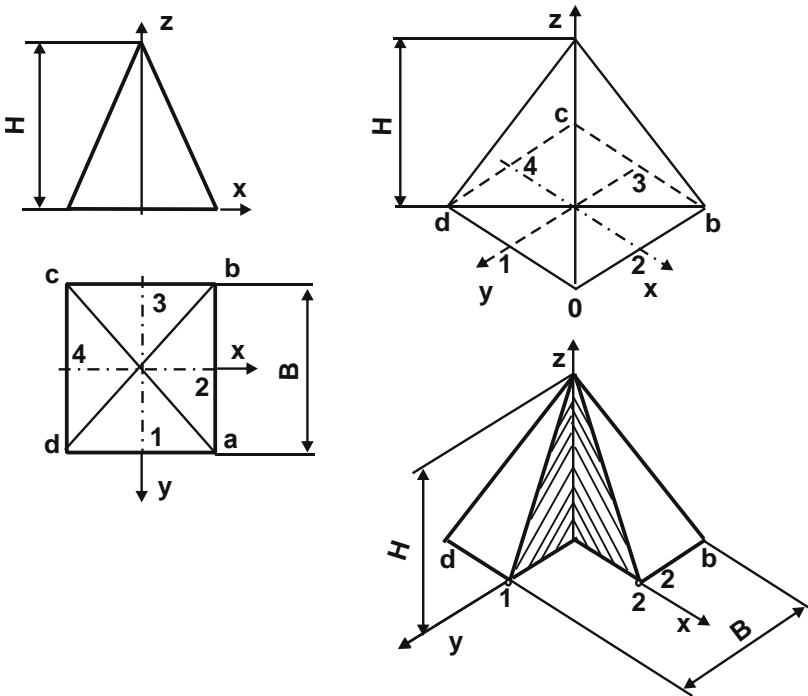
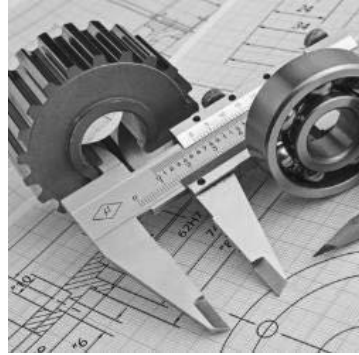


Рисунок 3.18 – Побудова ізометричної проекції 4-кутової піраміди

Таким чином, наведені методичні матеріали дозволяють студентам набути практичних навичок із виконання графічних робіт, їх розуміння та вміння грамотно прочитати. Це має важливе значення для втілення

за допомогою креслення інженерних ідей у практичні конструкторські та технологічні рішення.



### **Виконати завдання**

1. Побудувати на аркуші формату А4 або А3 ізометричну проекцію призми та циліндра із центральним отвором діаметром 0,2 ... 0,4 діаметра основи або вписаної в основу кола (із 3-, 4-, 5-, 6-кутовою основою). Розміри вибрати самостійно.

### **Контрольні питання**

1. Які особливості виконання з'єднань?
2. Як наносять розміри?
3. Як зміниться еліпс зі збільшенням його ексцентриситету?
4. Як знаходять проекції точки на піраміді, циліндрі, сфері?
5. Що називається горизонтальною проекцією точки, фронтальною та профільною проекціями?
6. Як виконують розрізи та перетини?
7. Сформулюйте властивості прямокутного проєціювання.
8. Як визначити довжину утворюючої за допомогою графічних побудов? Як знайти проекції точок, розміщених на утворюючій поверхні тіла?
9. Як визначити проекції ліній перетину конуса різними площинами?
10. Як здійснити побудову еліпсу?
11. Знайдіть координати точок на поверхні тіла.
12. Як виконують перетини просторової фігури?
13. Які особливості побудови аксонометричних проєкцій?

## Робота 4. Основні поняття та визначення у технології

**Мета роботи** – ознайомити студентів із термінологією, поняттями та визначеннями у технологічній діяльності підприємств та організацій.

### **Загальні відомості**

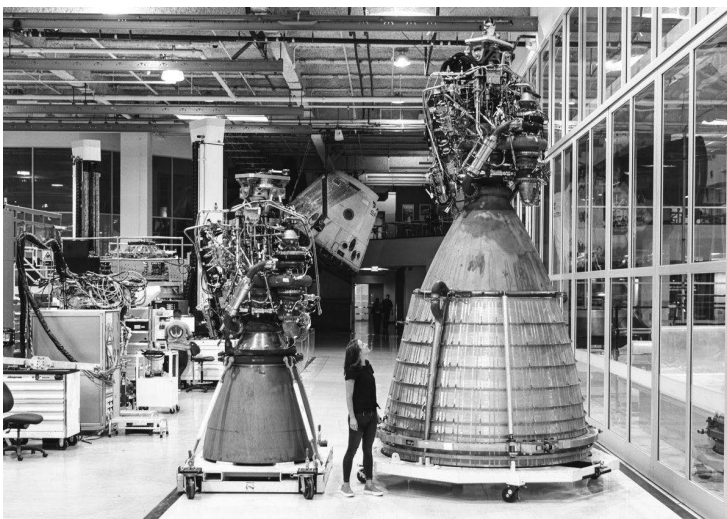
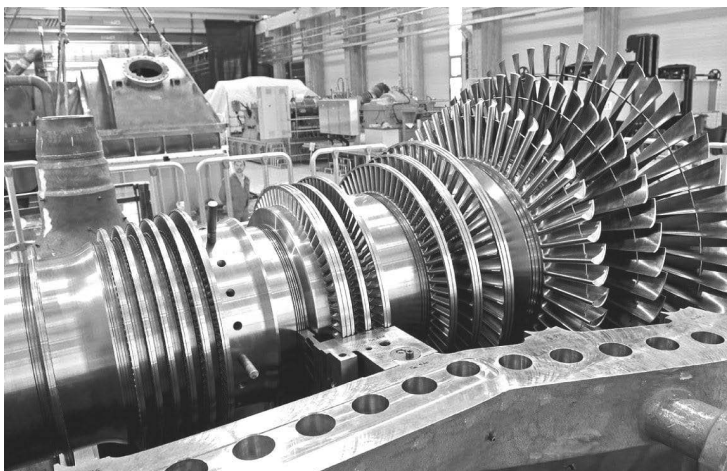
#### **Основні терміни та поняття технології виробництва**

*Технології* – це сукупність взаємозалежних цілеспрямованих дій фізичних, хімічних, біологічних або інших перетворень та засобів їх здійснення, спеціально організованих задля досягнення наперед наміченої мети. Цією метою широкої діяльності є продукт технології як матеріальних об'єктів, енергії, інформації, суспільно-політичних результатів. Спільним для всіх видів технологічних систем є і те, що вони – продукти розумової діяльності.

Іншими словами, *технологія* – це процес послідовної зміни стану, властивостей, форми й розмірів предметів праці, здійснюваний при виготовленні продукції [9, 13, 56], тобто це наука про методи та засоби виробництва, які застосовуються під час виготовлення продукції.







Технологія виробництва – наука про фізичні, хімічні та інші способи впливу на сировину, матеріали і напівфабрикати за допомогою відповідних знарядь виробництва для вироблення продукції із заданими властивостями та за найменших витрат часу і матеріальних ресурсів.

Поділ технологічних систем за різними класифікаційними ознаками регламентований ДСТ 27.004-85 "Надійність у техніці. Системи технологічні. Терміни й визначення". Стандарт містить основні визначення та терміни, що характеризують технологічну систему.





Технологічна система – це сукупність функціонально взаємозалежних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва та виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів або операцій.

Технологічний комплекс або технічна система відрізняється від технологічної системи тим, що вони розглядаються без виконавця. У комплекс технічної системи входить устаткування, організаційна тех-

ніка, включно з електронно-обчислювальною технікою, метрологічні засоби контролю за технологічними параметрами робочих середовищ, необхідні види оснащення.

За ієрархічним рівнем існує шість рівнів побудови технологічної системи – це технологічна операція, технологічний процес, ділянка, цех, підприємство, галузь [70].

*Технологічна операція* (ТО) – закінчена частина технологічного процесу (ТП), що виконується на одному робочому місці й характеризується сталістю предмета праці, знарядь праці та характером дії на об'єкт праці.

Як правило, технологічна операція охоплює всі послідовні дії робітника й устаткування з виготовлення заготовки або її обробки. Тому технологічна операція є основною складовою частиною технологічного процесу. Вона служить основою для визначення трудомісткості обробки, кількості одиниць обладнання, виробничих площ, матеріально-технічного забезпечення. Елементи технологічної операції (в металообробному виробництві): установ, технологічний і допоміжний перехід, робочий і допоміжний хід, позиція.

*Установ* – частина операції, яка виконується при незмінному закріпленні оброблюваної заготовки або виробу, що складається.

*Позиція* – частина установка, яка виконується при одному орієнтуванні заготовки, складальної одиниці відносно інструменту.

*Технологічний перехід* – закінчена частина операції, яка характеризується постійністю застасовуваного інструменту та поверхонь, утворених при обробці або поверхонь, що з'єднуються при складанні. Наприклад, свердління деталі свердлом одного діаметра або з'єднання деталі "втулка" з валом.

*Допоміжний перехід* – частина операції без зміни геометрії оброблюваної поверхні або положення деталей, що складаються, необхідне для виконання технологічного переходу (установлення заготовки, зміна інструменту тощо).

*Робочий хід* – це закінчена частина операції, пов'язана з одноразовим переміщенням інструмента відносно оброблюваної деталі, яка необхідна для здійснення зміни фізико-хімічного стану деталі (геометрії та ін.).

Допоміжний хід не пов'язаний зі зміною геометрії деталі, але необхідний для здійснення робочого ходу.

*Приюм* – це закінчена цілеспрямована дія (або їх сукупність) робочого під час виконання операції (переходу): закріплення заготовки, різального інструменту тощо.

Розрізняють поняття: "Виробничий процес (ВП)" та "Технологічний процес (ТП)".

*Виробничий процес* (ВП) – це сукупність дій, в результаті яких вхідні матеріали та напівфабрикати перетворюються в готову продукцію, що відповідає своєму призначенню. Розрізняють основний і допоміжний ВП.

*Основні процеси* – це процеси, які безпосередньо пов'язані з виготовленням деталей та зі складанням виробів.

*Допоміжні процеси* – це процеси, що забезпечують можливість виготовлення продукції.

*Виробничий процес* включає маркетингові дослідження, укладання договорів поставок, підготовку засобів виробництва, організацію та обслуговування робочих місць, отримання й зберігання напівфабрикатів, стадії виготовлення деталей, процеси складання виробу, транспортування заготовок (деталей, виробів), операції зберігання та ін.

*Технологічний процес* – це частина виробничого процесу, що включає сукупність технологічних операцій, які виконуються в установленому порядку над однорідними або аналогічними виробами або на певному обладнанні. Іншими словами, технологічний процес – це частина виробничого процесу, що пов'язана з послідовною зміною форми, розмірів, властивостей, зовнішнього вигляду предметів виробництва та їх контролем.

Технологічний процес має свою структуру, здійснюється на робочих місцях із застосуванням засобів виробництва.

*Робочим місцем* називають частину виробничої площі, на якій розташовуються виконавець роботи з одиницею технологічного обладнання, що обслуговується, та оснащенням.

Технологічне обладнання та оснащення утворюють засоби машинобудівного виробництва.

*Технологічне обладнання* – це знаряддя виробництва, засоби дії на матеріали або заготовки й джерела енергії, що забезпечують виконання певної частини технологічного процесу (металорізальні верстати, термічні печі, ливарні машини тощо).

*Технологічне оснащення* – це знаряддя виробництва, що використовуються разом із технологічним обладнанням та додаються до нього

для виконання певної частини технологічного процесу (ріжучий і вимірвальний інструмент, штампи, пристосування, ливарні форми тощо).

Таким чином, виробничий процес включає всі стадії виготовлення деталей машин, складання, транспортування матеріалів, технічний контроль, а також охоплює підготовку засобів виробництва й організацію обслуговування робочих місць. Частина виробничого процесу, яка містить цілеспрямовані дії зміни та (або) визначення стану предмета праці, називається *технологічним процесом*. У технологічному процесі весь комплекс операцій виконується послідовно й жорстко пов'язаний. Різниця технологічних процесів обумовлена різноманітністю продуктів виробництва, сировини, вихідних матеріалів, способів виробництва, прийомів і методів роботи та інших чинників.

У виробничій системі визначальна роль належить технологічному процесу, тому що його вдосконалення визначає напрямок і забезпечує перебудову основної частини виробничої системи, а в кінцевому підсумку і вдосконалення самої виробничої системи. Під час аналізу технології для виділення конкретного ТП із ряду однотипних застосовують параметри власне ТП (температура, тиск та ін.). Для порівняння однотипних ТП застосовують загальні для цього ряду параметри (енергоємність, витрата матеріальних ресурсів на одиницю продукції, продуктивність). Для виявлення закономірностей розвитку ТП застосовують параметри, що характеризуються найбільшою спільністю (витрати живої та минулої праці всередині ТП). Узагальнюючим показником ефективності ТП є собівартість – сукупність матеріальних і трудових витрат.

Удосконалення будь-якого ТП здійснюється за рахунок ефективності використання минулої праці та зниження витрат живої праці.

Вивчення динаміки розвитку ТП проводять на базі елементарного ТП, тобто найменш складного ТП, який при подальшому спрощенні втрачає свої характерні ознаки.

Класифікують технологічні процеси на фізичні, хімічні та комбіновані. Однак може бути класифікація за способом організації процесу, за видом використовуваної сировини, за кратністю її обробки та ін. (організаційні, сировинні та технологічні ознаки) [76, 77].

За способом організації технологічні процеси розподіляються на періодичні, безперервні та комбіновані. Періодичні (виплавка сталі, лиття в форму тощо) здійснюються на обладнанні, яке завантажуються вхідними матеріалами через певні проміжки часу, після їх обробки

отриманий продукт вивантажується. Безперервні процеси (розливання сталі, переробка нафти, виробництво цементу) здійснюються в апаратах, де надходження сировини і вивантаження кінцевих продуктів здійснюються безперервно. Комбіновані процеси є поєднанням стадій періодичних і безперервних процесів (потокові лінії механічної обробки деталей, коксування вугілля, робота доменної печі).

Найбільш економічним видом технологічних процесів є безперервні, що мають наступні суттєві переваги перед дискретними:

- відсутність простоїв, що викликаються завантаженням вихідних матеріалів і вивантаженням готового продукту;
- можливість максимальної механізації та автоматизації процесу;
- створення сприятливих умов для використання вторинних енергоресурсів (наприклад, тепла відхідних газів методом рекуперації або регенерації);
- полегшення роботи апаратів, зниження експлуатаційних витрат, підвищення якості продукції в зв'язку з постійністю режиму.

В умовах безперервного технологічного процесу простіше забезпечити сталість заданих технологічних параметрів (температури, тиску та ін.), отже, отримати продукцію більш високої якості. Однак в ряді випадків безперервний процес може виявитися нерентабельним. Використання безперервного процесу зазвичай недоцільно при малих масштабах виробництва, при отриманні дослідних партій та ін. Всі переваги безперервних технологічних процесів щодо дискретних технологічних процесів засновано, головним чином, на співвідношенні часток робочого та допоміжного ходів у технологічній операції.

За кратністю обробки сировини технологічні процеси розрізняють: процеси з розімкненою (відкритою) схемою, в якій сировина або матеріал піддається одноразовій обробці; процеси з замкнутою (круговою, циркуляційною або циклічною) схемою, в якій сировина і допоміжні матеріали неодноразово повертаються в початкову стадію процесу для повторної обробки, а іноді й регенерації (відновлення втрачених властивостей); комбіновані (зі змішаною схемою). Прикладом процесу з розімкненою схемою є конвертерний спосіб отримання сталі. Прикладом процесу із замкнутою схемою є циркуляція спеціальної рідкої суміші для охолодження різця при токарній обробці різанням.

У промисловості застосовують комбіновані процеси, які є поєднанням процесів із відкритою та замкнутою схемою (виробництво сірча-

ної кислоти нітрозним способом). У таких процесах одні проміжні продукти (оксиди сірки) обробляють відкритою схемою, проходячи послідовно ряд апаратів, а інші (оксиди азоту) – циркулюють за замкнутою схемою.

Технологічний процес удосконалюється шляхом удосконалення робочих та допоміжних ходів.

*Еволюційний шлях розвитку технологічного процесу* реалізується вдосконалюванням допоміжних ходів. Це досягається за рахунок механізації й автоматизації допоміжних процесів, у результаті чого вони прискорюються, скорочуються проміжки між робочими ходами, що призводить до зростання продуктивності живої праці, затрачуваної в технологічному процесі.

*Революційний шлях розвитку технологічного процесу* реалізується вдосконаленням (як правило, заміною) робочих ходів. Це призводить до корінної зміни самого технологічного процесу. В результаті підвищення продуктивності сукупної праці відбувається при одночасному зниженні витрат минулої праці за рахунок зміни або заміни робочого ходу.

Елементарний ТП можна подати у вигляді простої технологічної операції (ТО).

*Ділянка* – це виробничий підрозділ, технологічна система якого характеризується однотипним або, що належить до однієї технологічної групи, обладнанням, та виконує відповідну групу однорідних процесів. Технологічна система ділянки може бути як послідовною (наприклад, гальванічна ділянка), так і паралельною.

*Цех*, як і ділянка, є виробничим підрозділом, технологічна система якого характеризується однотипним або, що належить до однієї технологічної групи, обладнанням, і виконує відповідну групу однорідних процесів. Наприклад, механічний цех приладобудівного заводу оснащений різними видами металорізального обладнання, що працює за паралельною схемою. Структурною одиницею є ділянка.

*Підприємство* – це технологічна система, що складається, як правило, з декількох цехів. Зупинка будь-якого з цехів може привести до зупинки всього підприємства або знизити його виробничі можливості в більшому обсязі, ніж потужність зупиненого цеху, тобто підприємство за цеховою структурою можна віднести до послідовної технологічної системи.



*Галузь* – це технологічна система, що формується, в основному, із підприємств одного профілю або однієї технологічної спрямованості. Галузь є переважно паралельною системою, закриття будь-якого підприємства в галузі не припиняє її діяльності, а лише скорочує, відповідно, обсяги виробництва.

Розрізняють галузі господарські та чисті (технологічні).

*Галузь промисловості* – це сукупність підприємств, що характеризуються єдністю економічного призначення виробленої продукції, однорідністю сировини, що переробляється, спільністю технічної бази та професійних кадрів.

*Об'єднання спеціалізованих галузей* визначає комплексну галузь. За дією на предмет праці галузі розподіляють на видобувні та переробні. Наприклад, видобуток природної сировини (руда чорних і кольорових металів, вугілля, торф, природний газ, сланці) відноситься до видобувних галузей; металургія чавуну та сталі, кольорових металів і сплавів відноситься до переробних галузей.

Під час вивчення сутності й особливостей проектування, створення й експлуатації технологічних систем використовують такі поняття, як підсистема, технологічний комплекс, елемент технологічної системи. *Підсистема* – це більш проста система, виділена з системи більш високого рівня. *Комплекс* – це сукупність функціонально взаємозалежних засобів технологічного оснащення для виконання в регламентованих умовах заданих технологічних процесів або операцій. *Елемент* – це частина технологічної системи, умовно прийнята неподільною на даній стадії її аналізу (приспосовання, інструмент, перехід, прохід, позиція).

*Система технологій* – це сукупність технологічних систем, пов'язаних загальною функцією виробництва товарів і послуг, характерних для галузі.

### **Основні поняття щодо виробничого і технологічного процесів**

*Виробничий процес* – це сукупність всіх дій людей і знарядь праці, необхідних для виготовлення і ремонту продукції на підприємстві.

Виробничий процес включає всі стадії виготовлення деталей машин, складання, транспортування матеріалів, технічний контроль, а також охоплює підготовку засобів виробництва й організацію обслуговування робочих місць. Частина виробничого процесу, що містить ціле-

спрямовані дії зі зміни й (або) визначення стану предмета праці, називається *технологічним процесом* [12, 56, 57, 62, 76, 77].

У виробничій системі головна роль належить технологічному процесу, тому що його вдосконалення визначає напрям і забезпечує перетворення основної частини виробничої системи, а в остаточному підсумку забезпечує удосконалення всієї виробничої системи.

*Карта технологічного процесу* – технологічний документ, що містить опис процесу виготовлення, складання або ремонту виробу (включно з контролем і переміщенням) за всіма операціями одного виду робіт, виконуваних в одному цеху в технологічній послідовності із вказівкою даних про засоби технологічного оснащення, матеріальних і трудових нормативів. У ній визначаються також місце роботи, вид і розміри матеріалу, основні поверхні оброблення деталі, її установ, робочий інструмент та пристосування, а також тривалість кожної операції. Технологічний процес розробляється на основі креслення, для масового й багатосерійного виробництва він повинен бути виконаний дуже детально. За одиничного виробництва часто оформляється тільки маршрутний технологічний процес із перерахуванням операцій, необхідних для оброблення та складання виробу.

*Заготовкою* називається предмет праці, з якого зміною форми, розмірів, властивостей поверхні й матеріалу виготовляють деталь.

Розрізняють основні види заготовок:

- машинобудівні профілі виготовляють періодичного або постійного перетину (наприклад, круглої, шестигранної форми, труби або іншого складного перетину (рис. 4.1));
- штучні заготовки одержують литтям, куванням, штампуванням, зварюванням;
- комбіновані заготовки – це, наприклад, з'єднання попередньо отриманих литтям виробів наступним зварюванням.

Під час вибору заготовки необхідно визначити її конфігурацію, припуски, напуски на оброблення, товщину стінок, розміри отворів, вибрати встаткування й та ін. Форма та розмір заготовки визначають технологію її виготовлення й наступного складання. Точність розмірів заготовки буде впливати на вартість виготовлення деталей.

Варіанти вибору методу виготовлення заготовок:

- у певних видах виробництва метод одержання заготовок задається безпосередньо конструктором і найчастіше відображається

вже у робочому кресленні, а технолог лише уточнює його. Цей варіант характерний для масового, крупносерійного та серійного виробництва;

- друга ситуація – коли вибір заготовки конструктор надає безпосередньо технологю. Це характерно для одиничного, дрібносерійного та серійного виробництва.

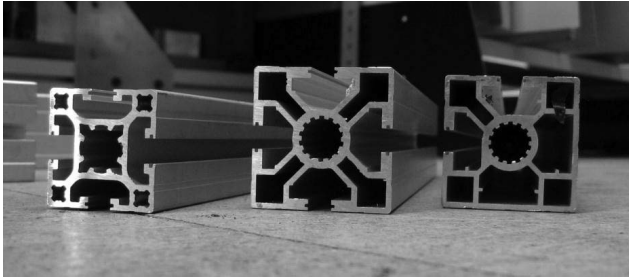


Рисунок 4.1 – Алюмінієві профілі, отримані методом екструзії

У заготівельному виробництві існують такі технологічні процеси: лиття, штампування, кування, пресування, зварювання, порошкова металургія, первинне оброблення прокату різних профілів та ін. Основне завдання технологічного процесу під час виробництва заготовок – це максимальне наближення форми заготовки до форми деталі.

Як зазначено раніше, *технологічною операцією* називається закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці. Зазвичай, технологічна операція охоплює всі послідовні дії робітника та устаткування із виготовлення заготовки або її оброблення. Тому операція є основною складовою частиною технологічного процесу.

У нинішній час, із огляду на високий рівень розвитку виробництва та сучасних досягнень у виготовленні деталей машин, виробник прагне виготовляти заготовки, максимально наближаючись до конфігурації готових деталей. Такий підхід сприяє зменшенню технологічного ланцюжка виробництва, скороченню операцій лезового оброблення деяких поверхонь (економія металу від втрати в стружку), зменшення різного виду погрешностей. Остаточна конфігурація деталі та її точнісні геометричні показники досягаються вже на фінішних операціях оброблення (наприклад, на операціях шліфування).

## Класифікація технологічних процесів

Вид технологічного процесу визначається кількістю виробів, які охоплюються процесом. Це може бути одна деталь, група однотипних або різнотипних деталей. Технологічні процеси класифікуються за кількома ознаками [75].

За ступенем уніфікації:

- *одиночний технологічний процес* – це процес виготовлення одного виробу певного найменування й типорозміру. Він застосовується для виготовлення оригінальних виробів (деталей, складальних одиниць) без загальних конструктивних і технологічних ознак з виробами, які раніше виготовлялися на підприємстві;

- *уніфікований технологічний процес* відноситься до обробки групи загальних за конструктивно-технологічними ознаками деталей. Уніфіковані технологічні процеси бувають типові та групові;

- *типовий технологічний процес* – це процес обробки групи деталей з загальними конструктивними й технологічними ознаками, характеризується спільністю змісту й послідовністю більшості операцій. Вони застосовуються як інформаційна база для розробки одиночних технологічних процесів, а також стандартів на типові технологічні процеси. Типізація технологічних процесів базується на класифікації деталей за ознаками спільності конфігурації та подібності технологічних процесів. Виділяються наступні класи деталей: вали, осі, втулки, диски, плити, станини, рами тощо. Типізація технологічних процесів дозволяє узагальнити існуючі передові технологічні процеси, поширювати досвід впровадження прогресивної оснастки та інструменту. Ця ідея впроваджена на багатьох підприємствах. Безліч форм технологічних процесів дозволяє максимально описати процес виробництва;

- *груповий технологічний процес* – це процес обробки групи деталей з різними конструктивними, але з загальними технологічними ознаками. Він є сукупністю технологічних операцій, що виконуються на спеціалізованих робочих місцях в послідовності технологічного маршруту обробки певної групи виробів.

*Спеціалізоване робоче місце* – це робоче місце, призначене для виготовлення однієї або декількох деталей з загальним налагодженням протягом тривалого часу.

За досягненням науки та техніки технологічні процеси класифікують:

- *перспективний технологічний процес* – це процес, який відповідає сучасним досягненням науки й техніки;

- *робочий технологічний процес* – це процес, що виконується за робочою конструкторською та технологічною документацією для виготовлення конкретного виробу.

За стадією розробки, стану технологічної підготовки виробництва (ТПВ) й стандартизації технологічні процеси класифікуються:

- *проектний технологічний процес* – це процес, що виконується за попереднім проектом технологічної документації до постановки на виробництво;

- *тимчасовий технологічний процес* – це процес, що застосовується на підприємстві протягом обмеженого часу (до заміни більш досконалим). Він застосовується через відсутність необхідного обладнання або в інших виробничих умовах;

- *стандартний технологічний процес* – це процес, що встановлюється стандартом.

За змістом операцій технологічні процеси класифікують:

- *комплексний технологічний процес* – це процес, у складі якого є основні операції та операції переміщення, контролю, очищення, миття.

Види описання технологічних процесів:

- *маршрутний технологічний процес* – форма технологічної документації, що є коротким описанням всіх технологічних операцій в послідовності їх виконання без вказівки переходів і технологічних режимів. При цьому вказують номер та найменування операцій, устаткування, що застосовують, розряд роботи, норму часу на виконання операції. Застосовують як самостійний документ в одиничному, дрібносерійному та дослідному виробництвах;

- *маршрутно-операційний технологічний процес* передбачає коротке описання всіх операцій у послідовності їх виконання. Але при цьому найбільш складні операції описують до рівня переходів із зазначенням одержуваних розмірів і режимів обробки. Для описаних на рівні переходів операцій оформляють карти ескізів. Таке описання застосовують в одиничному, дрібносерійному, середньосерійному та навіть у дослідному виробництві для складних деталей;

- *карта ескізів* – це технологічний документ, на якому зображують заготовку в положенні обробки на даній операції, проставляють умов-

ними позначеннями схему її базування із зазначенням форми установчих елементів пристосування та кількості позбавлених при цьому ступенів свободи, а також одержувані на даній операції розміри з допусками, шорсткістю поверхонь та іншими технічними вимогами;

- *операційний технологічний процес* містить описання всіх технологічних операцій на рівні переходів із зазначенням застосовуваного оснащення (пристосування, ріжучих, допоміжних і вимірювальних інструментів), а також режимів обробки, основного, допоміжного та штучного часу. Операційне описання технологічних процесів завжди доповнюють маршрутним описанням і картами ескізів. Застосовують у серійному та масовому виробництвах, а для особливо складних деталей – у більш дрібних типах виробництва.

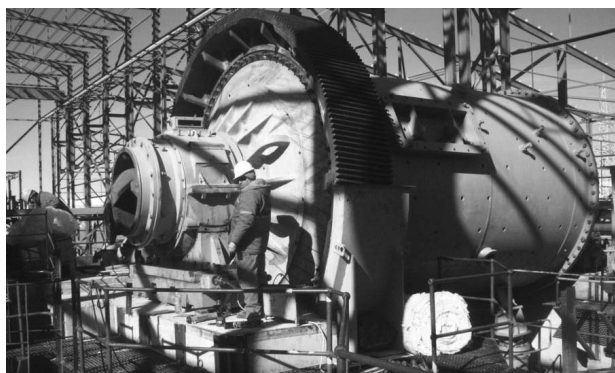
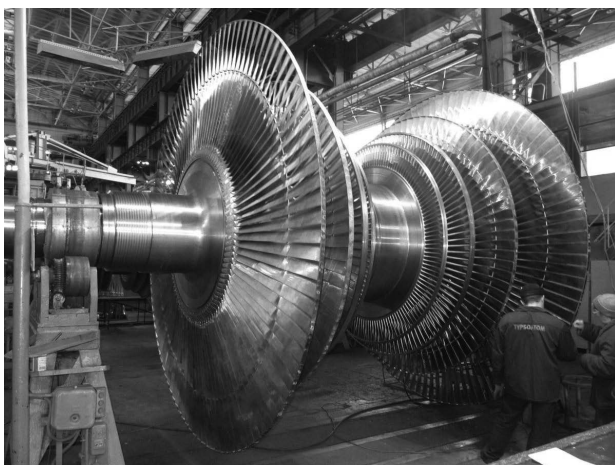
Розроблюваний технологічний процес повинен забезпечувати підвищення продуктивності праці та якість виробу, зниження трудових і матеріальних витрат, скорочення шкідливих впливів на навколишнє середовище. Технологічний процес повинен відповідати вимогам техніки безпеки та промислової санітарії, встановленими системою стандартів безпеки праці (ССБП), інструкціями та іншими нормативними документами. Основою для розробки технологічного процесу зазвичай служать наявні типовий або груповий технологічний процес, а при їх відсутності – діючі одиничні технологічні процеси виготовлення аналогічних виробів.

### **Основні поняття щодо типу виробництва**

Основні поняття і терміни, що характеризують тип виробництва, регламентовано стандартом (ДСТ 14.004-83), який пояснює, що тип виробництва – це класифікаційна категорія виробництва, виділена за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску продукції. У машинобудуванні розрізняють три типи виробництва: одиничне, серійне, масове.

*Масове виробництво* характеризується більшим обсягом випуску виробів, що виготовляються безупинно або ремонтуються тривалий час, протягом якого на більшості робочих місць виконується одна робоча операція. Особливостями цього типу виробництва є вузька номенклатура, але великий обсяг виробів, що випускаються, використовуються високопродуктивне спеціальне устаткування та інструменти, широко використовуються автоматизовані та автоматичні транспортні засоби.







Організаційною формою виробничого процесу під час масового виготовлення продукції є потокове виробництво. Характеризується розташуванням технологічного встаткування відповідно до порядку виконання технологічних операцій і встановленим інтервалом випуску продукції. Заготовки одержують точним литтям, литтям під тиском, гарячим об'ємним штампуванням, пресуванням, калібруванням тощо. Цей тип виробництва впливає на ефективність використання ресурсів підприємства, розподіл трудових ресурсів. Усе раніше перераховані причини визначають і порівняно більш низьку собівартість продукції, що випускається.

*Серійне виробництво* характеризується виготовленням або ремонтом виробів періодично повторюваними партіями. Особливостями цього типу виробництва є виготовлення виробів обмеженої номенклатури, періодично повторюваними партіями, використання універсального та спеціального устаткування й інструментів. Зважаючи на кількість виробів у партії або серії й значення коефіцієнта закріплення операцій, розрізняють дрібносерійне, середньoserійне та багатoserійне виробництво. Залежно від serійності випуску використовуване встаткування варіюється в широких межах, від універсального до спеціалізованого, верстати із числовим програмним управлінням (ЧПУ), обробні центри, гнучкі автоматизовані центри та ін.

Організаційною формою виробничого процесу під час serійного виготовлення продукції можуть бути предметно-замкнуті ділянки; групові потокові лінії; перемінно-потокові автоматичні лінії. Технологічне встаткування, як і під час масового виробництва, найчастіше розташовують відповідно до порядку виконання технологічних операцій.

У serійному виробництві заготовки одержують гарячою й холодною прокаткою, литтям у землю, литтям під тиском, точним литтям, куванням і точним штампуванням.

*Одиничне виробництво* характеризується малим обсягом виготовлення однакових виробів, однак номенклатура продукції, що виготовляється, досить широка. Устаткування в цехах одиничного виробництва розташовують за технологічним принципом, наприклад, ділянка для токарної обробки, ділянка для фрезерної обробки, ділянки, що мають зубонарізні, шліфувальні верстати тощо. Для виготовлення деталей одиничного типу виробництва заготовки отримують литтям в землю, гарячим прокатуванням, куванням та вільним куванням.

*Засоби технологічного оснащення* – це сукупність знарядь виробництва, необхідних для здійснення технологічного процесу зі зміни форми, розмірів і властивостей матеріалу, предмету праці – заготовки.

*Технологічне устаткування* – це верстати, преси, ванни, контрольні стенди, необхідні для забезпечення виконання певного виду обробки або складання. *Автоматизована верстатна система* – це сукупність декількох верстатів та інших механізмів, на яких виконується автоматична обробка або складання деталей і які об'єднані автоматизованим транспортом. *Металорізальний верстат* – це складний механізм, призначений для повної або часткової обробки деталі. Верстат містить всі вузли, деталі, що здійснюють виконавчі рухи, і приводи. Технологічне оснащення доповнюється технологічним устаткуванням та створює можливість виконання операцій технологічного процесу.

*Приспосовування* – це оснащення, призначене для установалення або направлення предмета праці, інструмента під час виконання операції тобто частини процесу, здійснюваного на одному робочому місці.

Інструмент визначається видом обробки і вимогами до продуктивності та якості одержуваних на верстаті деталей. Необхідно встановити такі режими різання, за яких сполучення всіх показників, що впливають на вартість обробки, забезпечить найвигідніші умови виготовлення конкретної деталі. Ці режими називають *оптимальними*. Розрізняють такі параметри режиму обробки: глибина різання, швидкість різання та швидкість подачі.

Інформаційні зв'язки технологічної системи можна подати у вигляді схеми, показаної на рис. 4.2.

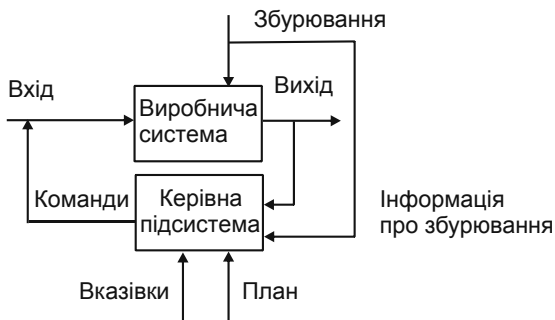


Рисунок 4.2 – Схема управління технологічною системою

На виробничу систему впливає споживач продукції. Ця інформація надходить у підсистему управління (рис. 4.3).

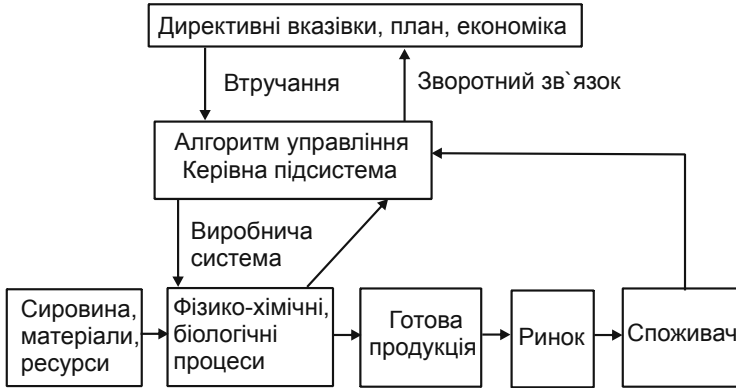


Рисунок 4.3 – Схема розчленування технологічної системи за економічною ознакою

### Методичні рекомендації до визначення типу виробництва

Умовно, для визначення типу виробництва, відповідно до стандарту, визначають відношення кількості всіх різних технологічних операцій, виконуваних на одному робочому місці, протягом планового періоду (наприклад, що дорівнює одному місяцю), до кількості робочих місць. Цей параметр називається *коефіцієнтом закріплення операцій* і визначається так:

$$K_{3.0} = \frac{O}{P};$$

$$K_{3.0} = \frac{\sum C_{P_i} \cdot m_{D_i} \cdot m_{од_i}}{\sum C_{P_i}},$$

де  $O$  – загальна кількість різних операцій, що виконуються на дільниці;

$P$  – кількість робочих місць (верстатів), на яких виконують різні операції;

$C_{P_i}$  – кількість робочих місць (верстатів) одного найменування;

$m_{D_i}$  – кількість найменувань (типорозмірів) деталей;

$m_{од_i}$  – кількість операцій, закріплених за одним робочим місцем (верстатом) під час обробки деталей одного найменування (типорозміру).

За масового виробництва застосовується  $K_{3,0} = 1$ ;  
за багатосерійного виробництва –  $1 < K_{3,0} < 10$ ;  
за середньо-серійного виробництва –  $10 < K_{3,0} < 20$ ;  
за дрібносерійного виробництва –  $20 < K_{3,0} < 40$ ;  
за одиничного виробництва –  $40 < K_{3,0}$ .

Тип виробництва можна визначити також за кількістю й масою виробів, що випускаються (табл. 4.1). Тип виробництва для виробів, одержуваних литтям, можна визначити за табл. 4.2.

Таблиця 4.1 – Кількість виробів за типом виробництва

Максимальна маса заготовки, кг	Тип виробництва				
	одиничне	дрібно- серійне	середньо- серійне	багато- серійне	масове
до 200	до 1000	1001 – 5000	5 001 – 10 000	10001 – 100 000	більше 100000
201 – 2000	до 20	21 – 500	501 – 1000	1001 – 5000	більше 5000
2001 – 30000	до 5	6 – 100	101 – 300	301 – 1000	більше 1000
більше 30000	до 3	4 – 10	11 – 50	–	–

Таблиця 4.2 – Кількість виробів, одержуваних литтям,  
за типом виробництва

Маса вилівки, кг	Тип виробництва				
	оди- ничне	дрібно- серійне	середньо- серійне	багатосерійне	масове
до 20	до 300	300 – 3000	3000 – 35000	35000 – 200000	більше 200000
від 20 до 100	до 150	150 – 2000	2000 – 15000	15000 – 100000	більше 100000
від 100 до 500	до 75	75 – 1000	1000 – 6000	6000 – 40000	більше 40000
від 500 до 1000	до 50	50 – 600	600 – 3000	3000 – 20000	більше 20000
від 1000 до 5000	до 20	20 – 100	100 – 300	300 – 4000	більше 4000
від 5000 до 10000	до 10	10 – 50	50 – 150	150 – 1000	більше 1000
більше 10000	до 5	5 – 25	25 – 75	більше 75	–

## **Використання основних та додаткових одиниць системи СІ, методу розмірності для оцінювання енергетичних і швидкісних параметрів технологічних систем**

*Метрологія* – це наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності і способи досягнення необхідної точності. До основних задач метрології відносять: встановлення одиниць фізичних величин; створення зразкових засобів вимірів; визначення фізичних констант і фізико-хімічних властивостей речовин і матеріалів, а також одержання стандартних зразків цих властивостей; розроблення стандартних методів і засобів вимірювань і контролю; розроблення теорії вимірювань і методів оцінювання погрешностей.

На XI Генеральній конференції, присвяченій мірам і вагам, що відбулася у 1960 р., було прийнято Міжнародну систему одиниць (СІ). Відповідно до СІ, розроблено стандарт СТСЕВ 1052-78, який встановлює умови застосування одиниць СІ у нормативно-технічній документації.

У системі СІ встановлено сім основних одиниць, використовуючи які можна вимірювати всі механічні, електричні, магнітні, акустичні і світлові параметри, а також характеристики іонізуючих випромінювань і параметри у галузі хімії. Основними одиницями СІ є: метр (м) – для виміру довжини; кілограм (кг) – для виміру маси; секунда (с) – для виміру часу; ампер (А) – для виміру сили електричного струму; кельвін (К) – для виміру температури; моль (моль) – для виміру кількості речовини і кандела (Кд) – для виміру сили світла; і дві додаткові одиниці: радіан (рад) – плоский кут; стерадіан (стер) – тілесний кут (табл. 4.3).

*Метр* – це одиниця довжини, що дорівнює шляху, що проходить у вакуумі світло за  $1/299792458$  частку секунди.

*Кілограм* – це одиниця маси, що дорівнює масі міжнародного прототипу кілограма.

*Секунда* – це одиниця часу, яка дорівнює  $9\,192\,631\,770$  періодам випромінювання, що відповідає переходові між двома надтонкими рівнями основного стану цезію – 133.

*Ампер* – це одиниця сили електричного струму. Ампер дорівнює силі незмінного струму, який, проходячи по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини і мізерно малої площі кругового поперечного перетину, розташованих у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликає на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, рівну  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

Таблиця 4.3 – Основні та додаткові одиниці СІ

Величина	Розмір-ність	Одиниці		
		Наймену-вання	Позначення	
			міжнародне	українське
Основні одиниці				
Довжина	L	метр	m	м
Маса	M	кілограм	kg	кг
Час	T	секунда	s	с
Сила електричного струму	I	ампер	A	А
Термодинамічна температура	Q	кельвін	K	К
Кількість речовини	N	моль	Mol	моль
Сила світлу	J	кандела	Cd	кд

*Кельвін* – це одиниця термодинамічної температури, що дорівнює  $1/273,16$  частини термодинамічної температури потрійної точки води. Шкала в Кельвінах є еталонною і кращою під час розрахунків, оскільки у неї немає мінусових температур, а тільки позитивні, тобто зі знаком "+". Для побуту і виробництва збережена температурна шкала і у градусах Цельсія, що названа Міжнародною практичною шкалою.

Перехід від однієї температурної шкали до іншої дуже простий: якщо відомо температуру  $T$  за шкалою Кельвіна, то за шкалою Цельсію температура буде  $t = T - 273,15^\circ$ ; якщо відомо температуру  $t$  за шкалою Цельсію, то температура  $T$  за шкалою Кельвіна:  $T = t + 273,15^\circ$ .

*Кандела* – це одиниця сили світлу. Кандела (свіча) дорівнює силі світла, що випускається із поверхні площею  $1/600000 \text{ м}^2$  повного випромінювача у перпендикулярному напрямі за температурою випромінювача, рівною температурі затвердіння платини під дією тиску  $101\,325 \text{ Па}$ . Кандела відтворюється із погрішністю  $1 \cdot 10^{-3}$ .

*Моль* – це одиниця кількості речовини. Моль дорівнює кількості речовини системи, що містить стільки ж структурних елементів, скільки утримується атомів у вуглецю – 12 масою  $0,012 \text{ кг}$ .

Додаткові одиниці СІ – радіан і стерадіан – є одиницями виміру плоских і тілесних кутів. *Радіан* – це кут між двома радіусами кола, дуга між якими дорівнює радіусові. *Стерадіан* – це тілесний кут із вершиною у центрі сфери, що вирізує із поверхні сфери площу, рівну площі квадрата зі стороною, довжина якої дорівнює радіусові сфери.

Крім цього, СІ встановлює 27 найважливіших похідних одиниць, утворених за допомогою найпростіших рівнянь зв'язку між фізичними величинами.

Одиниця швидкості – м/с; одиниця прискорення – м/с<sup>2</sup>.

Одиницею сили є Ньютон: 1Н = 1 кг·м/с<sup>2</sup>.

Одиницею тиску є паскаль: 1Па = 1 Н/м<sup>2</sup>; 1МПа = 10<sup>6</sup> Па.

Одиницею роботи і енергії є Джоуль (Дж): 1 Дж = 1 Н·м.

Одиницею потужності є Ват (Вт): 1 Вт = 1 Дж/с.

Одиницею електричного заряду є Кулон (Кл): 1 Кл = 1 А·с.

Одиницею напруги є Вольт (В); одиницею опору є Ом; одиницею електроємності є Фарада (Ф) тощо.

### Виконати завдання

**Завдання 1.** Розкрити сутність функціонування технологічної системи. Основні складові технологічної системи. Властивості технологічної системи.

**Завдання 2.** Зобразіть схему управління роботою технологічної системи підприємства. Наведіть пояснення.

**Завдання 3.** Зобразіть схему розчленування технологічної системи за економічною ознакою. Наведіть пояснення

**Завдання 4.** На ділянці 17 верстатів різних типів. На верстатах протягом одного місяця обробляють 12 типорозмірів деталей за такої кількості закріплених за ними операцій:

- за 6 токарними верстатами – 2 операції;
- за 2 свердлильними верстатами – 1 операція;
- за 4 фрезерними верстатами – 2 операції;
- за 1 протяжним верстатом – 1 операція;
- за 4 шліфувальними верстатами – 3 операції.

Визначити тип виробництва.

### Контрольні питання

1. Що таке "тип виробництва"?
2. Які існують типи виробництва?
3. Чим характеризується кожний тип виробництва?
4. Що таке "коефіцієнт закріплення операцій" і його призначення?
5. Що таке "виробничий процес" і з чого він складається?

## **Робота 5. Метали у промисловому виробництві та способи їх видобутку. Виробництво чорних і кольорових металів та порошків металів**

**Мета роботи** – ознайомити студентів із технологічними процесами виробництва чавуну, сталі, кольорових металів та порошків металів.

### ***Загальні відомості***

#### **Основні способи виробництва металів**

Метали, що використовують у техніці, поділяють на чорні та кольорові. До чорних металів відносять залізо та його сплави, до кольорових металів – усі інші метали [77].

На початку залізо видобували безпосередньо із руди відновленням у горнах. Зі збільшенням висоти горнів залізо насичувалося вуглецем, від чого виплавлений сплав ставав хрупким, але з кращими ливарними властивостями. Такий метал отримав назву чавун. Із XIII століття чавун почали переробляти на сталь – сплав із меншим, ніж у чавуну вмістом вуглецю, силіцію, марганцю та деяких інших елементів, у тому числі з більшою пластичністю та міцністю.

Отже, чавун виробляють безпосередньо із залізних руд, а сталь переробляють із чавуну, зменшуючи вміст вуглецю та інших елементів. Двохстадійна схема виробництва сталі є основою виплавки чавуну в доменній печі та переробці його на сталь.

Продукцією чорної металургії є чавуни, феросплави (сплави заліза із підвищеним вмістом інших елементів) та сталеві зливки для виготовлення сортового прокату і великих деталей машин.

Виробництво кольорових металів характеризується великою різноманітністю технологічних процесів виплавки і визначається особливостями складу їхніх руд. Продукцією кольорової металургії є чисті метали та їхні сплави, а також зливки для виготовлення сортового прокату.

Для виробництва металів використовують руди, флюси, паливо, вогнетривкі матеріали.

*Рудою* називають гірські породи, які містять метали в кількості, що забезпечує їх економічно доцільну переробку. Залізні руди ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), наприклад, містять 30 ... 60 % Fe. Вміст кольорових металів у рудах не більше 5 %, а інших – долі процента (молібдену, наприклад, до 0,02 %).



Руда складається із мінералів, в яких метал знаходиться у вигляді оксидів, сульфідів, карбонатів та пустої породи (в основному кремнезему  $\text{SiO}_2$ , глинозему  $\text{Al}_2\text{O}_3$  із домішками сірки, фосфору, миш'яку тощо).

*Флюсом* називають матеріали, які утворюють при виплавці шлак – легкоплавку сполуку із пустою породою руди, золою палива та іншими неметалевими вкрапленнями.

*Густина шлаку*, як правило менша ніж у виплавленого металу. Тому шлак збирається над ним і його можна злити в процесі плавки.

При виплавці чорних і деяких кольорових металів флюсами можуть бути кварцовий пісок, що складається в основному з  $\text{SiO}_2$ , вапняк  $\text{CaCO}_3$  та інші сполуки кальцію і магнію.

*Паливом* в металургійних процесах можуть бути кокс, природний, доменний або коксовий газ й мазут.

Кокс одержують сухою перегонкою кам'яного вугілля без доступу повітря при температурі 1000 ... 1100 °С. При такій обробці із вугілля отримують й цінні побічні продукти: бензол, феноли, а також уловлюють коксовий газ.

*Природний газ* складається в основному з метану  $\text{CH}_4$ . Доменний газ є побічним продуктом при виплавці чавуну в доменній печі, містить значну кількість горючих складових (до 32 %  $\text{CO}$ , до 4 %  $\text{H}_2$ ).

*Мазут* – це тяжкий залишок перегонки нафти, містить 90 %  $\text{C}$ , 10 ... 12 %  $\text{H}_2\text{O}$  і невелику кількість кисню та сірки.

*Вогнетривкі матеріали* застосовують для внутрішнього облицювання (футеровки) плавильних печей та іншого обладнання, яке знаходиться під дією високих температур, і розплавленого металу та шлаку. За хімічним складом вогнетривкі матеріали поділяють на кислі, основні та нейтральні.

До *кислих вогнетривких матеріалів* належать динасова цегла, кварцовий порошок й інші матеріали з високим вмістом кремнезему  $\text{SiO}_2$ .

До *основних вогнетривких матеріалів* належать доломітові, магнетитові та інші матеріали з великим вмістом основних оксидів  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ .

До *нейтральних вогнетривких матеріалів* – матеріали, які складаються з оксидів  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  (шамот, хром, марганець), а також вуглецева цегла.

Для одержання металів застосовують такі способи:

- *пірометалургійний* – це один із самих старовинних способів добування металів, оснований на тому, що потрібна для здійснення процесу виплавки металу теплота забезпечується згоранням палива. Цей спосіб поки що є головним для виробництва заліза його сплавів, міді та інших металів.

- *електрометалургійний* спосіб добування металів здійснюється в дугових, індукційних та інших електричних печах або електролізом із розплавів і водяних розчинів хімічних сполук (наприклад, добування алюмінію із глинозему  $Al_2O_3$ ).

- *гідрометалургійний* спосіб полягає у вилученні металів із руд різними розчинниками і подальшому виділенні їх із розчину. Вилучення може здійснюватися як на поверхні землі, так і під землею за допомогою свердловин. Цей спосіб широко застосовується, наприклад, для добування міді, а останнім часом – урану і деяких інших металів.

- *хіміко-металургійний* спосіб об'єднує хімічні та пірометалургійні процеси. Титан, наприклад, одержують відновленням тетрахлориду  $TiCl_4$  магнієм і подальшою плавкою в електродугових печах.

Поряд із розглянутими способами для одержання конструкційних матеріалів на основі металів або їх сполук, а також готових виробів із них останнім часом знайшов широке застосування спосіб *порошкової металургії*.

### **Виготовлення чавуну**

*Чавун* виплавляють із залізних руд пірометалургійним способом у доменних печах, використовуючи для цього тверде паливо (кокс) і флюси. Залізні руди містять залізо у вигляді оксидів, гідратів оксидів, карбонатів. Пустою породою в цих рудах, зазвичай, є кварцит або пісковик, глинясті речовини.

На рис. 5.1 наведено схему технологічного процесу виготовлення чавуну.

До основних залізних руд належать:

- магнітний залізняк, що містить до 65 % заліза у вигляді магнітного оксиду  $Fe_3O_4$  (Соколівське і Сорбайське родовища, Курська магнітна аномалія (КМА) тощо);

- червоний залізняк містить до 60 % заліза у вигляді оксиду  $Fe_2O_3$  (Криворізьке, Дніпрорудне);

- бурий залізняк, що містить до 55 % заліза у вигляді гідратів оксидів  $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$  (Керченське, Лисаківське та інші родовища);
- шпатовий залізняк, що містить до 40 % заліза у вигляді вуглекислої солі  $\text{FeCO}_3$  (Криворізьке родовище).

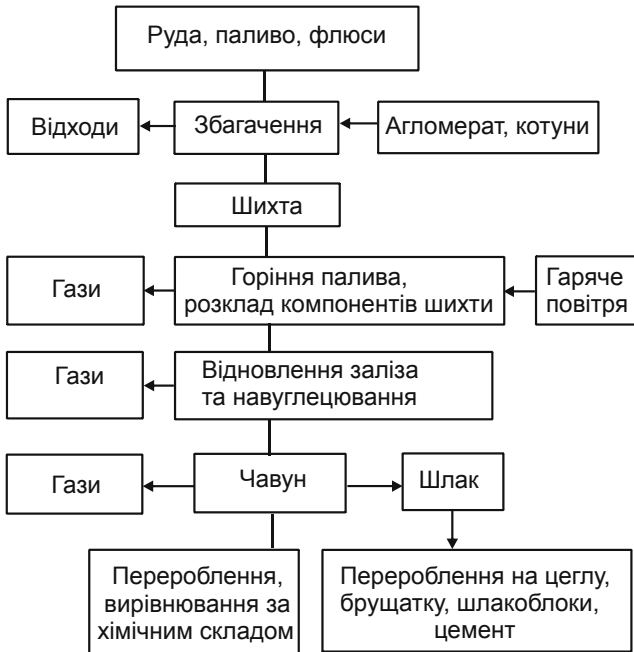


Рисунок 5.1 – Схема процесів у технологічній системі виготовлення чавуну

Паливо у процесі виплавлення чавуну виконує роль не тільки пального, а й відновлювача заліза із руди. Ці вимоги найкраще задовольняє тверде паливо – кокс. Флюсами у процесі виплавлення чавуну в доменній печі є вапняк  $\text{CaCO}_3$  або доломітизований вапняк, який складається з  $\text{CaCO}_3$  та  $\text{MgCO}_3$ . Їхнє призначення – сплавлення з пустою породою ( $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ ) та переведення в шлак, а також зв'язок та виведення із палива та руди домішків сірки.

**Підготовка руд до плавки.** Для збільшення вмісту заліза в шихті, підвищення її однорідності за розмірами кусків та хімічним складом залізу руду перед плавленням піддають спеціальній обробці: збагаченню, агломерації чи окомковуванню.

Збагачення полягає в збільшенні різними способами вмісту заліза в руді. Так промивка руди водою дає змогу видалити частину пісчано-глинистої породи. Цієї ж мети досягають гравітацією (відсадкою) – відділенням залізовмісної руди від легкої породи під час пропускання під тиском води крізь дно вібруючого сита, на якому шаром лежить руда.

Магнетитові руди збагачують способом магнітної сепарації, заснованим на різниці магнітних властивостей залізовмісних мінералів і частинок пустої породи. Для поліпшення процесу плавки збагачену руду (концентрат) переробляють у кускові матеріали агломерацією або обкатуванням.

Агломерація полягає в спіканні руди (40 – 50 %), вапняку (15 – 20 %), дрібного агломерату і коксу при температурі 1300 – 1500 °С в спеціальній агломераційній машині. За цих умов з руди видаляється частина домішок, розкладаються карбонати і утворюється пористий офлюсований матеріал – агломерат. Застосування офлюсованого агломерату дає змогу підвищити продуктивність доменних печей на 10 – 25 % та зменшити витрати коксу на 10 – 20 %.

Схему технологічного оснащення доменного процесу наведено на рис. 5.2.

Обкатування полягає в окомковуванні подрібнених концентратів. Для цього концентрат, флюси та паливо зволожують і завантажують у нахилену чашу (гранулятор), що обертається, або в пустотілий барабан, де і утворюються окатиші – кульки діаметром 25 – 30 мм. Готові окатиші сушать і обпалюють при температурі 1200 – 1300 °С.

Використання окатишів, як і агломерату, покращує доменну плавку, підвищує продуктивність доменної печі, зменшує витрати палива.

**Будова і робота доменної печі.** Чавун виплавляють у доменних (шахтних) печах. Більшість дієвих доменних печей мають корисний об'єм 1300 – 5000 м<sup>3</sup> – об'єм, зайнятий завантаженими в піч матеріалами і продуктами плавлення, та висоту близько 30 м. У таких печах за добу виплавляється до 2000 т чавуну. Доменна піч із допоміжним обладнанням – досить складна інженерна споруда масою (коли об'єм дорівнює 2700 м<sup>3</sup>) близько 200000 т. Піч працює безперервно 4 – 8 років.

Для виплавки чавуну в доменну піч завантажують шихту – суміш певного співвідношення руди, палива і флюсів.

Окремі порції шихти називаються *колошами*. Колоші із бункера подаються вагонетками скіповим підйомником (на сучасних печах – конве-

ером) у приймальну воронку засипного апарату. Під час опускання малого конуса шихта попадає в чашу та під час опускання великого конуса – у колошник і далі в шахту печі. Поперемінне відкриття конусів запобігає виходу газів із печі в атмосферу. Шихта завантажується у домну періодично у міру того, як згорає паливо та виходять чавун і шлак.

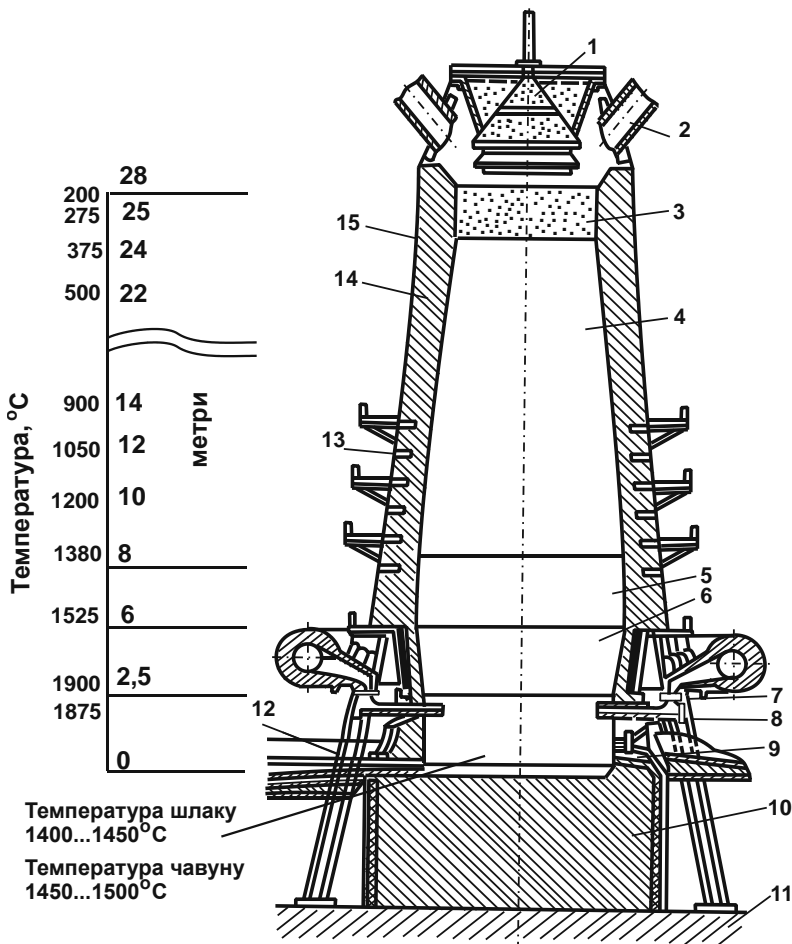


Рисунок 5.2 – Схема доменної печі:

- 1 – засипний апарат; 2 – газовідвідні труби; 3 – колошник; 4 – шахта;  
5 – розпар; 6 – заплечики; 7 – горн; 8 – фурми для дуття; 9 – шлакова лъотка; 10 – дно горна (під); 11 – фундамент; 12 – чавунна лъотка;  
13 – холодильники; 14 – шамотна цегла; 15 – сталевий кожух

Найбільша циліндрична частина доменної печі називається *розпаром*. Нижче знаходяться заплечики у вигляді зрізаного конуса і горн, обмежений подом. У нижній частині горна розміщено льотки для випускання чавуну та шлаку.

Для підтримання горіння палива в доменну піч крізь ряд (14 – 24 м) розмічених по обводу фурм вдувається повітря під тиском до 0,3 МПа. Витрата повітря на виплавку 1 т чавуну в сучасних доменних печах становить до 3 000 м<sup>3</sup>/хв, а на великих печах – до 7000 м<sup>3</sup>/хв.

Для інтенсифікації процесу виплавки та більш економічної витрати палива повітря нагрівають до 1000 – 1200 °С в повітронагрівачах регенеративного типу. Повітронагрівач – це футерований цеглою сталевий циліндр діаметром 6 – 8 м: висотою 30 – 40 м, який всередині має камери згорання та насадку із вогнетривкої цегли. Біля кожної домни є 3 – 4 повітронагрівачі. У повітронагрівач через отвір подається очищений колошниковий газ і крізь отвір – необхідне для згорання газу повітря.

Продукти згорання газу з камери проходять вертикальними каналами насадки, нагрівають її і виходять крізь отвір в димову трубу. Коли насадка повітронагрівача досягає необхідної температури, подачу газу в нього припиняють і в зворотному напрямі подають повітря, яке проходить каналами розжареної насадки, нагрівається до температури 1000 – 1200 °С і після цього вдувається в доменну піч. Коли один із повітронагрівачів нагрівається, працює інший, попередньо нагрітий. Значним удосконаленням доменного процесу є збагачення повітряного дуття киснем (до 30 %), а також часткова заміна коксу природним газом.

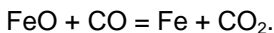
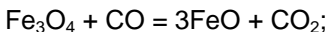
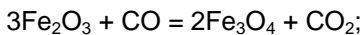
**Доменний процес.** Доменна піч працює за принципом проти потоку: шихтові матеріали рухаються зверху вниз, а назустріч їм піднімається потік гарячих газів – продуктів згорання палива.

За цих умов горить паливо, відновлюється та насичується залізо вуглецем, відновлюються інші елементи, утворюється шлак.

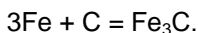
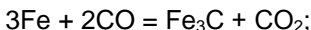
У районі повітряних фурм вуглець коксу взаємодіє з киснем дуття, згоряє, у результаті чого температура в цій зоні печі досягає 1800 – 2000 °С. За таких умов вуглекислий газ CO<sub>2</sub> взаємодіє з вуглецем коксу й утворює оксид вуглецю СО, який і стає головним відновником заліза. Трохи вище, в зоні печі з температурою 700 – 400 °С, частина оксиду вуглецю розкладається з утворенням сажистого вуглецю.

Шихтові матеріали, опускаючись назустріч потоку розжарених газів, нагріваються, з них випаровується волога, виділяються летючі ре-

човини. За досягнення температури 750 – 900 °С в шихті відновлюється залізо:



Частина оксиду FeO опускається до розпару і заплечиків і відновлюється вуглецем коксу. У відновленні заліза беруть участь також сажистий вуглець і водень. У результаті цих реакцій утворюється тверде губчасте залізо. За температури 1000 – 1100 °С губчасте залізо насичується вуглецем:



Вуглець зменшує температуру плавлення залізовуглецевого сплаву, тому під час опускання в нижню частину шахти сплав починає плавитись, додатково насичується вуглецем, марганцем, кремнієм, фосфором, сіркою.

Марганець знаходиться в руді у вигляді оксидів і частково відновлюється твердим вуглецем. Кремній знаходиться в пустій породі у вигляді кремнезему SiO<sub>2</sub> і також відновлюється твердим вуглецем. Невідновлені оксиди марганцю та кремнію переходять у шлак. Фосфор знаходиться в руді частіше у вигляді сполуки P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·3CaO, відновлюється оксидом вуглецю та твердим вуглецем і майже повністю переходить у сплав.

Сірка потрапляє в доменну піч у складі руди і коксу у вигляді сполук FeS<sub>2</sub>, FeS, CaSO<sub>2</sub>, CaS. Значна частина сполук (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S), інша переходить у сплав (FeS) або шлак (CaS).

Таким чином, у результаті відновлення заліза, марганцю, кремнію, фосфору та сірки і розчинення їх у залізі в горні печі утворюється чавун. Одночасно з чавуном у нижній часті печі збирається шлак – сплав пустої породи, флюсів, попелу палива, а також частина невідновлених оксидів. У міру того, як утворюються та накопичуються чавун і шлак, їх випускають із печі: чавун через 3 – 4 години за нижньою люткою, а шлак – через 1 – 1,5 години верхньою люткою.

**Продукти доменного виробництва.** Головними продуктами доменного виробництва є чавун і феросплави, побічними – шлак та колошниковий газ. Залежно від хімічного складу, будови та призначення виплавлені в доменній печі чавуни поділяють на переробні, ливарні й спеціальні.

*Переробні чавуни* – основний вид чавуну, призначений для виготовлення сталі. Звичайний його склад: 3,5 – 4,5 % С; 0,3 – 1,3 % Si; 0,8 – 1,2 % Mn; до 0,3 % P і 0,07 % S. Особливістю переробних чавунів є те, що вуглець у них знаходиться у вигляді сполуки  $Fe_3C$  – цементиту. Такі чавуни на зламі мають білий відтінок, тому їх ще називають білими. Вони відрізняються великою твердістю, обробляти різанням їх важко, тому як конструкційний матеріал вони використовуються рідко. У ливарному виробництві з них отримують ковкий чавун.

*Ливарні чавуни* призначені для одержання фасонного литва, відрізняються підвищеним вмістом кремнію (до 3,6 %). Більша частина вуглецю в них знаходиться у вільному стані – у вигляді пластинчатого графіту, тому на зламі вони мають сірий відтінок. Такі чавуни називають сірими. Ливарний чавун везуть у ковші до розливної машини та розливають у закріплені на безперервному конвеєрі виливниці. Після затвердіння й охолодження водою 50-кілограмові чавунні чушки випадають при повороті конвеєра із виливниць на залізничні платформи.

*Спеціальні чавуни* або *феросплави* – це сплави заліза зі значним вмістом кремнію, марганцю й інших елементів. До них належать: феросиліцій (9 – 13 % Si), феромарганець (70 – 75 % Mn), дзеркальний чавун (10 – 25 % Mn) та ін. Їх застосовують для розкислення та легування сталі. Головною масою серед продуктів доменного виробництва є переробні чавуни – 75 – 80 %. На долю ливарних чавунів припадає 15 – 20 % і феросплавів – 1 – 2 %.

Шлак використовують для виробництва шлаковати, шлакоблоків, цементу. Гази ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4N_2$ ), що утворюються в печі, піднімаються вгору і в зоні колошника відводяться трубами з печі. Ці газы, названі *колошниковими*, використовують як паливо для нагрівання повітро-нагрівачів.

Найважливішим техніко-економічним показником роботи доменної печі є *коефіцієнт використання корисного обсягу*  $K_{ВКО}$  печі:

$$K_{ВКО} = \frac{V}{P},$$

де  $V$  – корисний обсяг доменної печі,  $m^3$ ;

$P$  – середня добова продуктивність печі, т (0,5 – 0,6 т).

Витрата коксу визначається відношенням витрати коксу за добу та середньою добовою продуктивністю печі  $P$  (досягає 0,6 т/тону чавуну).



## Виробництво сталі

*Сталь* – це залізовуглецевий сплав, що містить практично до 1,5 % вуглецю. Крім вуглецю, сталь завжди містить у невеликих кількостях постійні домішки: марганець (до 0,8 %), кремній (до 0,4 %), фосфор (до 0,07 %), сірку (до 0,06 %), що пов'язане з особливостями технології виплавки сталі. Отже, сталь відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю, кремнію, марганцю та домішок сірки і фосфору. Тому переробка чавуну на сталь полягає у зменшенні у ньому вмісту вуглецю та інших елементів і переведенні їх у шлак або газу.

У техніці широко використовують також леговані сталі, до складу яких для поліпшення якості додатково вводять хром, нікель та інші елементи. Існує понад 1500 марок вуглецевих і легованих сталей – конструкційних, інструментальних, нержавіючих та ін.

**Сучасні способи одержання сталі.** Для масового виробництва сталі у сучасній металургії основними вихідними матеріалами є переробний чавун і сталевий брухт. Оскільки за хімічним складом сталь відрізняється від переробного чавуну меншим змістом вуглецю, марганцю, кремнію та інших елементів, то виплавка сталі – перетворення чавуну (або ж чавуну та сталевого брухту) у сталь – зводиться до здійснення окисного виплавлення для видалення надлишку вуглецю, марганцю та інших домішок. Під час виплавлення легованих сталей у їхню сполуку вводять відповідні елементи.

**Сутність процесу одержання сталі.** Як зазначено раніше, основними вихідними матеріалами для виробництва сталі є переробний чавун і сталевий брухт. Порівняння хімічних складів переробного чавуну і сталі показує, що вміст вуглецю та домішок у сталі значно нижчий, ніж у чавуну (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Вміст вуглецю та домішок у сталі

Матеріал	Склад, %				
	Вуглець	Кремній	Марганець	Фосфор	Сірка
Переробний чавун	4,0 – 4,4	0,76 – 1,26	до 1,75	0,15 – 0,3	0,03 – 0,07
Маловуглецева сталь	0,14 – 0,22	0,12 – 0,3	0,4 – 0,65	0,05	0,055

Отже, для переділу чавуну в сталь необхідно знизити вміст вуглецю та домішок. Тому сутністю будь-якого металургійного переділу

чавуну в сталь є зниження вмісту вуглецю та домішок шляхом їхнього виборчого окислювання й переведення у шлаки та газу у процесі плавки. У результаті окисних реакцій, здійснюваних на першому етапі переділу чавуну в сталь, вуглець з'єднується із киснем, створює CO, що виділяється в атмосферу печі. Кремній, марганець, фосфор, сірка утворюють окисли або інші сполуки, нерозчинні або малорозчинні у металі ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaS}$  та ін.), які в процесі плавки частково виділяються у шлаки. Однак, повною мірою окислити домішки не вдається, оскільки, незважаючи на їхню значно більшу спорідненість до кисню, чим у заліза, у міру зниження вмісту домішок відповідно до закону дієвих мас починає окислятися залізо. Окисли заліза розчиняються у залізі, насичуючи метал киснем. Сталь, що містить кисень, непридатна для обробки тиском – куванням, оскільки у ній утворюються тріщини під час деформації у нагрітому стані. Для зменшення вмісту кисню у сталі під час процесу плавки її розкисляють, оскільки вводять до її складу елементи із більшою спорідненістю до кисню, ніж у заліза. Взаємодіючи із киснем сталі, ці елементи утворюють нерозчинні окисли, що частково спливають у шлаки. Для розкислення сталі використовують феросплави – феросиліцій, феромарганець, а також алюміній. Розкислення є завершальним етапом виплавки сталі.

Чавун переробляють у сталь за принципом дії металургійних агрегатів. Основними із них є кисневі конвертери, мартенівські печі та електропечі. Співвідношення між способами виробництва сталі безупинно змінюється. Так, обсяг виробництва сталі, яка виплавляється у високопродуктивних агрегатах – кисневих конвертерах і великих електропечах – зростає, а обсяг виробництва сталі, яка виплавляється у мартенівських печах, поступово зменшується.

**Виробництво сталі у конвертерах.** Сутність киснево-конверторного процесу полягає у тому, що налитий у плавильний агрегат (конвертор) розплавлений чавун продувають струменем кисню зверху. Вуглець, кремній та інші домішки окисляються та у такий спосіб чавун переробляється в сталь. Перші досліди із розроблення цього способу здійснив у 1933 – 1934 рр. А. І. Мозковий.

У промисловості киснево-конверторний переділ уперше почали застосовувати у 1952 – 1953 рр. на заводах Австрії в Лінці та Донавіці. Завдяки техніко-економічним перевагам, цей спосіб одержав дуже швидке й широке поширення і став основним напрямом розвитку в ма-

совому виробництві сталі. Частка киснево-конверторної сталі становила у 1960 р. близько 4 %, у 1965 р. – близько 25 %, у нинішній час – близько 40 % світової виплавки сталі.

**Киснево-конвертерний процес.** Це виплавка сталі із рідкого чавуну в конвертері із основною футеровкою і продувкою киснем зверху через водоохолоджуючу фурму.

**Кисневий конвертер.** Пристрій кисневого конвертера показано на рис. 5.3. Його грушоподібний корпус (кожух) з зварений із листової сталі товщиною до 110 мм; усередині він футерований основними вогнетривкими матеріалами 4 загальною товщиною до 1000 мм, ємністю 130 – 350 т рідкого чавуну.

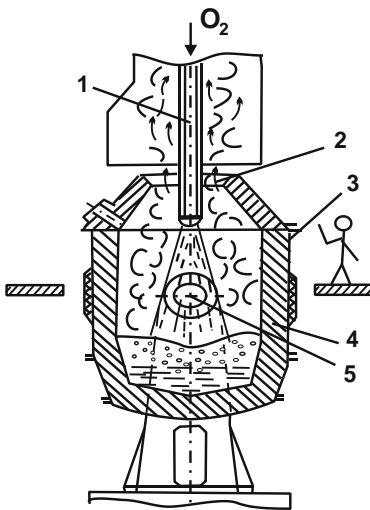


Рисунок 5.3 – Схема пристрою кисневого конвертера

У процесі роботи конвертер можна повертати на цапфах 5 навколо горизонтальної осі на  $360^\circ$  для завалки скрапу, заливання чавуну, зливу сталі, шлаків тощо. Під час продувки чавуну киснем конвертер перебуває у вертикальному положенні. Кисень у конвертер (9 – 14 атмосфер) подають за допомогою водоохолоджуючої фурми 1, яку вводять у конвертер через його горловину 2. Фурму встановлюють точно вертикально за віссю конвертера. Її піднімають спеціальним механізмом, зблокованим із механізмом обертання конвертера так, що конвертер не можна повернути, поки із нього не вилучена фурма.

**Шихтові матеріали.** Такими матеріалами для киснево-конверторного процесу є рідкий передільний чавун, сталевий лом, вапно, залізна руда, боксит, плавиковий шпат. Чавун для переробки у кисневих конвертерах повинен містити 3,7 – 4,4 % С; 0,7 – 1,1 % Мn; 0,4 – 0,8 % Si; 0,03 – 0,08 % S; <0,15 – 0,3 % Р. Вапно необхідне для наведення шлаків. Воно повинне містити більше 90 % CaO та мінімальну кількість SiO<sub>2</sub> і сірки. Боксит і плавиковий шпат застосовують для розрідження шлаків.

Технологію плавлення показано на рис. 5.4.

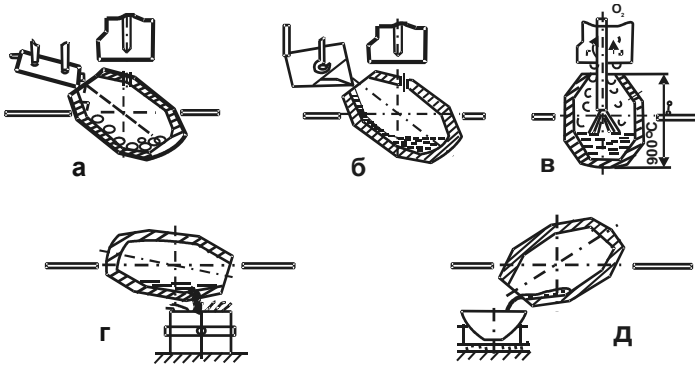
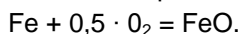


Рисунок 5.4 – Послідовність технологічних операцій під час випалення сталі у кисневих конвертерах: а – завантаження скрапу; б – заливання рідкого чавуну; в – продувка киснем; г – випуск сталі у ківш; д – злив шлаків у шлакову чашу

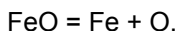
Після випуску чергової плавки конвертер нахиляють і через горловину за допомогою завалочних машин завантажують скрапом. Потім у конвертер заливають чавун за температури 1250 – 1400 °С із чавуно-возних ковшів. Після цього конвертер повертають у вертикальне положення, усередину його вводять кисневу фурму та подають кисень. Одночасно із початком продувки у конвертер завантажують матеріали (вапно, боксит, залізну руду), які створюють шлак. Відстань голівки фурми від рівня металу в конвертері 0,3 – 0,7 м, залежно від ємності конвертера. Струмені кисню, що надходять під великим тиском у конвертер, проникають у метал, викликають його циркуляцію у конвертері й перемішування із шлаками.

Завдяки інтенсивному окислюванню домішок чавуну при взаємодії із киснем, у зоні під фурмою температура досягає 2400 °С.

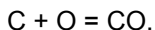
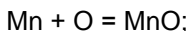
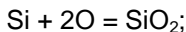
*Окислювальний період.* У кисневому конвертері складові чавуну окисляються газоподібним киснем закиси заліза (FeO), що розчиняється у металі й шлаках під час продувки. У зоні контакту кисневого струменя із чавуном у першу чергу окислюється залізо, тому що його концентрація в багато разів вище концентрації домішок:



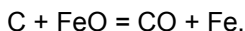
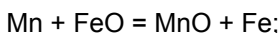
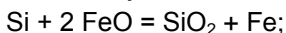
Закис заліза розчиняється в шлаку й металі, збагачуючи метал киснем:



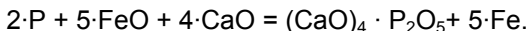
Окислювання домішок чавуну киснем, розчиненим у металі, відбувається за реакціями:



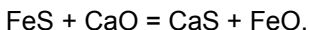
Частина домішок окисляється на границі "метал – шлаки" окислами заліза, що втримуються в шлаку:



У кисневому конвертері завдяки присутності шлаків з більшим вмістом CaO й Fe, інтенсивному перемішуванню металу та шлаків легко видаляється із металу фосфор:



Фосфат кальцію, що утворився, видаляється в шлак. У чавунах, що переробляються в конвертерах, повинне бути не більше 0,15 % P. За підвищеного (до 0,3 %) вмісту фосфору необхідно для більш повного його видалення здійснювати проміжний злив шлаків і наводити новий, що знижує продуктивність конвертера. Видалення сірки з металу відбувається за реакції:



Разом із тим, високий вміст у шлаку (до 7 – 20 %) ускладнює протікання реакції видалення сірки із металу. Тому для переділу в сталь у кисневих конвертерах застосовують чавун із обмеженим вмістом сірки (до 0,07 %). Подачу кисню закінчують у момент, коли зміст вуглецю в металі відповідає заданому змісту в сталі. Для цього здійснюють автоматичний контроль хімічного складу металу у ході плавки із використанням ЕОМ. Після цього конвертер повертають і випускають сталь в ківш.

*Розкислення сталі.* Під час випуску сталі з конвертера в ківш її розкисляють спочатку феромарганцем, потім феросиліцієм і алюмінієм. Потім з конвертера зливають шлаки. У кисневих конвертерах важко виплавляти леговані сталі, що містять легуючі елементи, що легко окислюються. Тому в кисневих конвертерах виплавляють низьколеговані сталі, що містять до 2 – 3 % легованих елементів. Леговані елементи вводять в ківш, попередньо розплавивши їх в електропечі, або леговані феросплави вводять у ківш перед випуском із нього сталі. Окислюван-

ня домішок чавуну в кисневому конвертері протікає дуже швидко: плавлення в конвертерах ємністю 130 – 300 т закінчується через 20 – 25 хв. Тому киснево-конвертерний процес продуктивніше плавлення сталі в мартенівських печах: продуктивність конвертера ємністю 300 т досягає 400 – 500 т/год. сталі, а з мартенівських печей і електropечей – не більше 80 т/ч. Унаслідок цього виробництво сталі постійно збільшується за рахунок створення нових киснево-конвертерних цехів.

Перед початком роботи конвертер повертають на цапфах 5 навколо горизонтальної вісі та за допомогою завальної машини завантажують до 30 % металобрухту, потім заливають рідкий чавун за температурою 1250 ... 1400 °С, повертають конвертер у вихідне вертикальне положення, заводять кисневу фурму, подають кисень і добавляють шлакоутворюючі матеріали. Під час продування відбувається окислення вуглецю та інших домішок безпосередньо киснем дуття, а також оксидом заліза FeO. Одночасно утворюється активний шлак із необхідним вмістом CaO, у зв'язку із чим відбувається виведення сірки і фосфору із утворенням стійких сполук  $P_2O_5 \cdot 3CaO$ ; CaS у шлаці.

Після 15 ... 16 хв продування фурму піднімають, нахилиють конвертер, беруть пробу металу на аналіз і скачують більшу частину шлаку. Після визначення експрес-аналізом складу сталі (займає 7 ... 8 хв) конвертер знову ставлять у вертикальне положення, заводять фурму і продовжують продування протягом часу залежно від даних аналізу та заданої марки сталі.

Для зменшення вмісту кисню вилиту із конвертера сталь розкислюють, тобто добавляють до неї елементи з більшою, ніж у заліза, спорідненістю до кисню (Si, Mn, Al). Під час взаємодії з оксидом заліза FeO вони утворюють нерозчинні оксиди  $SiO_2$ , MnO,  $Al_2O_3$ , які переходять у шлак. Продуктивність кисневого конвертера об'ємом 300 т досягає 400 ... 500 т/год. (продуктивність мартенівських і електropечей не перевищує 80 т/год.).

Завдяки великій продуктивності і малій металомісткості киснево-конвертерний спосіб стає основним способом виробництва сталі. Подальше виконання конвертерного процесу привело до створення ряду його різновидностей, наприклад застосування комбінованого дуття – вдування кисню не тільки зверху, а й крізь донні фурми. У ряді випадків через днище вдувають повітря, невелику кількість аргону або азоту, іноді порошок вапна.

## Виробництво сталі в мартенівських печах

Мартенівський спосіб виробництва сталі – це найбільш поширений спосіб, у якому використовують полум'яні печі регенеративного типу. Висока температура у мартенівській печі (1750 ... 1800 °С) досягається згоранням газу над плавильним простором. Газу повітря, що надходять у піч, підігріваються в регенераторах. Схему мартенівської печі показано на рис. 5.5.

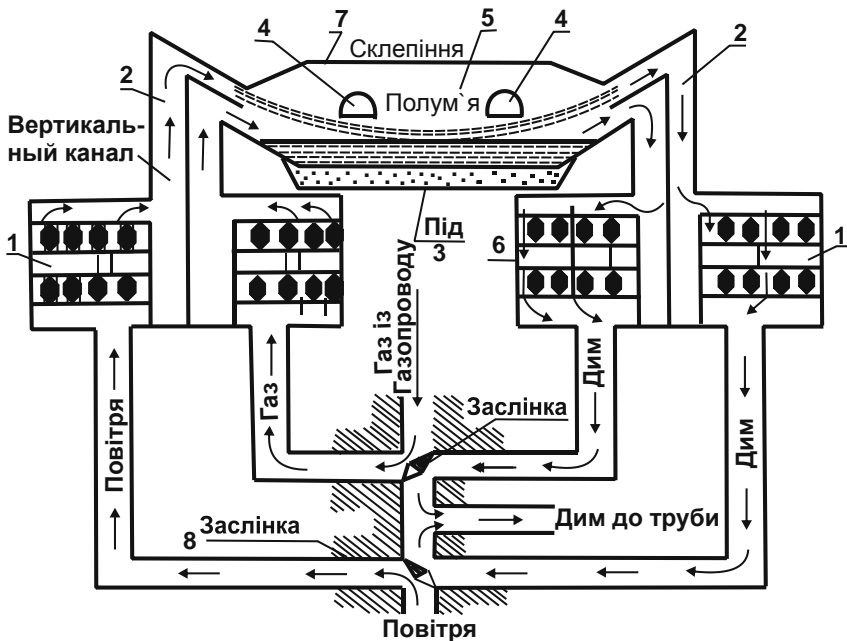


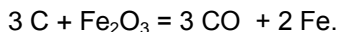
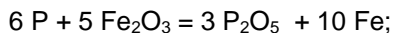
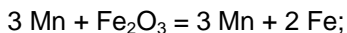
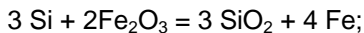
Рисунок 5.5 – Схема мартенівської печі: 1 – повітряні регенератори; 2 – газів й повітряні канали; 3 – газові регенератори; 4 – повітряні канали в головках печі; 5 – робочий простір в печі; 6 – під печі; 7 – склепіння печі; 8 – заслінки (клапани)

Шихтові матеріали завалюють у плавильний простір 5 через вікна печі 4, а повітря і газ підводять каналами 2 і 3. Попередньо вони проходять через регенератори 3, де підігріваються, а в процесі горіння приводять до високої температури – 1700 °С. Регенератори працюють за чергою: дві камери підігріваються продуктами горіння газів, виходя-

чи із печі, дві інші, раніше підігріті, – охолоджуються. Управління напрямом руху продуктів горіння палива і повітря виконується клапанами 8. За конструкцією мартенівські печі підрозділяють на нерухомі і рухомі, які мають кут нахилу, на який вони можуть нахилитися. Місткість сучасної мартенівської печі 600 – 900 т. Працюють також двохванні печі, місткість яких у два рази більша.

*Мартенівський процес.* Матеріалами для виплавки сталі у мартенівській печі можуть бути: сталевий брухт (скрап), рідкий і твердий чавуни, залізна руда. Залежно від їхнього співвідношення в шихті розпізнають: *скрап-рудний процес* на шихті із сталевих скрапу і 25 ... 45 % чушкового переробного чавуну. Флюсом є вапняк  $\text{CaCO}_3$  (8 ... 12 % від маси металу).

Більш широкого застосування у металургії набув скрап-рудний процес виплавки сталі в основній мартенівській печі. Для цього у піч завантажують і нагрівають залізну руду та вапняк, потім добавляють сталевий скрап і заливають рідкий чавун. У процесі плавки домішки у чавуні окислюються за рахунок оксидів заліза руди і скрапу:



Оксиди, а також сульфід  $\text{CaS}$  утворюють шлак, який періодично випускають із печі у шлакові чаші.

Для інтенсифікації процесу плавлення і окислювання домішок ванну продувають киснем, який подається по охолоджуваних водою фурмах. Продувка киснем дає змогу в 2 ... 3 рази скоротити тривалість процесу, зменшити витрати палива і залізної руди.

Після плавлення шихти починається період кипіння ванни. В цей час вуглець інтенсивно окислюється у металі. В момент, коли вміст його досягає заданого, а кількість сірки і фосфору зменшиться до мінімуму, кипіння припиняють і починається розкислення сталі у ванні печі феромарганцем, феросиліцієм і алюмінієм.

Завершують розкислення сталі під час випуску із печі алюмінієм і феросиліцієм в сталерозливному ковші.

Скрап-процес застосовують на машинобудівних заводах які не мають рідкого чавуну. Від скрап-рудного процесу він дещо відрізняється-



ся завалкою і плавленням шихти. Основний скрап-процес застосовують для виплавки вуглецевих і легованих сталей.

### Виробництво сталі в електропечач

Порівняно із іншими плавильними агрегатами електропечі мають ряд переваг: можливість швидкого нагрівання і підтримання необхідної температури у межах до 2000 °С, можливість створення окислювальної, відновлювальної або нейтральної атмосфери, а також вакууму.

У електропечач виплавляють високоякісні і леговані сталі завдяки можливості одержання температури, що легко регулюється, у зв'язку із чим є можливість звільнитись від шкідливих домішок і виробляти сталі з дуже тугоплавкими металами, такими як: вольфрам, молібден, ванадій.

Металургійні електричні печі поділяють на *дугові* та *індукційні*.

Найбільш поширені дугові електричні печі (рис. 5.6). Піч має циліндричний кожух 6, який усередині обладнаний вогнестійкою цеглою. Через склепіння 4 в піч підведені три графітові електроди 3, які можуть автоматично переміщуватись зверху вниз і навпаки.

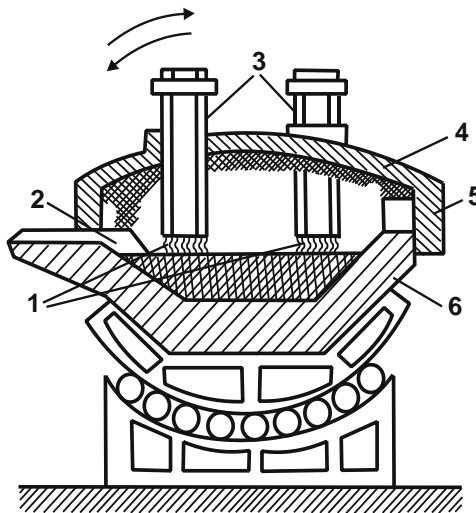


Рисунок 5.6 – Схема електричної дугової печі

Шихту подають у піч через завальне вікно або частіше через склепіння – зверху. Шлак і сталь виливають через спеціальний отвір 2,

у зв'язку з чим піч нахилиють. Місткість електродугових печей може бути від 0,5 до 400 т.

Джерелом тепла у таких печах є електрична дуга, яка виникає між електродами з діаметром 350 ... 550 мм і шихтою. На електроди подається струм напругою 200 ... 600 В і силою 1 ... 10 кА. Електродугові печі будують об'ємом 0,5 ... 400 т.

Сталь виплавляють, головним чином, у основних електросталепечях із окисненням і без окиснення домішок.

Плавлення із окисненням багато у чому співпадає із мартенівським скрап-процесом. Її застосовують для плавлення вуглецевих сталей. Шихтою для цього є сталевий брухт, переробний чавун, кокс для науглецювання і добавка 2 ... 3 % вапна. Плавлення включає два періоди: окислювальний і відновлювальний.

Під час окислювального періоду кремній, марганець, вуглець, залізо окислюються киснем, який надходить із повітря, оксидів шихти і окалини. Одержані оксиди разом з вапном утворюють шлак. Завдяки наявності оксиду кальцію шлак зв'язує і виводить фосфор.

Відновлювальний період включає розкислювання сталі, виведення сірки і доведення вмісту всіх компонентів до необхідного. Для цього у піч подають флюс-суміш вапна, плавикового шпату CaF<sub>2</sub>, молотого коксу і феросиліцію. Кокс і феросиліцій повільно проникають крізь шар шлаку і відновлюють оксид заліза:



При цьому вміст оксиду заліза в шлаці зменшується і він починає дифундувати із металу в шлак, де відразу ж відновлюється. Відновлення відбувається в шлаці і на межі шлак-метал. Тому метал не забруднюється неметалевими домішками (SiO<sub>2</sub>, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), що має місце при звичайному розкисненні.

Завдяки великому вмісту в шлаці оксиду CaO інтенсивно виводиться із металу і сірка. Тому в рядових плавках електросталі вміст сірки не перевищує 0,015 %, в той час як в мартенівській сталі вміст 0,020 % вважається дуже низьким.

У кінці відновлювального періоду, якщо це необхідно, сталь остаточно розкислюють феросиліцієм або алюмінієм.

Плавлення без окиснення застосовують для одержання легованої сталі із скрапу і відходів відповідного складу. У цьому випадку виробництво сталі зводиться, за суттю, до переплаву шихти, хоча у процесі

плавки не виключено і окислення деяких домішок, а також введення за необхідністю деяких компонентів.

*Електроіндукційна піч* (рис. 5.7) складається із тигля 5 із кришкою

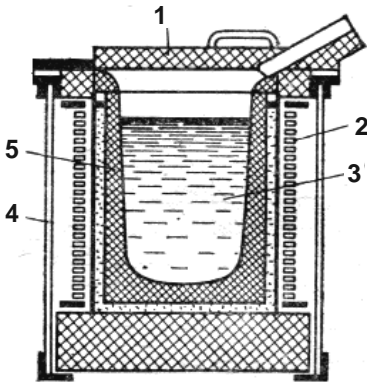


Рисунок 5.7 – Схема будови електроіндукційної печі:

- 1 – кришка; 2 – індуктор;
- 3 – розплав сталі; 4 – каркас печі; 5 – вогнетривкий тигель

(склепінням) 1 і охолоджуваною водою індуктора 2, змонтованого в корпусі 4. Під час проходження по індуктору змінного струму частотою 500 ... 2000 кГц, утворюється магнітний потік, що наводить у металевій шихті три потужні вихрові струми, які нагрівають його до розплавлення.

Індукційні печі будують ємністю від десятків кілограм до 5 т, в окремих випадках ємність їх досягає 25 ... 30 т.

Індукційні печі порівняно із дуговими мають ряд переваг:

- відсутність дуги дає змогу виплавляти метали з малим вмістом вуглецю і газів;
- електродинамічні сили, що виникають в індукційному полі, перемішують рідкий метал і тим самим сприяють вирівнюванню хімічного складу і спливанню неметалевих включень;

• індукційні печі відзначаються малими розмірами, що дає змогу розмішувати їх в спеціальних камерах і створювати будь яку атмосферу або вакуум.

У індукційних печах плавку, як правило, проводять методом переплавлення відходів легованих сталей або чистого щодо сірки і фосфору вуглецевого скрапу і феросплавів. Після розплавлення шихти на поверхню металу подають шлак: в основних печах – вапно і плавиковий шпат, а в кислих – бій скла та інші матеріали, багаті кремнеземом  $\text{SiO}_2$ . Шлак захищає метал від окислення і насичення газами атмосфери, зменшує втрати теплоти і вигар легуючих елементів.

Плавлення у вакуумі дозволяє добути сплави із мінімальним вмістом газів і неметалевих включень, легувати сплави будь якими елементами.

Тривалість плавлення в індукційній печі ємкістю 1 т – близько 45 хв, витрата електроенергії на 1 т сталі – 600 ... 700 кВт год.

### Інші способи виробництва сталі

Для одержання високоякісних сталей використовують електрошлаковий, вакуумно-дуговий, вакуумно-індукційний способи, за допомогою яких значно зменшується кількість шкідливих домішок (сірки, фосфору, неметалевих домішок), підвищується в 2 – 3 рази вік використання виробів із таких сталей.

Зміст технології електрошлакового переплаву сталі полягає в наступному: сталь, яку одержали в мартені або електропечі, закріплюють в електродотримачі над металевим охолоджуваним кристалізатором. На дно кристалізатора засипають шлак на основі  $\text{CaF}_2$  або  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  який розплавляється електричною дугою. У міру наповнення ванни шлаком електрична дуга зникає, а тепло виникає від опору струму, який проходить через шлак.

За температурою шлаку  $2000^\circ\text{C}$  метал розплавляється і, проходячи через шар шлаку, залишає в ньому різні домішки, а потім у кристалізаторі формується у виливки, які можуть бути круглими, квадратними і трубними.

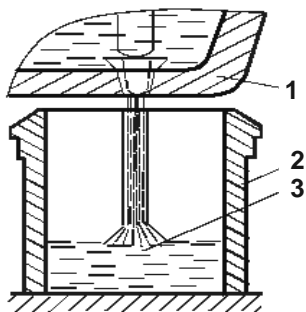


Рисунок 5.8 – Схема розливання сталі зверху:  
1 – ківш; 2 – виливниця;  
3 – сталь

Сутність вакуумно-індукційного способу (рис. 5.8) полягає в одержанні сталі в умовах вакууму. Під час плавлення метал нагрівається за рахунок змінного магнітного поля навколо індуктора і вихрових струмів у металі. Умови вакууму сприяють зниженню в металі газів та неметалевих домішок і дозволяють виплавляти сталі точного хімічного складу, високої якості, вироби з яких працюють у 2,5 рази довше, ніж зі звичайних сталей.

*Розливання сталі.* Сталь заливають у ківш, після чого розливають у виливниці (металеві форми), де вона формується у зливки, або подають на машину безперервного розливання. Використовують три способи розливання сталі: зверху, сифонний, безперервний.

Розливання сталі зверху виконують із ковша у виливниці для одержання зливоків вагою від 10 до 100 т (рис. 5.8).

Сифонне розливання сталі (рис. 5.9) використовують для одержання зливоків малої й середньої ваги.

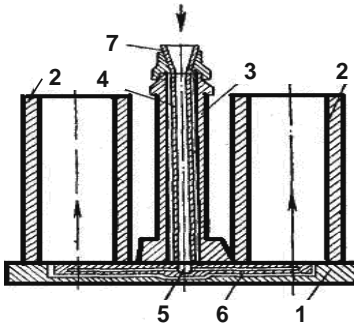


Рисунок 5.9 – Схема сифонного розливання сталі:

- 1 – піддон;
- 2 – виливниці;
- 3 – центральний стояк;
- 4 – центрова трубка;
- 5 – центрова цегла;
- 6 – сифонна цегла;
- 7 – лійка

Сталь із ковша заливають у центральний стояк, з якого вона іде по літникам до виливниць. На піддон уміщують до чотирьох і більше виливниць.

Розливання сталі зверху гарантує високу температуру металу в головній частині відливання і меншу кількість неметалевих домішок у її нижній частині. За сифонного способу поверхня зливка більш чиста і метал в нижній частині більш теплий. Взагалі для виробів використовують тільки 65 – 75 % ваги зливка, тому що зливки має усадкову раковину, крихкість і ліквідаційні області, які непридатні для подальшої переробки.

Найбільш перспективне безперервне розливання сталі (рис. 5.9), в якому сталь із ковша 1 заливають у проміжний пристрій 2, звідки вона йде в кристалізатор 3, де формується у зливки. Стіни кристалізатора охолоджуються водою.

Внутрішня поверхня відповідає розміру зливка 150×150 мм. Далі зливки потрапляє в зону повторного охолодження. Валки 4 тягнуть зливки у зону 5, де їх розрізають на заготовки.

Безперервне розливання зменшує відходи металу, тому що вихід придатних деталей досягає 96 – 98 %, забезпечує якісну поверхню зливоків, не потребує виливниць та сифонів, а також побудови дуже коштовних обтискних станів (блюмінгів) для одержання заготовок малого перетину.

*Способи підвищення якості сталі.* Вакуумна обробка зменшує в 3 – 5 разів вміст  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ , а також в 2 – 3 рази – неметалевих домішок, які впливають із бульбашками газів на поверхню металу і переходять у шлак.

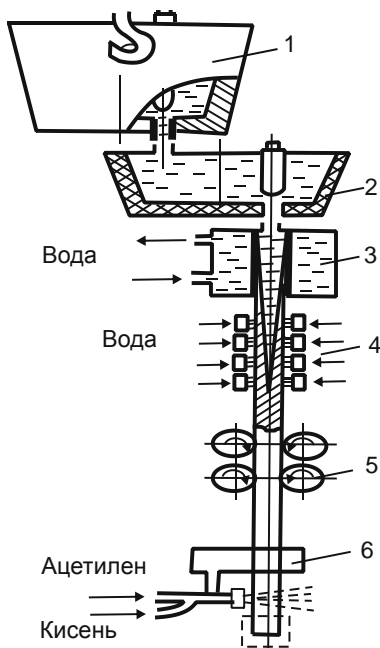


Рисунок 5.9 – Принципова технологічна схема устаткування безперервного розливання сталі

Обробку сталі синтетичними шлаками виконують у ковші, для чого спочатку заливають туди рідкий шлак (45 %  $\text{CaO}$ , 40 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10 %  $\text{SiO}_2$ , 5 %  $\text{MgO}$ ) в кількості 3 – 5 % від маси сталі. Потім заливають сталь. Інтенсивне перемішування сталі з шлаком приводить до зниження в сталі кисню, сірки і неметалевих домішок.

Рафінування електрошлаковим переплавленням (рис. 5.10) полягає в тому, що сталь подають в установку у вигляді електрода. Розплавлений шлак (60 – 65 %  $\text{CaF}$ , 25 – 30 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  та ін.) має значний опір, що приводить до генерації тепла в металі, яке розплавляє електрод. Краплі металу проходять скрізь шлак і потрапляють в кристалізатор, де послідовно застигають знизу вгору внаслідок чого метал звільняється від бульбашок газу і неметалевих домішок. Зливки можуть мати масу до 40 т.

Вакуумно-дугове рафінування виконують у вакуумних печах з електродом 6, який переплавляється, внаслідок чого зливков 3 утворюється

ся в охолоджуваній виливниці 2. У корпусі 7 підтримують вакуум 1,5 Па, який сприяє очищенню металу від газів. Місткість печей досягає 60 т.

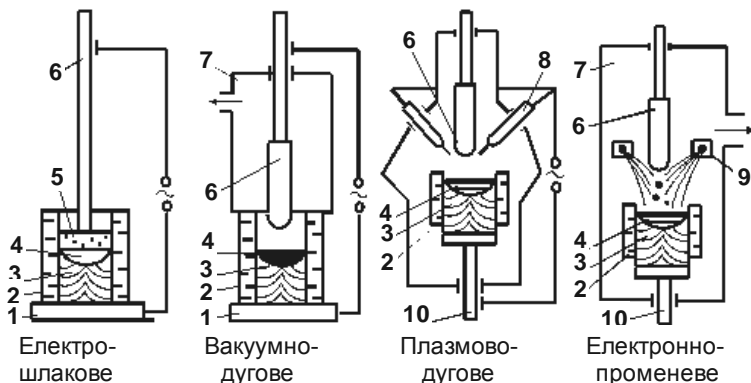


Рисунок 5.10 – Схеми рафінувального переплавлення:

- 1 – охолоджуваний водою піддон; 2 – кристалізатор; 3 – зливков;
- 4 – металева ванна; 5 – розплавлений шлак; 6 – заготовка (електрод), що переплавляється; 7 – вакуумна камера; 8 – плазмотрон;
- 9 – електронна гармата; 10 – пристрій для витягання зливків

*Плазмово-дугове переплавлення* використовує плазмову дугу із температурою 10000 – 15000 °С. При цьому електрод і металовідходи розплавляються і охолоджуються у кристалізаторі, а зливков витягують вниз. Висока температура сприяє випаровуванню сірки, фосфору і видаленню неметалевих домішок.

*Електронно-променеве переплавлення* виконується за рахунок теплоти, яка утворюється від потоку електронів, спрямованих на метал. Переплавлення проводять у вакуумних установках, що сприяє одержанню особливо чистого тугоплавкого металу (W, Mo, Ni та ін.).

*Бездоменне виробництво сталі.* Сучасні способи отримання сталі ґрунтуються на одержанні чавуну, із якого виплавляють сталь, що потребує великих витрат праці, часу, теплових і матеріальних ресурсів. У схемі бездоменного виробництва сталі (рис. 5.11) сировиною є залізорудний концентрат з 70 % Fe, який трубопроводом 2 у вигляді пульпи (суміш з водою) потрапляє у вакуум-фільтри 3, де зневоднюється, потім змішується в барабанах 4 із бентонітом і гранулюється в установці 5.

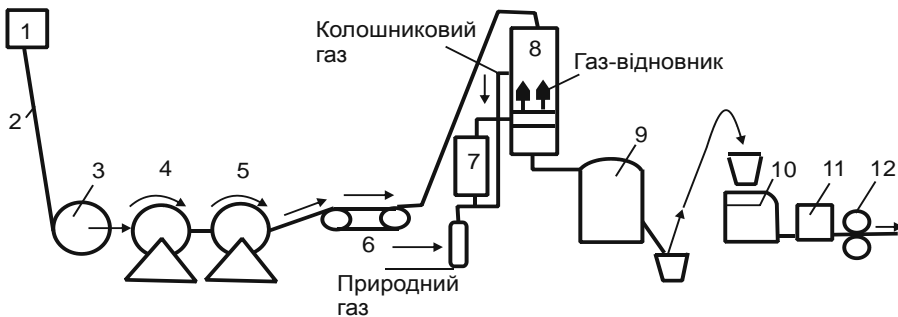
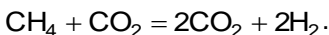


Рисунок 5.11 – Схема процесу бездоменного виробництва сталі

Котуни обпалюють у печі і подають конвеєром у шахтну піч для прямого відновлення заліза. Знизу в піч подають газ-відновник з температурою 1000 °С під тиском 0,15 Па. Газ одержують у реформері 7 із природного і колошникового газів:



У результаті відновлення вміст заліза в котунах досягає 90 – 95 %. Котуни переплавляють в електропечі 9 місткістю 150 т в електро-сталь, яку розливають на установці 10. Зливки підігрівають у печі 11 і прокатують на стані 12.

### Класифікація сталі

Добуті різними способами сталі класифікують за ознаками:

1. За способом виробництва:

- за типом плавильного агрегату (конверторна, мартенівська, електросталь тощо);
- за технологією виплавки (основна, або кисла, оброблена вакуумом, синтетичними шлаками).

2. За характером твердіння у виливниках: спокійна, напівспокійна, кипляча.

3. За хімічним складом сталі поділяють на вуглецеві і леговані; в свою чергу, вони поділяються на низько – (до 0,25 % С), середньо – (0,25 ... 0,60 % С) і високо вуглецеві (С ≥ 0,60 %); низько-, середньо та високолеговані (відповідно за сумою легуючих елементів до 3,5 %, 0 і більше 10 %).



4. За якістю – на сталі звичайної якості, високоякісні та особливо високоякісні. Відрізняються вони вмістом шкідливих домішок (в основному S і P), неметалевих вкраплень, газів та домішок кольорових металів. Високоякісні сталі позначають буквою А, а особливо високоякісні – буквою Ш у кінці марки.

5. За властивостями та областю застосування сталі поділяють на такі класи: конструкційні; інструментальні; із спеціальними фізичними властивостями; для зварювальних та наплавлювальних робіт.

### **Вуглецеві сталі**

Вуглецеві сталі поділяють на конструкційні та інструментальні.

1. Конструкційні сталі вміщують до 0,6 % С. Їх поділяють на сталі звичайної якості та якісні.

Сталі звичайної якості виготовляють таких марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, ..., Ст6пс, Ст6сп. Із збільшенням номеру сталь має більші міцність і твердість, але меншу пластичність.

Із сталі звичайної якості виготовляють рядовий прокат (прутки, балки, швелери), а також листи, труби. Ці сталі широко застосовують у будівництві для зварних, клепаних та болтових конструкцій.

Сталі якісні конструкційні відрізняються меншим вмістом сірки та фосфору ( $\leq 0,04\%$ ), обмеженим вмістом інших елементів, неметалевих домішок. Вони призначені для виготовлення виробів, які піддають терміновій обробці, тому стандарт регламентує їх хімічний склад.

Маркують ці сталі числом, яке вказує на вміст вуглецю в сотих частках процента (0,8; 10; 15; ... 60). У марці також вказується ступінь розкислення сталі (крім сталі спокійної) – 10кп, 10пс, 10. Залежно від призначення гарячекатана та кована сталі поділяються на такі підгрупи: для гарячої обробки тиском; для холодної механічної обробки (точінням, фрезеруванням); для холодного волочіння.

2. Інструментальні вуглецеві сталі виплавляють у мартенівських та електричних печах і поставляють за хімічним складом. Їх поділяють на якісні і високоякісні.

Якісні сталі позначають літерою У і цифрою, яка вказує на вміст вуглецю у десятих частках процента, наприклад: У8 (0,8 % С), У12 (1,2 % С). Високоякісні сталі крім того, в кінці марки мають літеру А (У8А, У12А). Вибирають інструментальні сталі для виготовлення того чи іншо-

го інструменту, що працює без ударів (напилки, мітчики), застосовують сталі більш тверді, тобто з більшим вмістом вуглецю – У10, У12. Інструмент, який піддають ударним навантаженням (зубила, молотки) повинні мати деяку в'язкість, тому для його виготовлення застосовують менш тверді і менш кріпкі сталі з меншим вмістом вуглецю – У7, У8.

### **Леговані сталі**

Легованими називають сталі, в яких є спеціально введені (легуючі) елементи: Cr, Ni, Mg, Ti, V та ін. Марганець і кремній введені в кількості більше 1 %, також легуючі.

Легуючі елементи в марках сталі позначають такими літерами: В – W (вольфрам), Г – Mn (марганець), М – Mo (молібден), Н – Ni (нікель), С – Si (кремній), Т – Ti (титан), Х – Cr (хром) та ін.

Число на початку марки конструкційної сталі указує на вміст вуглецю у сотих частках процента, цифри після літерів – середній вміст позначеного цими літерами елемента в процентах. Наприклад, марка 12Х2Н4В позначає сталь з середнім вмістом 0,12 С, 2 % Cr, 4 % Ni та близько 1 % W. Під час маркування інструментальних та деяких спеціальних сталей іноді відходять від цього правила. Наприклад, марка Х12М позначає сталь вмістом близько 1,5 % С, 12 % Cr, майже 1% Mo.

Деякі леговані сталі виділені в окремі групи: Ш – шарикопідшипникові (ШХ9, ШХ15), Р – швидкорізальні (Р9, Р18), А – підвищеної оброблюваності різанням (А30, АС14).

До конструкційних легованих сталей належать сталі, які застосовуються для виготовлення деталей машин, ресор, пружин, шарико- та роликотітшипників, а також сталі з особливими властивостями (жароміцні, окалино стійкі, корозієстійкі та ін.).

Інструментальні сталі призначено для виготовлення ріжучого, штампового та вимірювального інструментів. Ці сталі повинні мати високу твердість, стійкість за спрацюванням, у ряді випадків – високу теплостійкість. Їх легують, головним чином, карбідотворювальними елементами – Cr, W, V, Mn. Звичайні інструментальні леговані сталі мають теплостійкість до 300 °С. Тому виготовлені із них інструменти можуть працювати із швидкостями різання у межах 15 ... 25 м/хв. Із них виготовляють свердла, розвертки, мітчики, плашки.

Особливе місце займають швидкорізальні сталі. Вони вміщують до 18 % W, 4,5 % Cr, 2,5 % V, 8 % Co та інші елементи. Після термічної

обробки твердість швидкорізальної сталі досягає 62 ... 64 HRC, а її ріжучі властивості зберігаються за температурою до 600 ... 650 °С. Тому інструменти із цієї сталі можуть працювати із швидкістю різання у 3 ... 4 рази більшою, ніж із вуглецевих сталей. Із них виготовляють свердла, зенкери, різці, фрези, протяжки. Найбільш поширені швидкорізальні сталі марок P9, P9K5, P9M4, P18Ф2К8М.

Штамповані сталі призначено для виготовлення інструментів для холодного та гарячого деформування металів. Для холодного деформування металів у багатьох випадках використовують інструменти із сталей, призначених для виготовлення ріжучого інструменту (У10, У12, Х12М, Р12). Сталі для інструментів гарячого деформування повинні мати більшу міцність, окислостійкість, теплопровідність. Тому для їх виготовлення застосовують комплексно леговані сталі із більшим вмістом легуючих елементів (5ХНМ; 4Х5В2ФС, 2Х8В8М – 2К8).

Сталі для вимірювальних інструментів повинні мати високу твердість, стійкість проти спрацювання, стабільність у розмірах протягом експлуатації. Цим вимогам задовольняють маловуглецеві сталі, які піддають цементуванню, загартовані високовуглецеві сталі (Х, ХГ), а також сталі, які піддають азотуванню (38ХМЮА).

### Виготовлення порошків металів

Порошки розміром 0,5 – 500 мкм отримують механічними та хімічними способами: у кульовому й вихровому млині (рис. 5.12), методами розпилення й грануляції, фізико-хімічним методом, відновленням з оксидів, електролізом, методом дисоціації та гідрогенізації.

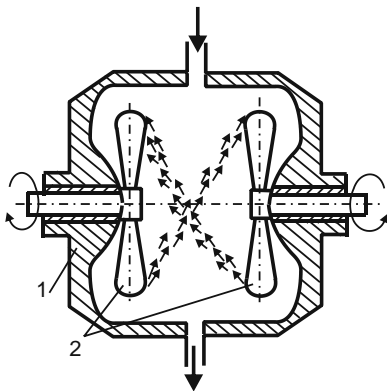


Рисунок 5.12 – Вихровий млин

Механічні методи засновані на подрібненні, розмелюванні і розтиранні металу, а також розпиленні рідкого металу струменем води або газу під тиском до 100 МПа (заліза, феросплави, жароміцні сплави, кольорові метали, корозієстійкі сталі).

Хімічні методи полягають у відновленні металів із оксидів або солей вуглецем, воднем чи природним газом (заліза, вольфраму, мо-

лібдену, хрому, міді). Використовують також термічну дисоціацію карбонатів для одержання порошків високої чистоти.

Підготовка порошків до формування полягає у тому, що їх відпалюють, розділяють за розміром частинок та змішують. Відпал сприяє відновленню оксидів, видаленню вуглецю та інших домішок і усуненню наклепу. За допомогою набору сит порошки розділяють (розміром більш ніж 50 мкм), а менші розділяють повітряною сепарацією. Змішування компонентів виконують у спеціальних змішувачах. Для поліпшення пресування у шихту додають розчин каучуку в бензині; для кращої механічної обробки – парафін, віск, для покращення лиття – спирт, бензол.

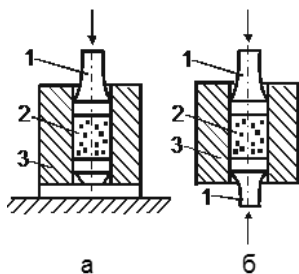


Рисунок 5.13 – Схема холодного пресування

Формування заготовок здійснюють пресуванням, видавлюванням, прокатуванням. Під час холодного пресування у стальну матрицю (рис. 5.13,а) у пресформи 3 із піддоном засипають шихту 2 і пресують її пуансоном 1. Недоліком способу є нерівномірність міцності за висотою, щільністю та пористістю. Двостороннє пресування (рис. 5.13,б) сприяє усуненню цього недоліку. Формування екструзією (рис. 5.14) дозволяє одержати прутки, трубки, різні профілі.

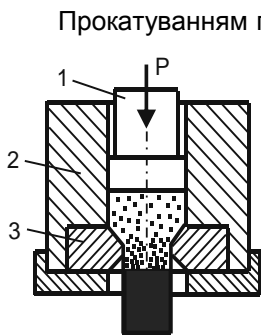


Рисунок 5.14 – Схема формування екструзією:

1 – пуансон; 2 – контейнер; 3 – матриця

Прокатуванням порошків (рис. 5.15) виготовляють пористі та компактні стрічки, полоски, листи завдовжки до 3 м і шириною 300 мм із заліза, корозійностійкої сталі, нікелю, титану. Прокатуванням можна також виготовити двошарові заготовки (залізо-мідь).

Спикання та додаткова обробка заготовок виконується в печах електроопору та індукційних із захисним середовищем протягом 30 – 90 хв за температурою 2/3 від температури плавлення головного компонента. Спикання сприяє відновленню оксидів, розвитку дифузійних явищ, підвищенню міцності заготовок. Обробку заготовок виконують точінням, фрезеруванням, сверд-

лінням, а також піддають різним видам термічної або хіміко-термічної обробки.

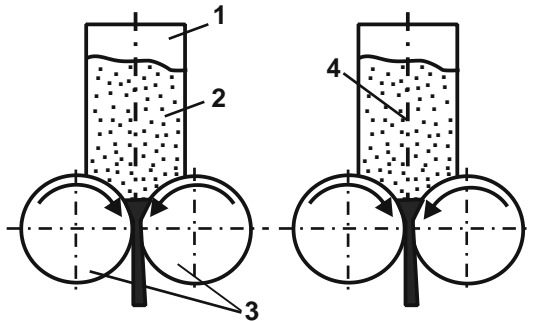


Рисунок 5.15 – Схема листового прокатування одношарових та двошарових порошоків: 1 – контейнер; 2 – порошок; 3 – вальці; 4 – перегородка

*Продукція порошкової металургії* включає конструкційні, інструментальні, електротехнічні та інші матеріали. Серед конструкційних матеріалів – це антифрикційні (підшипники ковзання різного устаткування та приладів), фрикційні із високим коефіцієнтом тертя (гальмові пристрої, диски зчеплення), пористі – для фільтрування рідин і газів.

Інструментальні сплави виготовляють із порошоків карбідів WC, TiC, TaC із додаванням порошку кобальту. Вони мають високу твердість, стійкість проти спрацювання, міцність, теплостійкість, що дуже важливо для різальних інструментів. Тверді сплави поділяються на вольфрамові ВК, титан-вольфрамові ТК і титан-тантал-вольфрамові ТТК.

Окрему групу становлять мінерало-керамічні матеріали, які виготовляють із оксиду алюмінію (99 %) із додаванням оксиду магнію, нітриду кремнію, карбідів тугоплавких металів і використовують у вигляді пластинок в різальному інструменті. Металокераміка має високу теплостійкість (до 1200 °С), що дає можливість обробляти матеріали і з значно більшими швидкостями, ніж інструментами з твердих сплавів.

### **Виробництво кольорових металів**

Кольорові метали підрозділяють на важкі і легкі. Класифікація кольорових металів наведена на рис. 5.16 [77]. У техніці найбільш поширене використання міді, цинку, алюмінію, титану, олова, нікелю і свинцю.

Основні групи кольорових металів			
Благородні	Важкі	Легкі, щільність менш 5 г/см <sup>3</sup>	Рідкісні
Золото Au Платина Pt Палладій Pd Срібло Ag Іридій Ir Радій Ra Рутеній Ru Осмій Os	Свинець Pb Мідь Cu Цинк Zn Нікель Ni Кобальт Co Марганець Mn Сурма Sb Олово Sn Хром Cr Вісмут Bi Ртуть Hg	Літій Li Калій K Натрій Na Рубідій Rb Цезій Cs Кальцій Ca Магній Mg Берилій Be Алюміній Al Титан Ti	Вольфрам W Молибден Mo Тантал Ta Ванадій V Індій In Германій Ge Церій Ce Цирконій Zr Талій Tl

Рисунок 5.16 – Класифікація кольорових металів

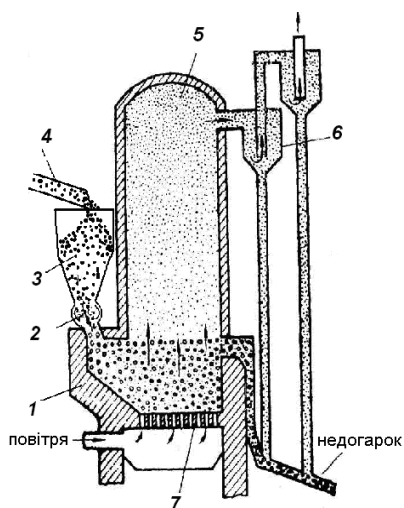


Рисунок 5.17 – Технологічна схема обпалювання мідної руди в киплячому шарі

**Виробництво міді.** У чистому вигляді мідь має червоний колір, температуру плавлення 1083 °С, питому вагу 8,9 г/см<sup>3</sup>, добру електро- і теплопровідність, пластичність.

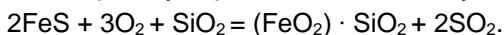
У землі руди зустрічаються, головним чином, у вигляді колчедану (CuFeS<sub>2</sub>), та мідного блиску (Cu<sub>2</sub>S). Кількість міді в рудах – від 1 до 5 %, тому вони підлягають збагаченню. Для збагачення використовують флотаційний метод, за допомогою якого вилучають до 90 % міді. Концентрати мають від 15 до 30 % міді. Виведення з концентратів вологи й сірки виконується в киплячому шарі (рис. 5.17). Роздрібнену

шихту, в якій концентрат, вапняк і кварц по транспортеру 4 подають в бункер 3, через дозатор 2 вивантажують на під 1. Під впливом повітря 7, яке подається в піч знизу, суміш піднімається в гору і в камері 5 при температурі 600 – 700 °С підтримується у зваженому псевдозрідженому стані. Шар частинок ніби кипить і кожна частинка має найкращий контакт з газами. Волога зникає, сірка окислюється, утворюються оксиди заліза, міді і сірчані гази, які вловлюють для одержання сірчаної кислоти.

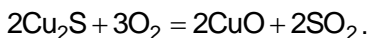
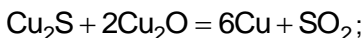
Концентрати після збагачення і випалення подають для одержання штейну – проміжного продукту для виробництва міді. Плавлення на штейн здійснюють у шахтних або полумєневих печах. Частіше використовують полумєневі печі, які мають довжину 28 – 29 м, ширину 9,0 м і площу поду від 170 до 240 м<sup>2</sup>.

Печі працюють на рідкому або газовому паливі і розвивають температуру до 1500 – 1600 °С, при якій сірчана мідь  $\text{Cu}_2\text{S}_2$  вступає в з'єднання з окисдною міддю і дає чисту мідь. Штейн має наступний склад: 20 – 50 % Cu, 20 – 40% Fe і 22 – 25 % S і до 8% кисню та домішок: золота, срібла, цинку, свинцю. На поверхні штейну накопичується шлак, у якому переважає оксидне залізо. Його зливають, а штейн подають в конвертер, де виділяють Fe і S і одержують чорнову мідь.

У процесі продування конвертера повітрям процес розподіляється на два періоди. У першому періоді окиснюються сульфати заліза:



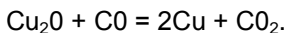
У другому періоді окиснюються сульфати міді:



Шлак зливають, а чорнова мідь має 98,5 – 99,5 % Cu, газ використовують для одержання сірчаної кислоти. Період бесемєрування залежить від місткості конвертера і складу штейну. У конвертері місткістю 40 т при 24 % Cu в штейні бесемєрування триває 15 годин.

Домішки міді (Fe, S, Ni, Co, Au, Ag), крім золота і срібла, дуже знижують її електропровідність, а сірка, вісмут, сурма і свинець знижують пластичність міді. Допустима кількість домішок не повинна перевищувати 0,05 – 0,1 %. Тому потрібне рафінування (очищення) міді. Рафінування виконують пірметалургійним та електролітичним способами.

Зміст пірометалургійного способу полягає у подачі через трубки в розплавлену мідь повітря. При цьому окиснюються домішки та мідь. Для вилучення сірчаного ангідриду і відновлення міді виконують операцію "дратування" спочатку вологими жердинами, що приводить до відділення  $\text{SO}_2$ , а потім обпаленими тестами, які відновлюють мідь за реакцією:



Після цього мідь розливають в анодові плити або виливки для подальшого електролітичного рафінування.

Електролітичне рафінування засноване на тому, що за встановленої напруги струму, який проходить через електроліт від анода до катода, анод почне розчинятись в електроліті, а на катоді буде осідати метал розчиненого анода. Нерозчинені домішки будуть випадати, утворюючи шлак.

Ванни є бетонними посудинами, вилуженими свинцем, до яких підведені шини з плюсовим полюсом – анодом і мінусовим – катодом. В одній ванні розміщують 20 – 40 анодів і на 1 більше катодів. Ванну заповнюють електролітом, у розчині якого 10 – 16 %  $\text{CuSO}_4$  (мідного купоросу) і 10 – 16 % сірчаної кислоти ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Сила струму досягає 10000 А, а щільність – від 100 до 300 А/м<sup>2</sup>. Катоди виймають через 10 – 12 днів, вони мають вагу від 60 до 90 кг кожний. Витрати електричної енергії – 250 – 300 кВт/год. на 1 т міді.

Існує також гідрометалургійний спосіб одержання міді, зміст якого полягає розчиненні і наступному осадженні міді з розчину, або вилученні з розчину міді шляхом електролізу. Залежно від чистоти мідь виплавляють п'яти марок М0 ... М4 з кількістю міді від 99 до 99,95 %.

Мідь використовують для одержання латуні, яка становить сплав міді з цинком, кількість якого може коливатися від 4 до 45 %. Цинк підвищує механічні й технологічні властивості міді. Визначення сплавів латуні: Л 96-латунь містить 96 % Cu і 4 % Zn або ЛМЖ-59-1-1 має 59 % Cu, 1 % Mn і 1 % Fe, а також 39 % Zn.

*Бронза* – це сплав міді з оловом, алюмінієм та іншими металами. *Алюмінієві бронзи* мають від 4 до 11 % Al і використовують їх для виготовлення листів, стрічок, прутків і проводів.

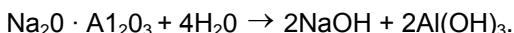
*Берилієва бронза* (до 2 % Be) використовується для виготовлення пружин, мембран. Визначення елементів у бронзі аналогічне до визначення в латуні. Наприклад, Бр. А-5 – це бронза з 5 % Al або Бр. АЖ-9-4 – це бронза, в якій 9 % Al і 4 % Fe, а інше – мідь 87 %.



Широке використання в техніці мають сплави з нікелем – мельхіором, а іноді з домішками незначних кількостей заліза, марганцю, цинку, кобальту, нейзильберу. Сплави використовують як хімічно стійкі до корозії для виготовлення точних приладів, годинників.

**Виробництво алюмінію.** Алюміній – найбільш поширений елемент у земній корі і займає майже 8 %. До руд алюмінію залучають боксити, каоліни, нефеліни та алуніти. У бокситах від 30 до 57 %  $Al_2O_3$ , у нефелінах – до 30 %  $Al_2O_3$ . Ці руди мають найбільше промислове значення. Технологічний процес одержання алюмінію має дві стадії: одержання  $Al_2O_3$  з руди і алюмінію, з  $Al_2O_3$  – глинозему.

Для одержання глинозему використовують три способи: лужний, кислотний і електротермічний. Найбільш поширений лужний спосіб, зміст якого полягає в тому, що роздрібнену руду промивають лугом в автоклаві при температурі 250 °С під тиском 25 – 30 атмосфер. При цьому утворюються розчини алюмінату натрію, домішки осідають, осад фільтрують. Шляхом гідролізу з розчину алюмінату отримують кристалічний гідроксид алюмінію, який підсушують, обезвожують, прожарюють і охолоджують. Відфільтрований водяний розчин алюмінату натрію спрямовують у спеціальні апарати – самовипарники, де відбувається гідроліз алюмінату натрію і відокремлюється гідроксид алюмінію:



Гідроксид алюмінію іде на фільтрування, потім його промивають і подають у печі, де при температурі 1200 °С прожарюють. Після прожарювання глинозем стає чистим:



Вихід глинозему з руди досягає 87 %. На виробництво 1 т глинозему необхідно 2 – 2,5 т бокситу, 70 – 90 кг NaOH, близько 120 кг вапна, 7 – 9 т пари, 160 – 180 кг мазуту і близько 280 кВт-год. електроенергії.

Глинозем має температуру плавлення 2050 °С, тому одержати з нього алюміній шляхом відновлення неможливо, оскільки при цьому виникають карбіди  $Al_4C_3$ , а в процесі електролізу із розчину солей на катоді відновлюється тільки водень.

Тому алюміній одержують електролізом із глинозему шляхом розчинення в розплавленому кріоліті –  $Na_3AlF_6$ . Сировиною для одержання кріоліту є плавиковий шпат  $CaF_2$ , а також гідрат оксиду алюмінію, сода і сірчана кислота. Для електролізу глинозему використовують електро-

лізні ванни, які застелені теплоізоляційною цеглою і вугільними блоками. У поді ванни змонтовані катодні шини. Зверху у ванну введені вугільні електроди, які виконують функції анода (рис. 5.18).

Використовують постійний струм напругою від 5 до 10 В і силою від 40000 до 150000 А. Струм використовують як для електрохімічного процесу, так і для підігрівання електроліту до 950 – 1000 °С. Під час електролізу кисень взаємодіє з вуглецем і утворює СО і СО<sub>2</sub>, які виводяться з ванни. Рідкий алюміній збирається на дні ванни, звідки його виливають в ківш. У процесі електролізу для одержання 1 т алюмінію необхідно 2 т глинозему, 100 кг кріоліту, 600 кг вугільних електродів і 16500 – 18500 кВт·год. електроенергії.

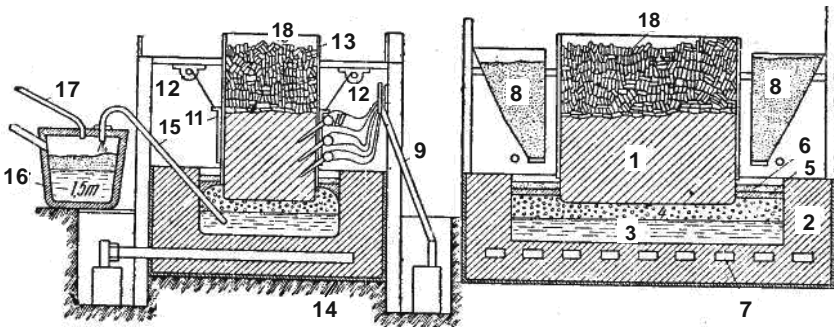


Рисунок 5.18 – Електролізна ванна для електролізу глинозему:

- 1 – вугільний анод; 2 – вугільна футеровка; 3 – рідкий алюміній;
- 4 – розплавлений електроліт; 5 – кірка електроліту; 6 – глинозем;
- 7 – катодні шини; 8 – бункер для завантаження глинозему у ванну;
- 9 – анодна шина; 10 – електроди для підведення струму до аноду;
- 11 – анодоутримувач; 12 – механізм для підйому аноду; 13 – кожух;
- 14 – корпус ванни; 15 – труба для відбору алюмінію з ванни;
- 16 – вакуумний ківш; 17 – труба для вакуумного насосу;
- 18 – анодно-вуглецева маса

Після електролізу в метали є домішки, які знижують властивості алюмінію. Тому його піддають рафінуванню, яке виконується двома способами: хлоруванням та електролітичним

Зміст хлорування полягає в продуванні алюмінію хлором в ковшах місткістю 1200 – 1300 кг за температурою 750 – 770 °С протягом

10 – 15 хвилин. При цьому домішки (глинозем, кріоліт, гази та ін.) виділяються із алюмінію, а також втрачається до 1 % алюмінію. Рафінований алюміній розливають у зливки.

Електричний спосіб рафінування використовують для одержання алюмінію високої чистоти. При цьому способі рафінування Al підлягає анодному розчиненню, а чистий алюміній виконує функції катоду. Між анодним і чистим алюмінієм як електроліт використовують хлористі та фтористі солі. У металі до 99,8 – 99,9 % алюмінію.

Сплави алюмінію поділяють на дві групи: перша група – ливарні сплави, силуміни, в яких міститься до 13 % кремнію і незначні домішки міді та магнію. Вони мають високі механічні та ливарні властивості, стійкі проти корозії, досить легкі, друга група об'єднує сплави дюралюмінію, до складу яких входять мідь, магній, марганець. Ці сплави мають високу тривкість, добре обробляються тиском, прокатуванням, штампуванням, мають широке використання в авіації і машинобудуванні та в будівельній індустрії.

### **Методичні рекомендації до виконання практичних завдань**

***Розрахунок матеріального балансу доменної печі.*** Для виплавлення 100 кг чавуна, в якому міститься 97 кг заліза Fe і 3 кг вуглецю C, потрібно 175 кг залізної руди, 55 кг коксу та 25 кг флюсу (вапняку). У результаті виплавлення отримують також 65 кг шлаку (табл. 5.2).

Ціна за 1 тону: залізної руди – 2000 грн, коксу – 4000 грн, вапняку – 400 грн, чавуну – 5500 грн, шлаку – 500 грн.

*Розрахувати:*

- 1 – процент заліза Fe в залізній руді;
- 2 – масу шихти (сума мас залізної руди, коксу та вапняку);
- 3 – процент залізної руди в шихті;
- 4 – процент коксу в шихті;
- 5 – процент вапняку в шихті;
- 6 – процент чавуна відносно до маси шихти;
- 7 – ціну використаної залізної руди;
- 8 – ціну використаного коксу;
- 9 – ціну використаного вапняку;
- 10 – ціну виплавленого чавуну;
- 11 – ціну шлаку.

*Розв'язок:*

1.  $(97 : 175) \cdot 100 = 55,4 \%$ .
2.  $175 + 55 + 25 = 255$  кг.
3.  $(175 : 255) \cdot 100 = 68,6 \%$ .
4.  $(55 : 255) \cdot 100 = 21,6 \%$ .
5.  $(25 : 255) \cdot 100 = 9,8 \%$ .
6.  $(97 : 255) \cdot 100 = 38 \%$ .
7.  $2\,000 \cdot 0,175 = 350$  грн.
8.  $4\,000 \cdot 0,55 = 220$  грн.
9.  $400 \cdot 0,025 = 10$  грн.
10.  $5\,500 \cdot 0,100 = 550$  грн.
11.  $500 \cdot 0,025 = 12,5$  грн.

Таблиця 5.2 – Матеріальний баланс доменної печі

Подано у піч		Отримано із печі		
Шихта	175 кг	Чавун		100 кг
Кокс	53 кг	Шлак		62 кг
Вапняк	23 кг	Газ		313 кг
Природний газ	7 кг			
Повітряне дуття для спалювання коксу	185 кг			
Повітряне дуття для спалювання газу	32 кг			
Усього:	475 кг			475 кг

### **Виконати завдання**

**Завдання 1.** Намалювати схему процесів у технологічній системі виготовлення чавуну.

**Завдання 2.** Складові шихти для завантаження у доменну піч. Можливі варіанти.

**Завдання 3.** Яких значень досягають техніко-економічні показники доменної печі: коефіцієнт використання корисного обсягу  $K_{\text{вкю}}$  печі та витрата коксу?

**Завдання 4.** Визначити матеріальний баланс доменної печі.

**Завдання 5.** Намалювати схему процесів виготовлення сталі.

**Завдання 6.** Описати можливі варіанти складу шихти та обладнання для виробництва сталі.

**Завдання 7.** Перерахувати переваги та недоліки різних способів виробництва сталі.

## Контрольні питання

1. Наведіть характеристику залізних руд.
2. У чому полягає підготовка руд до плавки? Назвіть основні способи підготовки руд.
3. Нарисуйте профіль доменної печі, назвіть основні її елементи.
4. У чому суть доменного процесу?
5. Наведіть характеристику основних продуктів доменного виробництва.
6. Основні відомості щодо методів одержання чавуну та ресурсоенергозбереження.
7. Сфера застосування чавунів, їхня класифікація. Особливі властивості, що відрізняють чавун від інших чорних металів.
8. Що становить процес збагачення залізної руди?
9. У чому суть процесу виплавки сталі?
10. Охарактеризуйте суть і процес виплавки сталі в конвертері, мартенівській та електричній печах. У чому перевага та недоліки цих способів, перспективи їх розвитку?
11. За якими ознаками класифікують сталі?
12. Наведіть класифікацію і характеристику вуглецевих і легованих сталей.
13. Які шкідливі домішки знижують якість сталі і як від них позбавитися?
14. Які особливості маркування легованих сталей?
15. Які сталі відносять до спеціальних?
16. У чому відмінність маркування якісних вуглецевих сталей від легованих?
17. Як маркують сталі звичайної якості?
18. Як відрізняються за вмістом вуглецю сталі та чавуну?
19. Як впливає вміст вуглецю на механічні властивості сталі?
20. Які існують способи виготовлення порошків металів?
21. Що включає продукція порошкової металургії?
22. Які метали відносяться до кольорових металів?
23. У чому суть процесу виробництва міді?
24. Наведіть класифікацію та характеристику мідних сплавів.
25. У чому суть процесу виробництва алюмінію?
26. Наведіть класифікацію та характеристику алюмінієвих сплавів.

## Робота 6. Матеріали у промисловому виробництві та їх властивості

**Мета роботи** – ознайомити студентів із різними матеріалами та їх основними фізичними, хімічними і технологічними властивостями.

### *Загальні відомості*

#### **Основні фізичні, хімічні та технологічні властивості матеріалів**

Для управління властивостями металів широко використовують їх нагрівання, яке застосовують під час виробництва заготовок, обробки їхніх поверхонь, під час складання нерознімних з'єднань, під час ремонту машин. Тому необхідно знати властивості металів і сплавів, уміти їх контролювати та управляти їхньою зміною на всіх стадіях виробництва, експлуатації та ремонту машин [77].

Контрольні операції супроводжують усі етапи виробництва машин: від отримання сировини, напівфабрикатів до експлуатації та ремонту виробів. Так, під час виробництва заготовок контролюють переважно: механічні властивості металу, хімічний склад матеріалу, лінійні та кутові значення розмірів. Під час обробки поверхонь деталей контролюють точність розмірів, відхилення форми та розташування поверхонь, їхню шорсткість. Під час складання та ремонту машин контролюють точність розмірів та інші спеціальні характеристики поверхні, функції деталей, вузлів, виробів.

*Метал* – це кристалічна речовина, непрозора, електро- і теплопровідна, пластична, під час нагрівання випромінює електрони та може або зміцнюватися, або не зміцнюватися, у разі пластичної деформації здатний зміцнюватися. Метали частіше застосовують не в чистому вигляді, а в з'єднанні з іншими металами та неметалами, тобто у вигляді сплавів, що характеризуються більш цінними властивостями, ніж метали в чистому вигляді.

Метали ділять на дві основні групи: *чорні та кольорові*. До чорних металів належить залізо та сплави на його основі (чавун, сталь). До цієї групи належать і феросплави. Кольорові метали – мідь, алюміній, магній, свинець, цинк, олово, титан, нікель, молібден, кобальт, вольфрам, тобто всі метали окрім заліза та сплавів на його основі.

*Будова металів і сплавів.* Розрізняють аморфну та кристалічну будову твердих речовин.

Аморфний стан допускає хаотичне розташування атомів (смола, клей, скло, каніфоль, метали та ін.).

Кристалічний стан допускає, що атоми (іони, молекули) можуть розташовуватися у просторі у чіткому порядку, що повторюється (такий стан характерний для металів). Виділяють просторові кристалічні ґратки, основні з яких показано на рис. 6.1: кубічна об'ємноцентрована (а); кубічна грансцентрована (б) та гексагональна (в).

Відстань між атомами вимірюється ангстремами (Å) та складає 4 ... 8 Å ( $1\text{Å} = 10^{-8}\text{ см}$ ).

На властивості металу впливають: розташування атомів, між-атомна відстань і насиченість атомами.

Кристалізація металів і сплавів – це процес утворення кристалічних ґраток під час переходу металу з рідкого в твердий стан.

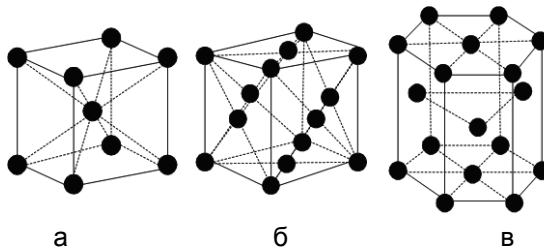


Рисунок 6.1 – Типи кристалічних ґраток

Процеси охолодження металів, що знаходяться у рідкому стані, та неметалів відрізняються характерними кривими. Під час охолодження металів до певної температури, за якої відбувається кристалізація, крива охолодження має сходику, температура не спадає, оскільки під час кристалізації виділяється тепло. Неметали мають характерну криву без чітко вираженої температури "кристалізації".

Методи вивчення структури металів: неруйнівні та такі, що руйнують (макро- та мікроаналіз, рентгенівський аналіз, спектральний аналіз, термічний аналіз, рентгенівська магнітна й ультразвукова дефектоскопія).

Макроаналіз допускає використання інструменту – скло збільшувальне (вивчають макротріщини, раковини, тобто крупні дефекти).

Мікроаналіз допускає використання мікроскопа (вивчають мікро-структуру, мікротріщини та ін.).

Рентгенівський аналіз дозволяє вивчати структуру металів за допомогою рентгенівського апарату.

Магнітний метод дозволяє вивчати дефекти у магнітних металах.

Розрізняють *фізичні, хімічні та технологічні* властивості металів і сплавів. До *фізичних* властивостей відносять: механічні, оптичні (колір та ін.), щільність, температуру плавлення, теплопровідність, теплове розширення, теплоємність, електропровідність, магнітні властивості.

Властивості, що характеризують здатність металу чинити опір дії зовнішніх сил, називають *механічними* (зовнішні навантаження: статичні, динамічні, зокрема циклічні). Виділяють характеристики міцності, твердості, пластичності, пружності та в'язкості.

*Міцність* характеризує опір матеріалу пластичній деформації, що виникає під дією прикладеної сили. Її характеристиками є умовні числа – межі, що встановлюються під час механічних випробувань.

Найчастіше застосовують випробування на розтягання, у процесі яких спеціально виготовлені циліндричні або плоскі стандартні зразки (розміром  $20 \times 20 \times 220$  мм) розтягають на розривній машині. Під час випробування машина вимальовує діаграму розтягання у координатах: подовження зразка  $\Delta l$  (у мм) від величини прикладеної сили  $P$  (у Н), рис. 6.2,а. Після опрацювання цієї діаграми будують діаграму напружень (рис. 6.2,б) і знаходять відповідні межі, які є характеристиками міцності.

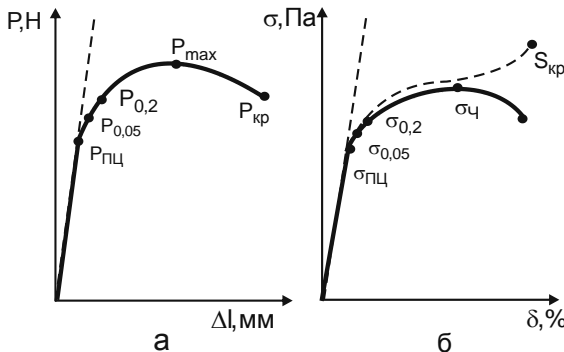


Рисунок 6.2 – Діаграми розтягання (а) та напружень (б) у процесі механічних випробувань



Напруження  $\sigma$  (у Па) обчислюють, поділивши силу  $P$  на початкову площу поперечного перетину зразка  $p_0$ , і відкладають на осі ординат. На осі абсцис – відносні видовження  $\delta$  %, які обчислюють діленням абсолютного видовження зразка  $\Delta l$  на його початкову довжину  $l_0$ . Абсолютне видовження є різницею між довжиною зразка у момент вимірювання  $l_1$  і початковою довжиною  $l_0$ :  $\Delta l = l_1 - l_0$ .

Випробовуючи зразок на розтягання, визначають такі основні характеристики міцності, як межі пропорційності, пружності та пластичності, часовий (межа міцності) та дійсний опір розриву.

Межа пропорційності  $\sigma_{пр}$  є найбільшим напруженням, після якого деформація залишається ще пружною, але порушується пропорційність між навантаженням і деформацією (рис. 6.2,б):

$$\sigma_{пр} = \frac{P_{пр}}{p_0}.$$

Умовною межею пружності  $\sigma_{0,05}$  приймають напруження, за якого залишкове видовження зразка становить 0,05 % від початкової довжини  $l_0$ :

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}.$$

Фізична межа пластичності  $\sigma_{пл}$  є напруженням, за якого зразок деформується без збільшення навантаження  $P_{пл}$ :

$$\sigma_{пл} = \frac{P_{пл}}{F_0}.$$

Ця межа характерна для незагартованих сталей. Умовна межа пластичності  $\sigma_{0,2}$  є напруженням, за яким залишкове видовження зразка становить 0,2 % від його початкової довжини.

Часовий опір, або межа міцності  $\sigma_{ч}$  – це напруження, створюване у зразку найбільшим навантаженням  $P_{max}$ , яке досягається під час його дослідження перед руйнуванням:

$$\sigma_{ч} = \frac{P_{max}}{F_0}.$$

Дійсний опір розриву  $\sigma_{кр}$  – це напруження, створюване у матеріалі під час руйнування зразка. Для його обчислення потрібно

навантаження у момент руйнування зразка  $P_{кр}$  поділити на площу поперечного перетину  $P_{кр}$  у місці розриву:  $\sigma_{кр} = P_{кр} / F_{кр}$ .

Пластичністю називається здатність матеріалу до пластичної деформації. Її характеристиками є відносне видовження  $\delta$ , %, і відносне звуження  $\psi$ , %, які обчислюються за формулами:

$$\delta = \frac{l_{кр} - l_0}{l_0} \cdot 100;$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_{кр}}{F_0} \cdot 100,$$

де  $l_{кр}$  і  $P_{кр}$  – довжина зразка у зруйнованому стані та площа його поперечного перетину в місці руйнування – шийці.

Ударна в'язкість матеріалу показує його здатність чинити опір руйнуванню під час ударного прикладання навантаження  $P$ . Її визначають за результатами ударного руйнування на маятниковому копрі спеціального брускового зразка із надрізом (рис. 6.3). Ударну в'язкість  $K_{CU}$  обчислюють діленням витраченої на руйнування зразка роботи  $A$  на площу його робочого перетину  $F$ , тобто  $K_{CU} = A/F$ .

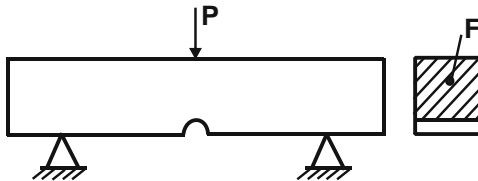


Рисунок 6.3 – Зразок для визначення ударної в'язкості

*Твердість* – це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього (під дією сили) наконечника із іншого, твердішого матеріалу. Під час проникнення наконечника в матеріалі відбувається локальна пластична деформація. Отже, твердість матеріалу – це його опір зосередженій (локальній) пластичній деформації.

Твердість вимірюють спеціальними приладами – твердомірами. Найбільш поширеним методом вимірювання є втискування стандартного наконечника–ідентора в поверхню зразка з досліджуваного матеріалу. Знайшли застосування три статичні методи випробувань (вимірювань) твердості матеріалу, які названо іменами їхніх винахідників.

**Метод Брінеля.** Для вимірювання використовують прилад ТШ. Ідентором служить загартована сталева кулька (рис. 6.4,а), яка під певним навантаженням  $P$  протягом певного часу втискується у матеріал, залишаючи на його поверхні ямку діаметром  $d$ . Оскільки глибина і діаметр ямки залежать від опору матеріалу пластичній деформації, викликаній кулькою, що проникає у матеріал, то мірою твердості, за Брінелем, вважають число, яке дорівнює відношенню сили  $P$  до площі сферичної поверхні ямки  $F$ :

$$HB = \frac{P}{F} \quad \text{або} \quad HB = \frac{2 \cdot P}{(\pi \cdot D) \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Вимірюючи твердість на практиці, її значення не обчислюють за наведеною формулою, а знаходять у спеціальній таблиці за вимірним лупою діаметром відбитка  $d$ . У таблиці проти значень  $d$  зазначені відповідні значення твердості  $HB$ .

Твердість, за Брінелем, оцінюють у мегапаскалях (МПа). Якщо матеріал має дуже високу твердість, особливо коли вона вища за твердість кульки приладу Брінеля, то для її вимірювання користуються приладом Роквела, наконечник якого оснащений конусом, виготовленим із найтвердішого матеріалу – алмазу (рис. 6.4,б).

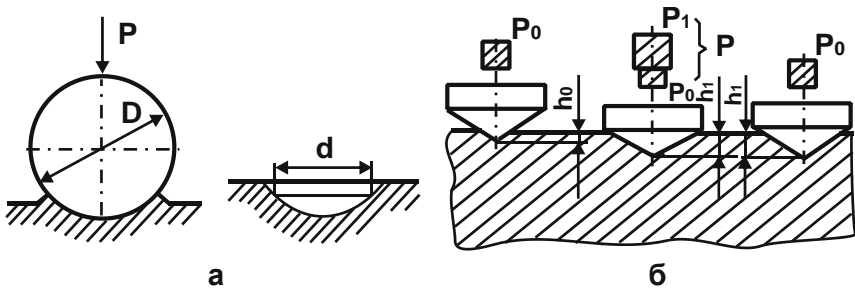


Рисунок 6.4 – Схема вимірювання твердості металу:  
а – за методом Брінеля; б – за методом Роквела

**Метод Роквела.** У поверхню металу вдавлюють кульку діаметром 1,59 мм або алмазний конус із кутом  $120^\circ$  у вершини; позначають HRC або HRA залежно від навантаження під час випробування алмазним конусом і HRB під час втискування сталєвої кульки.

Приладом Роквела користуються також для вимірювання твердості порівняно м'яких матеріалів. До його комплексу входить наконечник, оснащений сталеву кулькою діаметром 1,5875 мм.

Вимірювання твердості за Роквелом складається із трьох етапів (рис. 6.4,б). На першому етапі наконечник проникає у матеріал на глибину  $h_0$ , мм, створювану вручну попереднім навантаженням  $P_0$ , що дорівнює 100 Н. Потім прикладають основне навантаження  $P$ , яке включає, крім попереднього, додаткове навантаження  $P_1$ , що становить 500, 1400 або 900 Н залежно від роду випробуваного матеріалу. Під цим навантаженням наконечник протягом певного часу проникає у матеріал на деяку глибину  $h_1$ .

На третьому етапі за додатковим навантаженням  $P_1$  і збереженим попереднім навантаженням  $P_0$  проводять відлік твердості. Для цього на приладі є індикатор із стрілкою і двома шкалами – чорною та червоною. За чорною шкалою встановлюють твердість, виміряну алмазним конусом, а за червоною – сталеву кулькою. Шкали нанесено на диск. Кожна поділка відповідає проникненню наконечника на глибину 0,002 мм. Числа твердості, встановлені за чорною шкалою, для повного навантаження ( $P_0 + P_1$ ), що дорівнює 1500 Н, позначаються HRC, а для навантаження 600 Н – HRA. Твердість, яку вимірюють кулькою, позначається HRB (навантаження – 1000 Н).

Твердість, яку показують стрілки на шкалах, обчислюють за формулами:

$$\text{HRC} \cdot (\text{HRA}) = 100 - \frac{(h - h_0)}{0,002};$$

$$\text{HRB} = 130 - \frac{(h - h_0)}{0,002},$$

де  $h$  – залишкова глибина проникнення після зняття додаткового навантаження  $P_1$ ;

$h_0$  – глибина проникнення при попередньому навантаженні  $P_0$ .

**Метод Вікерса.** У поверхню металу вдавляють алмазну чотиригранну піраміду із кутом  $136^\circ$  у вершини та позначають HV. Метод призначено для вимірювання твердості поверхневого шару загартованих сталей, тонких покриттів тощо.

*Оптичні властивості металів* – це поглинання, здібність відбивати та випромінювати світло поверхнею металу.

*Колір* – здатність поверхні тіла відбивати світло.

*Щільність* – маса металу в одиниці об'єму.

*Температура плавлення* – температура процесу переходу металу із твердого у рідкий стан.

*Теплопровідність* – здатність тіла проводити тепло під час нагрівання та віддавати під час охолодження.

*Теплове розширення* – здатність тіл під час нагрівання розширюватися.

*Теплоємність* – кількість тепла, яке необхідно підвести до 1 кг металу, щоб підвищити його температуру на 10 °С.

*Електропровідність* – здатність тіла проводити електричний струм.

*Магнітні властивості* – здатність металу намагнічуватися.

*Хімічні властивості металів* – це здатність металів і сплавів чинити опір окисленню або вступати в з'єднання з різними речовинами, киснем повітря, вуглекислотою, вологою, лугами та ін.

Хімічне руйнування металу під впливом навколишнього середовища називають *корозією металу*.

Метали, стійкі до окислення при нагріві, називають *жаростійкими*. *Жароміцність* – це здатність металу зберігати свою структуру під час підвищення температури до високих значень.

**Випробування металів на ударну в'язкість, утому, повзучість.** *Ударну в'язкість* визначають на маятникових копрах, де автоматично фіксується кут підйому маятника після руйнування стандартного зразка, потім за таблицею знаходять роботу удару, витрачену на злам зразка (у Дж).

Циклічні випробування на *утому* проводять для тих матеріалів і деталей, які працюють в умовах багатократних повторно-змінних навантажень (пружини, ресори, шатуни та ін.).

*Повзучість* оцінюють за високих температур (деталі газових турбін, трубопроводи).

*Технологічні властивості металів:* обробка різанням, рідкотекучість, зварюваність, здатність пластично деформуватись. Технологічні властивості оцінюють також за технологічних проб: проба на вигин (для стрічок, листів); проба на навивання (для дроту); проба на сплющення (для труб). Всі випробування металів регламентуються Державними стандартами. Цими документами регламентуються також розміри і форма матеріалів, напівфабрикатів, що виготовляються у прокатному

виробництві та використовуються у промисловому виробництві під час виготовлення виробів.

### **Основні відомості із теорії сплавів**

*Металеві сплави* – тіла, отримані сплавом металів із металами або з неметалами. Приклад: латунь – сплав міді із цинком; сталь і чавун – сплав заліза із вуглецем.

Під час затвердіння рідкого металу може утворитися механічна суміш, твердий розчин і механічне з'єднання. Механічні суміші мають високі ливарні властивості (у суміші знаходяться кристали всіх компонентів). Хімічні сполуки мають високу твердість (кристали хімічної сполуки мають абсолютно нові властивості порівняно з кристалами компонентів).

Сплави кристалізуються за певного інтервалу температур (критичні точки). Між цими точками сплав знаходиться в рідкому та твердому стані.

Для управління властивостями сплавів будують їхню діаграму стану – залежність структури від температури сплаву та від концентрації основних елементів. На рис. 6.5 показано діаграму стану сплавів залізо-вуглець (сталь, чавун).

Структурні складові залізівуглецевих сплавів: аустеніт, ферит, цементит, перліт, ледебурит.

*Аустеніт* – твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі (НВ = 200), температура утворення більш 723 °С.

*Ферит* – твердий розчин вуглецю в  $\gamma$ -залізі (найм'якша структура сталі НВ = 100), температура утворення більш 723 °С.

*Цементит* – карбід заліза  $Fe_3C$ . Найтвердіша структура сталі НВ = 800.

*Перліт* – рівномірна механічна суміш фериту з цементитом, що містить 0,8 % вуглецю. Температура утворення 723 °С.

*Ледебурит* складається із перліту і цементиту.

На рис. 6.5 ділянки позначено римськими цифрами.

У практиці діаграмою стану залізо-вуглець користуються не тільки для отримання заданих (первинних або кінцевих) структур у сплаві, але і для визначення теплового режиму під час термічної обробки, температури нагріву металу в умовах обробки тиском (кування, штампування тощо), а також для визначення температурних меж під час цих операцій.

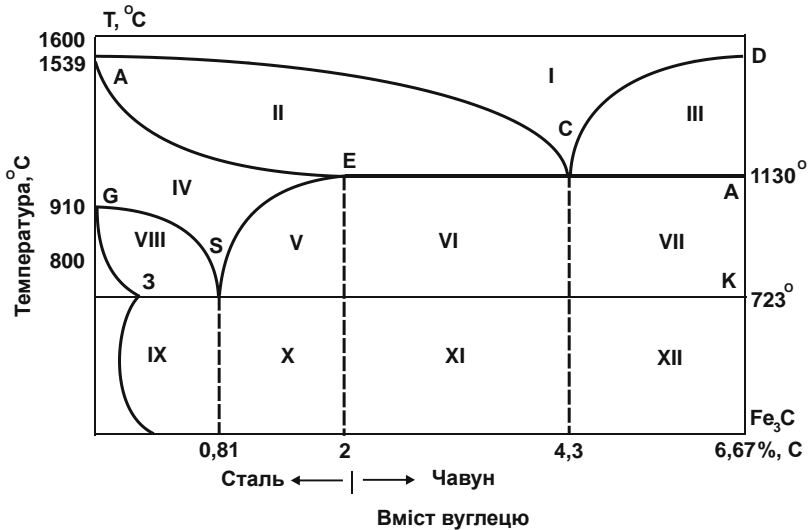


Рисунок 6.5 – Діаграма стану залізо-вуглецевих сплавів (Fe – Fe<sub>3</sub>C):  
 I – рідкий стан сплаву; II – рідкий стан сплаву з включеннями твердих кристалів аустеніту; III – рідкий стан сплаву з твердими кристалами хімічної сполуки Fe<sub>3</sub>C; IV – метал знаходиться в одній фазі – аустеніт; V, VI, VII – ділянки діаграми, обмежені лініями SECF і SNK, містять механічну суміш твердих кристалів аустеніту і цементиту; VIII – ця ділянка характеризується механічною сумішшю кристалів аустеніту із феритом; IX – має перліт + ферит; 0,8 % C – перліту; X – перліт + цементит вторинний; XI – ледебурит + перліт + цементит вторинний; XII – ледебурит + цементит вторинний.

### Контрольні питання

1. Поясніть основні фізичні, хімічні та технологічні властивості металів, пластмас, що використовують у виробництві.
2. Як встановлюють числа твердості та за допомогою яких приладів?
3. Поясніть основні структурні складові залізобуглецевих сплавів.
4. Які матеріали використовують у промисловому виробництві?
5. Назвіть методи вивчення структури металів.
6. Поясніть сутність методу Вікерса.
7. Як здійснюють випробування металів на ударну в'язкість?

## Робота 7. Види заготовок деталей машин і способи їхнього отримання

**Мета роботи** – ознайомити студентів із сучасними способами отримання заготовок деталей машин, устаткуванням і оснащенням для їх виготовлення.

### **Загальні положення**

#### **Основні види заготовок деталей машин**

Сучасне заготівельне виробництво має у своєму розпорядженні можливість формувати заготовки самої складної конфігурації та всіляких розмірів і точності. У нинішній час середня трудомісткість заготівельних робіт у машинобудуванні становить 40 – 45 % загальної трудомісткості виробництва машин. Головна тенденція в розвитку заготівельного виробництва полягає в зниженні трудомісткості механічного оброблення під час виготовлення деталей машин за рахунок підвищення точності їхньої форми та розмірів [12, 33, 48, 49, 77].

*Заготовкою* називається предмет праці, із якого зміною форми, розмірів, властивостей поверхні й (або) матеріалу виготовляють деталь.

Розрізняють три основних види заготовок: *машинобудівні профілі, штучні та комбіновані*. Машинобудівні профілі виготовляють постійного перетину (наприклад, круглої, шестигранної форми) або періодичного перетину. У крупносерійному та масовому виробництві застосовують також спеціальний прокат. Штучні заготовки одержують литтям, куванням, штампуванням або зварюванням. У цьому випадку можна знизити масу заготовки, а для більш навантажених елементів використовувати найбільш ефективні матеріали.

Заготовки характеризуються конфігурацією та розмірами, точністю отриманих розмірів, станом поверхні та ін.

Форми й розміри заготовки у значній мірі визначають технологію як її виготовлення, так і наступної обробки. Точність розмірів заготовки є найважливішим показником, що впливає на вартість виготовлення деталі. До того ж бажано забезпечити стабільність розмірів заготовки у часі та у межах партії, що виготовляється. Форма та розміри заготовки, а також стан її поверхонь (наприклад, відбілювання чавунних виливків,



шар окалини на куваннях) можуть суттєво впливати на наступну обробку різнанням. Тому для більшості заготовок необхідна попередня підготовка, яка полягає у тому, що їм надається такий стан або вид, за якого можна здійснювати механічну обробку на металоріжучих верстатах. Особливо ретельно ця робота виконується, якщо подальша обробка здійснюється на автоматичних лініях або гнучких автоматизованих комплексах. До операцій попередньої обробки відносять: зачищення, виправлення, обдирання, розрізування, центрування, а іноді й обробку технологічних баз.

Спосіб одержання тієї або іншої заготовки залежить від службового призначення деталі та вимог, пропонує до неї, від її конфігурації і розмірів, виду конструкційного матеріалу, типу виробництва та інших чинників. Тому розглянемо технології виготовлення заготовок.

### **Заготовки, отримані ливарним способом**

Сутність ливарного виробництва полягає у тому, що фасонну деталь або заготовку виготовляють заливанням рідкого металу необхідного складу в ливарну форму, порожнина якої за розмірами та конфігурацією відповідає деталі. Такі деталі називають *виливками*.

Литтям одержують заготовки практично будь-яких розмірів як прості, так і дуже складної конфігурації. За цих умов вилівки можуть мати складні внутрішні порожнини із криволінійними поверхнями, що перетинаються під різними кутами. Точність розмірів і якість поверхні залежать від способу лиття. Деякими спеціальними способами лиття (лиття під тиском, за виплавлюваними моделями) можна одержати заготовки, що вимагають мінімальної механічної обробки.

Вилівки можна виготовляти практично із усіх металів і сплавів. Механічні властивості вилівка значною мірою залежать від умов кристалізації металу у формі. У деяких випадках усередині стінок можливе утворення дефектів (усадочні рихлоти, пористість, гарячі та холодні тріщини), які виявляються тільки після чорнової механічної обробки під час зняття ливарної кірки.

До складу ливарного цеху входять такі відділення: модельне, землепідготовче, стержневе, формувальне, плавильне, вибивальне, обрубне, очисне.

У модельному відділенні виготовляють модельний комплект, у землепідготовчому – формову та стержневу суміші, у формувальному

– ливарну форму, у стержневому – стержень, у плавильному – одержують рідкий метал, у вибивальному – вибивають виливки, у обрубному – обрубують виливки від пригарів, у очисному – виконують очищення виливків від різноманітного сміття.

Для отримання виливків виконують такі основні операції: виготовлення ливарної форми (рис. 7.1); виплавлення металу; заливання металу у форму; затвердіння металу й охолодження виливка; вибивання виливка із форми; обрубвання й очищення виливка; термічна обробка виливка; контроль за якістю виливка та здавання його на механічну обробку. У процесі виконання операцій необхідно забезпечувати високий рівень якості виливка за всіма показниками, у тому числі точністю розмірів і чистотою поверхні, сприятливу структуру металу, відсутність зовнішніх й внутрішніх ливарних та металургійних дефектів.

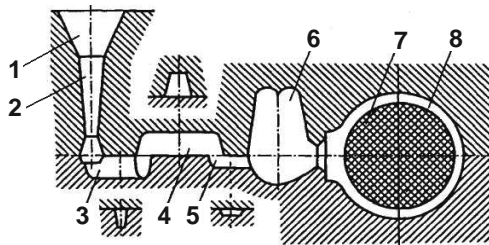


Рисунок 7.1 – Схема ливарної форми: 1 – ливникова чаша; 2 – стояк; 3 – дросель; 4 – шлаковловлювач; 5 – живильник; 6 – бічний прибуток; 7 – стержень; 8 – робоча порожнина

*Ливарна форма* – це пристрій, призначений для заливання металу та утворення виливка. Вона має робочу порожнину, де формується тіло заготовки, а також ливникову систему, яка забезпечує підведення металу до робочої порожнини у процесі кристалізації.

Конфігурація та розміри робочої порожнини повинні відповідати формі й розмірам виготовлюваного виливка. Слід мати на увазі, що розміри порожнини мають бути більшими за розміру виливка на величину ливарної усадки металу. Разом із тим, розміри виливка повинні бути більшими за розміри деталі на величину технологічного припуску, що знімається під час механічної обробки. Отже, остаточні розміри робочої порожнини ливарної форми відповідають розмірам деталі, припуску на

механічну обробку та на ливарну усадку металу. Всередині вилівка, а також на його зовнішній поверхні можуть бути отвори, порожнини та виїмки. Складаючи форму, встановлюють відповідні керамічні або металеві елементи, які називаються стержнями. Ці елементи видаляють із вилівки у процесі вибивання, після чого в ньому залишаються заглиблення або отвори. Ливникова система має чашу (лійку); стояк; дросель, який регулює швидкість заливання та запобігає створенню вакууму в стояку; шлаковловлювач, розташований у верхній опоці для затримування неметалевих включень; живильник, який подає метал у робочу порожнину безпосередньо або через прибуток. Прибуток живить тіло вилівки під час охолодження та кристалізації металу і запобігає утворенню у ньому свищів. Прибутки можуть бути верхнього або бічного розташування.

Види лиття відрізняються за матеріалом ливарної форми та за способом подавання до неї металу. Більш суттєво вони відрізняються за точністю розмірів і чистотою поверхні виливків, а також за продуктивністю і ступенем складності технологічного процесу. Виділяють дві групи лиття: *в піщано-глинисті разові форми та спеціальні види*.

*Виготовлення виливків у разових формах.* Це найбільш простий і поширений спосіб отримання литих заготовок. Процес виготовлення виливків у разові піщані форми складається із таких операцій: виготовлення модельних комплектів, приготування формувальних і стержневих сумішей. При цьому відбувається формування ливарних форм і стержнів, сушіння стержнів і форм, складання форм, приготування рідкого металу, заливання форм металом, вибивання виливків із форм і стержнів, обрубання ливникової системи і очищення виливків, термічна обробка виливків, контроль і виправлення дефектів готового вилівка.

Разову ливарну форму виготовляють у рамках, які називають *опоками*. Нижня і верхня опоки з'єднуються одна з одною штирями, що їх центрують. Матеріалами для виготовлення форм у цьому разі є формувальні суміші, що складаються із піщаної основи, до якої додають зв'язувальні матеріали: глину і воду. Крім того, у суміш вводять проти-пригарні домішки – мелене кам'яне вугілля, маршаліт (пилоподібний кварц), мазут та інші речовини, які сприяють поліпшенню якості вилівка (дерев'яні стружки, сульфітно-спиртову барду).

Для виготовлення стержнів використовують стержневі суміші, що складаються переважно із піску, зв'язаного спеціальними речовинами –

фіксажами, якими є олія із льону, сульфїтна барда, декстрин, канїфоль тощо. Стержні виготовляють у спеціальних пристроях – стержневих ящиках – і обов'язково сушать.

Ливникова система разової форми (рис. 7.2) складається із ливникової чаші 1, стояка 2, шлаковловлювача 3 і живильників 4. Вона забезпечує швидке заповнення форми рідким металом, правильне його твердіння у формі, повинна мати малу вагу, а також легко відокремлюватися від виливка.

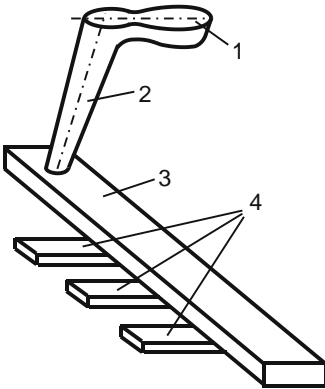


Рисунок 7.2 – Ливникова система

Складену форму заливають спеціальним ковшем через ливникову систему і залишають на місці заливання до закінчення кристалізації й охолодження тіла виливка. Потім опоки розкріплюють і на спеціальній установці вибивають виливок із форми. Після цього здійснюють процеси обрубвання й очищення, під час яких від виливки відокремлюють ливникову систему із прибутками, видаляють залишки формувальної та стержневої сумішей і очищають поверхню виливка від різних дефектів. Термічна обробка, яку проводять потім, має на меті усунення грубо-

зернистої і дендритної структури металу та ливарних напружень і підготовку виливка до механічної обробки.

Машинне формування використовують у масовому і серійному виробництві дрібних і середніх виливків. Воно підвищує продуктивність праці й точність виливків, економить 10 – 15 % металу шляхом зменшення припуску на обробку, забезпечує виготовлення взаємозамінних деталей. Машини забезпечують механізоване виконання таких операцій: наповнення опок формувальною сумішшю, ущільнення формувальної суміші, відділення моделей від форм, складання і транспортування форм до місця заливання. Для виконання операцій ущільнення сумішей використовують такі машини: пресові, струшувальні та піскомети. Пресові машини виконують операції ущільнення за 4 – 5 с і є найпродуктивнішими. Машини для ущільнення шляхом струшування – універсальні, їх використовують для виготовлення напівформ масою до 40 т.

Піскомети одночасно наповнюють опоки формовою сумішшю і ущільнюють її. Вони достатньо продуктивні, тому їх використовують для набивання великих і середніх опок.

Заливання форм металом виконують за допомогою ливарних ковшів місткістю від 40 до 100 кг. Розливання виконують спокійно, не перериваючи струменя металу так, щоб ливникова чаша весь час була заповнена металом.

Вибивають виливки із форм після повного затвердіння металу і достатнього охолодження виливків, щоб запобігти утворенню напружень у процесі швидкого охолодження на повітрі. Вибивання виливків із форм супроводжується значним виділенням пилу, газів і тепла. Для вибивання застосовують вібраційні коромисла або решітки (у масовому виробництві дрібних і середніх виливків).

Обрубують ливникову систему пневматичними зубилами, нерівності поверхні зачищають абразивними кругами.

Очищають виливки від пригорілої формової суміші вручну стальними щітками, ручними або пневматичними зубилами, у серійному виробництві це роблять у обертальних барабанах, дробустріминними і дробуметальними апаратами або сильним струменем води із піском.

Основні види браку: газові, піщані та шлакові свищі, усадні свищі, холодні та гарячі тріщини, недолив. Брак виливків виправляють: наплавленням, заварюванням, забиванням замазками або мастилами, просоченням розчину нашатиру, мідного купоросу, рідкого скла або бакелітового лаку.

Лиття у піщано-глинисті форми економічно доцільно за будь-яким способом виробництва для деталей будь-якої маси і конфігурації, будь-яких габаритів, для отримання виливок практично із усіх ливарних сплавів. Змінюючи спосіб формування, використовуючи різні матеріали моделей і склади формувальних сумішей, можна отримати виливки із достатньо точними розмірами, чистою поверхнею, що не вимагає подальшої механічної обробки. Так, застосовуючи спосіб лиття у піщано-глинисті форми, можна отримати виливку із точністю, що відповідає 14 – 17 квалітетам обробки.

У крупносерійному і масовому виробництві використовують металеві або пластмасові модельні комплекти, які мають вищу точність і чистоту поверхні, що дає можливість значно понизити припуски на механічну обробку.

Перехід до спеціальних способів лиття дає можливість понизити припуски на механічну обробку і кількість стружки до 5 – 7 %. Економічність підвищується зі збільшенням партії виливок, тобто із переходом від серійного виробництва до масового.

*Спеціальні способи виготовлення виливків.* Виливки у разові форми мають недоліки: невисока точність розмірів і чистота поверхні виливків, великі припуски металу на механічну обробку, утворення великозернистої литої структури, невисока продуктивність і погані санітарно-гігієнічні умови праці (значне запилення і шум на робочих місцях). Для усунення цих недоліків використовують спеціальні способи виготовлення виливків: в металеві форми (кокіль), під тиском, за виплавлюваними моделями, відцентрове, в оболонкові форми.

*Лиття в металеві форми (кокіль)* – один із прогресивних способів отримання виливків із чавуну, сталі і кольорових сплавів масою від декількох грамів до десятків тонн.

Суть процесу полягає у багатократному застосуванні металевої форми, що має набагато вищу стійкість, ніж звичайна піщано-глиниста.

Порожнини у відливанні виконують за допомогою металевих або піщаних стержнів які витягують із виливка після його затвердіння і охолодження до даної температури. Економічна доцільність лиття в металеві форми багато в чому залежить від стійкості форм, їх довговічності та вартості. Стійкість кокілів, визначається рядом технологічних чинників, таких як температура заливки металу, матеріал кокілю, розміри, маса і конфігурація виливок, дозволяє встановити рентабельність застосування даного способу лиття.

У металевих формах доцільно виготовляти наступні виливки:

- масивні необроблювані, із підвищеними вимогами до герметичності, чавунні, простої конфігурації, із вибіленою поверхнею, із підвищеною герметичністю і щільністю;
- із високоміцного чавуну із товщиною стінок не менше 8 – 10 мм, особливо ті, які можуть замінити поковки;
- сталеві, простої конфігурації із стінками товше 8 – 10 мм, алюмінієві із стінками товше 2,5 мм;
- із крем'янистої латуні із стінками товше 3,5 – 6,5 мм і габаритними розмірами 600×700 мм.

Порівняно із литтям у піщано-глинисті форми, лиття у металеві форми має ряд технічних і технологічних переваг: багатократне вико-

ристання форм, підвищення точності розміру виливок, зменшення шорсткості поверхні, що дозволяє зменшити припуск на механічну обробку в 2 – 3 рази, а іноді й повністю її усунути.

Виготовлення *випорожнених* у *кокілях* полягає у тому, що замість разової піщаної форми використовують металеву. За конструкцією кокілі можуть мати вертикальний або горизонтальний рознімач чи бути нерознімними. Рознімний кокіль (рис. 7.3) складається із двох половин 1 та 2, в яких є порожнина 5 із стержнем 3. Ливникову чашу 6, стояк 7, живильник 4 і випор 8 виконують у площі рознімання. Розкривають форму і вибивають готовий вилівок вручну або механічним способом.

Порівняно із піщаними формами кокіль має наступні переваги:

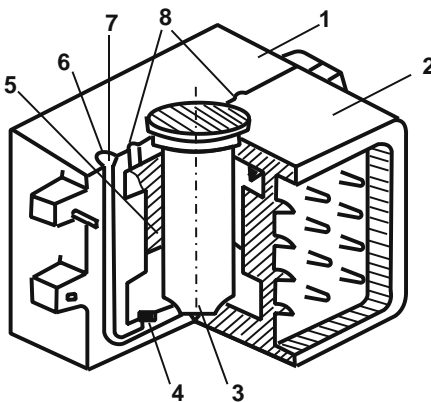


Рисунок 7.3 – Металева форма (кокіль)

непотрібні формові суміші та модельно-опокова оснастка; підвищується чистота і точність поверхні виливків; високі якість і щільність металу виливка; менша кількість пилю; підвищується продуктивність праці. У кокілях виготовляють частіше виливки кольорових сплавів, чавуну і рідко із сталі. Форму виготовляють із чавуну або сталі. Основними перевагами цього виду є високі точність розмірів і чистота поверхні виливка, а також дрібнозернист-

тість металу, що знижує металомісткість виробів і підвищує міцність металу. Використовують у серійному і масовому виробництві.

*Лиття під тиском* за технологічними і економічними показниками займає провідне місце серед способів отримання виливок, оскільки за найбільшого наближення форми і розмірів виливок до готової деталі, високої точності і чистоті поверхні цей спосіб забезпечує і найбільш високий рівень продуктивності праці, можливість повної автоматизації технологічного процесу.

Застосування чорних металів – (сталі і чавуну) – для лиття під тиском обмежено, оскільки при цьому спостерігається дуже низька стійкість форм ливарень. Основні переваги лиття під тиском порівняно із литтям у піщано-глинисті форми наступні:

- багатократне використання ливарних форм, повне виключення формувальних і стержньових сумішей;
- висока точність розмірів і чистота поверхонь, що практично не вимагає механічної обробки;
- можливість отримання виливок із різною товщиною стінок (менше 1 мм) великої протяжності;
- повне виключення трудомістких операцій формування, складання і вибивання форм; можливість комплексної автоматизації виробничого процесу.

*Лиття під тиском* полягає у тому, що метал під тиском примусово заповнює металеву прес-форму, під тиском кристалізується, у зв'язку із чим усувається поява усадочних раковин, знижується газова пористість металу, підвищується щільність виливків, часто не потрібна механічна обробка. Під тиском можна виготовити виливки із глибокими порожнинами, отворами малого діаметра. У одній прес-формі може розміщуватись кілька робочих порожнин, які живляться одночасно. Лиття під тиском є найбільш високоякісним, точним, чистим і продуктивним.

Поршневі камери холодного тиску показано на рис. 7.4. Використовують їх для виготовлення виливків із усіх кольорових сплавів.

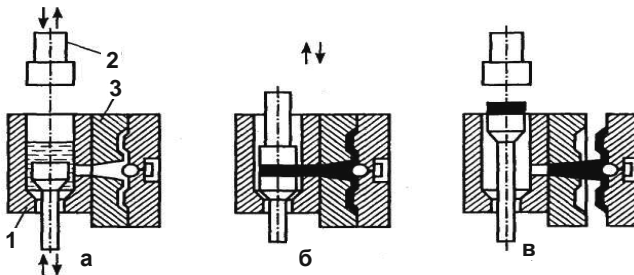


Рисунок 7.4 – Схеми поршневих машин для лиття під тиском: подавання металу в передкамеру (а); нагнітання металу в робочу порожнину (б); вибивання виливка (в); 1 – передкамера; 2 – поршень; 3 – прес-форма

Виготовлення виливка відбувається у три стадії. Камера відокремлена від ванни із рідким металом. Метал заливають у камеру мірною ложкою. Верхній поршень 2, опускаючись, тисне на метал, водночас нижній поршень, також опускаючись, відкриває ливниковий канал і



метал заповнює порожнину прес-форми 1, яка складається із рухомої половини (пуансону) і нерухомої половини (матриці). Коли метал затвердіє, пуансон відходить убік і виливок виштовхується. Зайвий метал видаляється назовні нижнім поршнем.

Використовують поршневі камери гарячого тиску (рис. 7.5). Камера гарячого тиску 3 розміщена безпосередньо у ванні 1 із рідким металом 2 і тому працює в складних умовах. Крізь ливник 5 метал надходить у порожнину прес-форми 6. Використовується для виготовлення виливків із сплавів із низькою температурою плавлення на основі цинку, свинцю й олова.

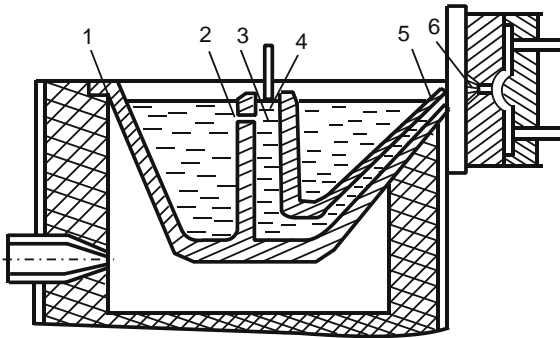


Рисунок 7.5 – Схема поршневої машини гарячого тиску: 1 – ванна; 2 – рідкий метал; 3 – камера; 4 – поршень; 5 – ливник; 6 – прес-форма

Отримання виливків за *виплавлюваними моделями* полягає у тому, що метал заливають у разову тонкостінну керамічну форму, виготовлену за разовими моделями із воскової маси, що легко виплавляється. Легкоплавкі моделі виготовляють із парафіну, стеарину, воску, церезину, каніфолію. Модельну масу в тістоподібному стані шприцом заливають у металеву рознімну форму, яка дає точний відбиток і розміри майбутнього виливка. Моделі стояка і живильників також виготовляють із модельної маси. Легкоплавкі моделі (кілька штук або кілька десятків) пристосовують до загального стояка, утворюючи блок моделей (рис. 7.6,б).

Ливарну форму виготовляють нанесенням вогнетривкого покриття, занурюючи блок легкоплавких моделей у суміш із 60 – 70 % маршаліту і 30 – 40 % гідролізного етилсилікату. На моделі утворюється тонкий шар вогнетривкої суміші. Для укріплення цього шару блок посипають кварцо-

вим піском і дають покриттю можливість висушитися; занурення у вогнетривку суміш повторюють ще 3 – 5 разів із сушінням після кожного разу.

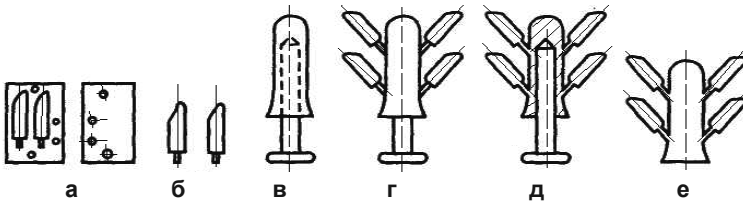


Рисунок 7.6 – Схема лиття за виплавлюваними моделями:  
а – прес-форма; б – моделі виливків; в – ливникова система;  
г – блок із моделями; д – розтин блоку; е – закристалізований блок

Наступна операція – виготовлення із вогнетривкої оболонки (форми) легкоплавкої моделі. Для цього блок моделей із оболонкою занурюють у гарячу воду (90 °С) або ставлять у сушильну шафу. Моделі й елементи ливникової системи витоплюються і витікають із форми. Оскільки оболонка ще не досить міцна, її наформовують у металеві ящики сухим піском і поміщають у термічну піч, де й випалюють за температури 800 – 900 °С. При цьому кірка зміцнюється і стає газопроникною, тому що із неї випалюються залишки модельної суміші.

Металом заливають форму відразу після її випалення, не очікуючи зниження температури, що сприяє одержанню більш точного лиття. Виливки вибивають із форм на вібраційних машинах. Із порожнин вогнетривку масу видаляють вилуговуванням у ванні за температури 120 °С, після чого виливки промивають у воді. Цим способом виготовляють виливки із сплавів із будь-якою температурою плавлення, а також важкооброблюваних різанням і тиском металів (жароміцні, жаростійкі, ріжучий інструмент із швидкорізальної сталі). Основні переваги лиття за виплавлюваними моделями – найвища точність розмірів і чистота поверхні виливків, а також висока продуктивність.

*Таким чином,* лиття за виплавлюваними моделями – прогресивний спосіб отримання точних і складних формою виливків із будь-яких ливарних сплавів. Ливарна форма для цього способу лиття є нерознімною тонкостінною міцною, негасотворною, високовогнетривкою із гладкою робочою поверхнею оболонкою. Її виготовляють із дрібнозернистих формувальних матеріалів за разових (що виплавлюється, роз-

чинним або випалюваним) моделях. Технологічний процес отримання виливок за виплавлюваними моделями порівняно із іншими способами лиття має наступні особливості: модель виливок не має рознімань і знакових частин, її контури повністю повторюють форму деталі; призначена для виготовлення тільки однією ливарної форми (при цьому модель знищується); керамічна оболонка товще 2 – 8 мм не має рознімної поверхні; поверхня форми гладка із малою шорсткістю і необхідною точністю розмірів.

Форма після прожарення не містить газотворних раковин у виливку. Метал заливається у гарячі форми, внаслідок чого створюються сприятливі умови для заповнення форми і живлення виливок. Це дозволяє отримувати тонкостінні виливки масою у декілька грамів. Лиття за виплавлюваними моделями є *найбільш* тривалим і трудомістким технологічним процесом серед всіх способів лиття.

Економічність способу визначається правильно вибраною номенклатурою виливок. Даний спосіб найбільш рентабельний:

- під час крупносерійного і масового виробництва дрібних, але складних і відповідальних деталей, із високими вимогами до точності розмірів і чистоти поверхні. Особливо ефективно застосування лиття за виплавлюваними моделями, якщо вимоги за чистотою поверхні та точністю розмірів литих деталей можна забезпечити у литому стані без подальшої механічної обробки або якщо необхідна механічна обробка тільки тих поверхонь, що сполучаються;

- для деталей складної конфігурації, які не можна виготовити як одне ціле ніякими іншими способами;

- під час виготовлення виливань із складними внутрішніми контурами, коли досягається зниження собівартості виливок за рахунок економії металу;

- для деталей, що виготовляються із металів і сплавів, які не піддаються обробці тиском, і сплавів із низькими ливарними властивостями.

Виливання виливків в *оболонковій формі* полягає у виготовленні тонкостінних форм (0,215 мм) із мілкозернистого кварцового піску і термореактивної синтетичної смоли (3 – 7 %). Суміш у разі незначного нагрівання плавиться, а в процесі подальшого нагрівання – полімеризується і незворотно твердне. Виготовлення оболонкових форм починається із нагрівання модельних металевих плит в електричній печі до температури 220 – 280 °С (рис. 7.7,а). Нагріту модельну плиту 1

(рис. 7.7,б) закріплюють моделлю вниз за бункером 2 із формовою сумішшю 3, яка складається із піску і домішок смоли у вигляді порошку. Бункер разом із модельною плитою повертають на 180° (рис. 7.7,в) і формова суміш потрапляє на модельну плиту. Смола суміші плавиться і зв'язує зерна піску в напівтверду кірку.

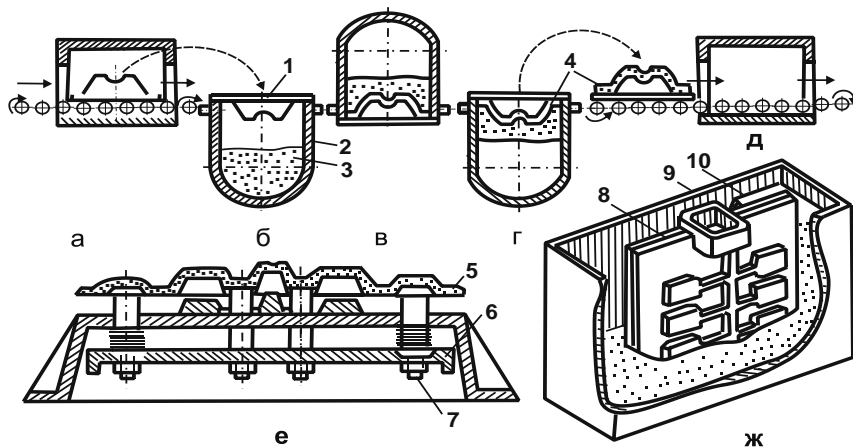


Рисунок 7.7 – Схема виготовлення оболонкової форми

Потім бункер повертається у вихідне положення, формова суміш, що не прореагувала, падає на дно бункера, а на модельній плиті залишається напівтверда оболонка 4 товщиною 6 – 8 мм (рис. 7.7,г). Далі модельну плиту подають у піч для остаточного затвердіння оболонки за температури до 500 °С (рис. 7.7,д). Готову тверду оболонку 5 знімають із модельної плити 6 за допомогою штовхачів 7 (рис. 7.7,е). Таким способом виготовляють обидві половини оболонкової форми. Стержні також виготовляють із цієї суміші в металевих стержневих ящиках за такою самою технологією. Заключною операцією є складання оболонкової форми із напівформ. Напівформи 8 (рис. 7.7,ж) скріплюють скобами, струбцинами або склеюють по площі рознімання. Форму кладуть у металевий ящик 9, засипають навколо крупним піском 10 і заливають металом. Висока температура сприяє вигоранню смоли, тому оболонка втрачає міцність і легко відділяється в процесі вибивання. За точністю розмірів, чистотою поверхні та форм, виливки перевищу-

ють одержані в піщано-глинистих формах і тому цей спосіб широко застосовують у серійному і масовому виробництві дрібних і середніх деталей із будь-яких сплавів.

Виливання виливків *відцентровим способом* полягає у тому, що метал заливають у кокіль, який обертається із певною швидкістю. Заповнення кокілю і кристалізація металу відбувається під дією відцентрових сил, внаслідок чого газу і неметалеві домішки витісняються до внутрішньої порожнини виливка, звідки їх потім видаляють механічним способом. Вісь обертання збігається із віссю виливка, і тому внутрішня порожнина його утворюється без застосування стержнів. Використовують форми як разові, так і постійні.

Для обертання форм використовують відцентрові машини із горизонтальною віссю обертання (а) і з вертикальною віссю обертання (б) (рис. 7.8). Машини із горизонтальною віссю обертання дозволяють одержувати виливки великої довжини, наприклад, труб на машинах із вертикальною віссю обертання, а також деталі малої довжини, наприклад, втулки. Перевагою відцентрового виливання є високий вихід придатних виливків (до 90 %) завдяки майже повній відсутності втрати металу на ливникову систему і додатки, а також незначних припусків на подальшу механічну обробку.

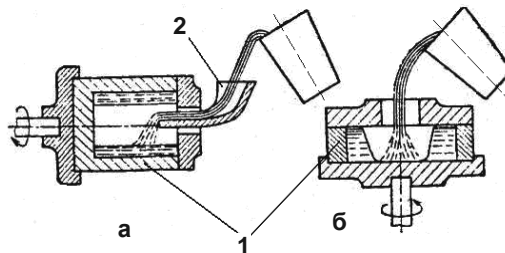


Рисунок 7.8 – Схема виготовлення виливків методом відцентрового лиття у машинах із горизонтальною і вертикальною віссю обертання

До основних переваг цього способу лиття можна віднести:

- високу щільність виливків унаслідок різної кількості монокристалічних порожнеч усадкового і газового походження, у ряді випадків відцентрові виливки за своїми властивостями виявляються на рівні поковок, а за економією металу і зниженню затрат – перевершують їх; мен-

ші витрати металу через відсутність лівникової системи або зниження маси литників;

- виключення витрат на виготовлення стержнів для отримання порожнин у циліндричних виливках;
- поліпшення заповнюваної форми металом; отримання виливків із сплавів, що характеризуються низькою рідкотекучістю;
- можливість отримання двох- і багатошарових, а також армованих виробів.

Виготовлення виливків *електрошлаковим виливанням* полягає у використанні технології електрошлакового переплавлення, за якого плавлення металу, заповнення ним ливарної форми і затвердіння вилівка відбувається одночасно, оскільки ливарна форма є плавильним агрегатом і формує вилівок. Цей процес відбувається під шаром рідкого шлаку, який є джерелом тепла, очищує метал від сірки і фосфору, захищає його від кисню і азоту повітря, виконує роль теплового додатка під час кристалізації металу, що усуває усадочні свищі. Потреба у додатках і головні переваги електрошлакового виливання полягають в одержанні виливків високої якості, відсутності потреби в плавильних агрегатах, розливних ковшах, формувальних сумішах, ливникових системах і прибудках, економії металу. Використовують цей спосіб для одержання виливків корпусів атомних реакторів, колінчастих валів океанських дизелів, прокатних валків, кувальних штампів та ін.

Сутність методу *штампування рідкого металу* полягає у тому, що рідкий метал подають безпосередньо у металеву форму. Під тиском пресуючого пуансона відбувається ущільнення залитого металу. Сполучення пуансона і матриці утворює закриту фасонну порожнину. Зовнішні контури виливок отримують рознімною формою – за відсутності виступів, внутрішні порожнини утворюють впровадженням пуансона у рідкий метал.

Технологічний процес штампування заготовок із рідкого металу об'єднує процеси лиття, гарячого об'ємного штампування і видавлювання. Переваги даного методу порівняно із литтям під тиском:

- більший тиск діє на метал заготовки під час її кристалізації, ущільнює метал, усуває ливарні пороки (газові та усадочні раковини), властиві литтю під тиском, відпадає необхідність у литниковій системі, оскільки метал вводять безпосередньо у робочу порожнину форми;

- збільшується швидкість кристалізації внаслідок чого структура металу виходить більш рівномірною, дрібнозернистою, значно підвищуються механічні властивості заготовки; вища стійкість форм, чим під час лиття;

- даний метод більш універсальний, дозволяє отримати заготовки як тонкостінні, так і товстостінні із усіх стандартних ливарних сплавів; живлення виливок за рахунок ущільнення металу повністю ліквідує необхідність установлення додатків.

Перевагами цього методу порівнено із гарячим об'ємним штампуванням є:

- можливість виготовлення заготовок як із ливарних, металопластичних і крихких сплавів, що не деформуються, так із деформуючих;
- незначні витрати на формоутворення: приблизно у 6 – 8 разів менше, ніж під час гарячого об'ємного штампування.

### **Методи порошкової металургії**

Формоутворення деталей методами порошкової металургії характеризується високою техніко-економічною ефективністю та відіграє значну роль у науково-технічному прогресі. Ці методи дозволяють отримувати матеріали із особливими фізико-хімічними, механічними й технологічними властивостями, які не можна отримати традиційними методами.



Рисунок 7.9 – Газорозпилені порошки жароміцних сплавів на нікелевій основі

Технологічний процес отримання виробів складається із наступних операцій: отримання металевих порошоків (рис. 7.9), формування виробів, спікання та подальша обробка. Вироби формують у спеціальних прес-формах у холодному стані: гідростатичним методом обтиску

металевого порошку із усіх боків рідиною; мундштучним пресуванням – видавлюванням через мундштук суміші порошку із пластифікатором або прокаткою металевих порошоків, у результаті отримують спресовану стрічку, яка піддається подальшому спіканню. Так одержують втулки, шестерні, поршневі кільця та багато інших деталей із композиційних порошкових матеріалів (заліза – міді, металоскла, бронзографіта тощо), рис. 7.10 [40].



Рисунок 7.10 – Вироби, отримані методами порошкової металургії

Методами порошкової металургії отримують:

- тверді сплави для виготовлення ріжучого, бурового, волочильного інструменту, а також деталей, які піддаються інтенсивному зношуванню;
- високопористий матеріал для виготовлення фільтрів, які використовують для очищення рідини від твердих включень, а повітря та газ – від пилу та ін.;
- антифрикційні матеріали для виробництва підшипників ковзання, втулок, вкладишів та інших деталей, що працюють у важких умовах експлуатації;
- фрикційні матеріали для отримання деталей вузлів тертя, зчеплення й гальмівних систем машин;
- жароміцні та жаростійкі матеріали для виробів, які працюють в умовах високих температурах та в агресивних газових середовищах;



- матеріали складних з'єднань (псевдосплавів) для виготовлення електричних контактів, які отримати іншими способами неможливо;
- магнітні матеріали для виготовлення постійних магнітів, феритів.

### **Виготовлення заготовок обробкою металів тиском**

Обробці металів тиском можуть піддаватися ті метали і сплави, які характеризуються необхідним запасом пластичності, що забезпечує деформацію без порушення сумісності металу, тобто без його руйнування. Створюючи відповідні умови деформації, можна отримати необхідну технологічну пластичність [49, 52, 57].

Холодна деформація відбувається за таких температурно-швидкісних умов, коли у матеріалі протікає тільки один процес – зміцнення або наклеп металу.

Гаряча деформація здійснюється за таких температурно-швидкісних умов, коли у матеріалі протікають одночасно два процеси: наклеп і рекристалізація (зміцнення і знеміцнення), причому швидкість знеміцнення дорівнює або вище за швидкість зміцнення.

Чим нижче пластичність матеріалу, тим важче отримати якісну заготовку, тим складніше технологічний процес і вище собівартість деталі.

*Заготовки, отримані обробкою металів тиском.*

Обробкою металів тиском отримують машинобудівні профілі, кутові та штамповані заготовки.

Машинобудівні профілі виготовляють прокаткою, пресуванням, волочінням. Ці методи дозволяють отримати заготовки, близькі до готової деталі за поперечним перетином (круглий, шестигранний, квадратний прокат; зварені та безшовні труби). Прокат виготовляють гарячекатаний і калібрований. Профіль, необхідний для виготовлення заготовки, можна прокалібрувати волочінням. Під час виготовлення деталей із каліброваних профілів можлива обробка без застосування лезового інструмента.

*Пластичність* – властивість металу змінювати свою форму під тиском зовнішніх сил. Під час обробки металу тиском його стискають більше, ніж дозволяє межа пружності металу, але менше, ніж межа міцності. Це приводить до стиснення деяких кристалічних зерен, їх роздрібнення, а також зміщення всередині зерен і на їх межах. Зміщення в монокристалах відбувається за визначеними площами ("площами ковзання"), де знаходиться найбільша кількість атомів. Деформація сприяє

скручуванню кристалографічних решіток, появи внутрішніх кристалічних та міжкристалічних пошкоджень, що погіршує деформацію, метал міцніє, з'являється наклеп, змінюються механічні, фізичні та хімічні властивості металу і в разі збільшення деформації може настати момент руйнування деформованого металу. Процес холодної деформації металу здійснюються за температур, нижчих ніж 0,3 % від абсолютної температури плавлення металу, а гарячої деформації – за температур, нижчих ніж 0,65 – 0,75 % від абсолютної температури плавлення металу.

Шляхом нагрівання можна зняти наклеп і повернути метал в попереднє становище. Поступове нагрівання металу призводить до ліквідації внутрішніх напружень, поступово зникає деформація решіток. Подальше нагрівання металу сприяє виникненню нових зерен з правильною кристалічною решіткою. Це явище має назву рекристалізації. Температура рекристалізації дорівнює 0,4 % від абсолютної температури плавлення металу. Швидкість рекристалізації зростає у міру підвищення температури. Дуже часто відновлений рекристалізацією метал не має слідів зміцнення: кристалографічна решітка не зруйнована і здатна витримати значні деформації.

У металі, температура якого вища від температури рекристалізації, під час обробки тиском водночас із процесом роздрібнення зерен відбувається рекристалізація, що не дає можливості розвитку наклепу. Цю особливість поведінки металу використовують в процесі кування або теплової обробки металів.

Для досягнення потрібних характеристик металу після його обробки тиском необхідно правильно підібрати температуру початку і кінця обробки. Швидке нагрівання металу може привести до тріщини, а за низької температури його пластичність буде недостатньою для деформації. Висока температура може привести до окиснення на межах зерен і розплавлення міжкристалічної речовини, що викличе руйнування металу.

Закінчення теплової обробки металу тиском не повинне відбуватися за високої температури, оскільки при цьому буде формуватися великокристалічна структура. Вона не повинна бути й дуже низькою, адже це призведе до наклепу. Ось чому температура металу має велике значення в умовах його обробки тиском.

Під час гарячої обробки тиском зерна металу, який має велику пластичність за низької міцності, витягуються і трансформуються у во-

локна. Волокниста будова металу забезпечує його важливі переваги порівняно зі звичайною зернистою структурою, оскільки міцність деформованого металу на розрив уздовж волокон виявляється значно вищою, ніж у поперечному напрямі.

Те ж саме можна сказати і щодо опору навантаженням зрізу: міцність на зріз поперек волокон значно вище, ніж уздовж них. Знаючи характер навантаження окремих елементів деталей в експлуатаційних умовах, можна ще у процесі виготовлення заготовок надавати волокнам найвигіднішої орієнтації, яка відповідає характеру навантаження відповідних елементів, і цим забезпечує великий запас міцності виготовленої деталі.

**Види обробки металів тиском.** Головними видами обробки металів тиском є: прокатування, пресування, волочіння, кування, об'ємне і листове штампування (рис. 7.11).

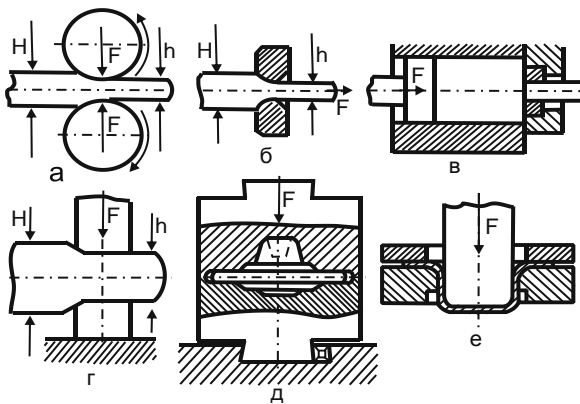


Рисунок 7.11 – Схеми обробки металів тиском

*Прокатування* передбачає обтискання металу обертовими валками (рис. 7.11,а), що дозволяє отримувати вироби із однаковою за довжиною формою поперечного перетину (прутки, труби, листи, рейки, дрід).

*Волочіння* полягає у протягуванні заготовки крізь отвір у волочильній матриці (рис. 7.11,б), що дозволяє отримувати різні сорти дроту, калібровані прутки, тонкостінні труби.

*Пресування* полягає у витисканні нагрітого металу із замкненої порожнини крізь отвір у матриці (рис. 7.11,в). Форма та розмір попереч-

ного перерізу пресованих виробів відповідають конфігурації та розмірам цього отвору.

*Кування* – процес деформування нагрітої заготовки між ударниками молота або преса (рис. 7.11,г).

*Об'ємне штампування* виконує одночасне деформування заготовки у штампі на молотах, пресах та горизонтально-кувальних машинах (рис. 7.11,д). Форми і розміри внутрішньої порожнини штампа визначають конфігурацію і розміри вивоків.

Класифікацію основних операцій, які застосовують під час кування і штампування, наведено на рис. 7.12. У холодноштамповому виробництві застосовують також комбінування операцій штампування на основі сполучення в одному процесі двох і більше технологічно різних операцій, наприклад, відрізання і вигину, вирубування і витягування, вирубування і рельєфного штампування тощо.



Рисунок 7.12 – Класифікація основних операцій, які застосовують під час кування і штампування

*Листове штампування* забезпечує виготовлення плоских і об'ємних деталей з листа за допомогою штампів на холодно-штампувальних пресах (рис. 7.11,е).

*Нагрівання металу для обробки тиском.* Метали мають температурну зону нагрівання для обробки тиском: сплави алюмінію – 350 – 500 °С, сплави міді – 600 – 850 °С, сталі – 900 – 1300 °С.

Нагрівання металу для обробки тиском виконують у полуменових печах і електронагріванням. Полуменові печі бувають камерними і методичними. Камерні печі мають невеликі розміри: методичні печі високопродуктивні, економічні і їх широко використовують у прокатному і ковальсько-штамповому виробництві, а також у разі великих програм виробництва. Полуменові печі мають недолік, який полягає у вигарі металу і зниженні кількості вуглецю на поверхні. Нагрівання металу в захисній атмосфері знижує його окиснення. Найбільш прогресивним є електричне нагрівання металу, яке може бути контактним або індукційним.

Контактне нагрівання полягає в пропусканні струму через метал, омичний опір якого дає температуру. Використовують його, головним чином, для підігрівання прутків, труб діаметром до 75 мм.

Індукційне підігрівання ведуть в індукторі струмом високої частоти, що дає швидке підігрівання, забезпечує точне регулювання температури, обладнання займає невеликі площі.

Слід розглянути більш детально способи обробки металів тиском.

*Прокатування металів* – це процес деформування відливка 1 або іншої довгої металевої заготовки між двома обертовими валками 2 і 3, відстань між робочими поверхнями яких менша за висоту заготовки (рис. 7.13). Метою прокатування є отримання різноманітних виробів, які відрізняються профілями, розмірами поперечного перерізу та довжинами балок чи прутків і становлять так званий сортамент прокату [77].

У процесі прокатування деформація металу відбувається на ділянці дуги (рис. 7.13) у зоні деформації із центральним кутом  $\alpha$ , ця дуга має назву *дуги захоплення*, а центральний кут  $\alpha$  – *кутом захоплення*. Прокатування сприяє збільшенню довжини і ширини заготовки, а також зменшенню її товщини. У початкових точках контакту валків із заготовкою діють сили тиску валків на метал  $R$  і сили тертя  $T$ , проекції яких на вісь  $x$ , відповідно:  $R_x = R \cdot \sin \alpha$  і  $T_x = T \cdot \cos \alpha$ . Для умови захоплення заготовки валками потрібно, щоб  $T_x > R_x$ . Вона буде забезпечена, якщо кут захоплення буде меншим, ніж кут тертя, який залежить від стану поверхні валків і заготовки і зменшується зі зростанням температури. Заготовка захоплюється в робочий простір між валками й переміщується силами тертя, що виникають між нею і валками.

Прокатування може бути поздовжнім і поперечним. Поздовжнім прокатуванням виготовляють до 90 % всього прокату (прутки, лист,

стрічки). Він базується на тому, що заготовка переміщується перпендикулярно до валків, які обертаються навколо своїх осей у протилежних напрямках. Схема поперечного прокатування наведена на рис. 7.14. За такої схеми обробки заготовка переміщується вздовж прокатних валків.

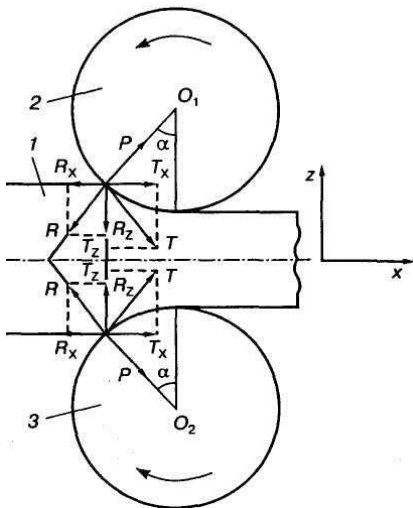


Рисунок 7.13 – Схема прокатування із зазначенням діючих сил:  
1 – заготовка; 2, 3 – відповідно, верхній і нижній обертові валки

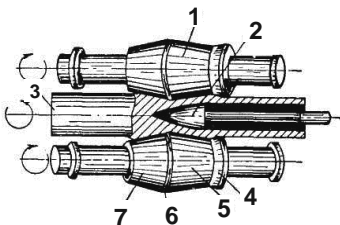


Рисунок 7.14 – Схема поперечного прокатування безшовних труб:  
1 – валки; 2 – пробка на стрижні; 3 – заготовка; 4 – конус випуску;  
5 – конус розкатування; 6 – пояс, що калібрує; 7 – конус прошивання

Поперечно-гвинтове прокатування здійснюється під час обертання валків у одному напрямі. Валки розміщені під кутом один до одного, що забезпечує появу осьового зусилля, завдяки якому заготовка пере-

міщується вздовж осей валків. Використовується під час прошивання трубних заготовок.

До сортаменту сталевого прокатування входять основні групи:

- сортове прокатування простого профілю (рис. 7.15,а), що використовується для нарізування заготовок, які йдуть або на подальшу обробку тиском (кування чи штампування), або на механічну обробку для виготовлення різних деталей;

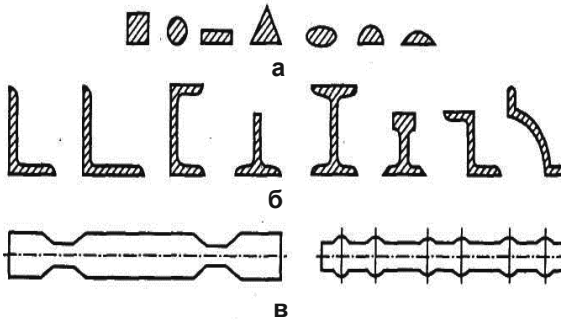


Рисунок 7.15 – Сортамент сталевого прокатування: простий профіль (а); фасонний профіль (б); періодично змінний профіль (в)

- сортове прокатування фасонного профілю (рис. 7.15,б), що використовується для різних будівельних конструкцій, у тому числі для залізничних колій;

- листове прокатування, що поділяється на товстолистову (понад 4 мм) і тонколистову (0,2 – 3,75 мм) сталь; сюди входять і різноманітного призначення безшовні труби різного діаметра із різною товщиною стінок;

- спеціальне прокатування – це вагонні колеса, шпунтові палі та ін.;
- періодичне прокатування (рис. 7.15,в) – це вироби із періодично змінним за довжиною профілем; використовується для штампування заготовок (наприклад, заготовки шатунів автомобільних двигунів) або безпосередньо для механічної обробки.

Існують також спеціальні сортаменти прокатування із кольорових металів і сплавів (міді, алюмінію, латуні, дюралю) у вигляді листів, стрічок, труб, прутків та інших виробів.

Найважливішою особливістю деформації металу під час прокатування є можливість отримання волокнистої структури його із орієнту-

ванням волокон напрямі прокатування, тобто перпендикулярно до осей обертання валків. Це пояснюється тим, що у процесі стиску перетину заготовки між валками метал витягується переважно у напрямі найменшого опору, тобто назовні. Деформуванню й витягуванню його у поперечному напрямі перешкоджає тертя на поверхні валків. Оскільки загальне видовжування металу заготовки складається із видовжування його окремих зерен, то ці зерна перетворюються у волокна.

Прокатування металів здійснюється на прокатних станах. Основними робочими елементами прокатних станів є валки циліндричної форми, які розміщуються в основній частині стану – робочій кліті. Робоча частина валка називається бочкою, вона може бути рівною або з рівчаками. Рівні бочки застосовуються для прокатування листів і стрічок, а рівчакові – сортового металу. Рівчаки є кільцевими вирізами на поверхні валка. Збіжні рівчаки верхнього й нижнього валків утворюють калібри, за допомогою яких сортовому прокату поступово надаються необхідні профілі.

Прокатні стани класифікуються за рядом ознак, основною з яких є вид продукції, що випускається. У зв'язку із цим, можна виділити такі найбільш поширені види станів: сортопрокатні – для випуску сортового прокату; листові й стрічкові – для гарячого прокатування; трубопрокатні; для холодного прокатування сталі та кольорових металів (тонколистові, стрічкопрокатні, фольгопрокатні тощо); деталепрокатні – для випуску спеціального або періодичного прокату.

Холодне прокатування стрічки із алюмінієвих сплавів АМц, Д1, Д16 здійснюється із гарячекатаних листів товщиною до 6 мм. Стрічку товщиною до 0,6 мм катають без проміжного пом'якшувального відпалювання. Заготовками для холодного прокатування стрічок із міді й латуні Л62 є згорнені у рулони листи завтовшки 5 – 6 мм, отримані гарячим прокатуванням зі зливків. Відпалені й протравлені рулони прокатують на спеціальних станах до товщини 0,01 – 0,2 мм протягом чотирьох-п'яти операцій холодного прокатування, що чергуються, із пом'якшувальним відпалюванням і травленням для усунення окалини.

Тонкі листи й стрічку із міді та латуні отримують холодним прокатуванням із гарячекатаних заготовок товщиною 10 – 15 мм із попередньо усуненими за допомогою фрезерування поверхневими дефектами. Прокатування виконують до необхідної товщини у кілька обтісків, застосовуючи проміжне відпалювання за температури 450 – 800 °С



для відновлення пластичності металу. Для холодного прокатування застосовують переважно однофазні латуні із вмістом цинку менш як 30 % і значним запасом пластичності. Щоб запобігти налипанню міді й латуні на сталеві валки, використовують рідке мастило (трансформаторну оливу, гас та ін.).

**Будова прокатного стану.** Робоча кліть має станину, в якій змонтовано валки, для зміни зазору яких верхній валок разом з підшипником переміщується в пазах станини за допомогою натискного пристрою, рух від електродвигуна до валків передається через редуктор, трибову кліть і трєфові шпинделі, які з'єднуються з валками трєфовими муфтами.

**Класифікація станів.** За кількістю і розміщенням валків у клітях розрізняють стани: із горизонтальними валками, універсальні із горизонтальними і вертикальними валками, із косо розміщеними валками. Стани із горизонтальними валками поділяють на дво-, три- і багатовалкові. Двовалкові (дуо) можуть бути нереверсивними і реверсивними, на тривалкових станах (тріо) заготовка в один бік переміщується між нижнім і середнім, а в зворотному напрямі – між середнім і верхнім. Багатовалкові стани мають два робочі валки невеликого діаметра, а решта валків більшого діаметра – опорні, які запобігають прогинанню валків і забезпечують точність прокатування листів, стрічок. Стани можуть бути одноклітьовими і багатоклітьовими з лінійним і послідовним розміщенням клітей. У лінійних станах кліті 10 розташовані в одну лінію і в один привід. Швидкість на таких станах невелика – до 4 м/с. У безперервних станах використовується послідовне розташування валків. Швидкість прокатування досягає 45 м/с, а продуктивність – 4 млн т прокату на рік.

**Пресування та волочіння.** Пресування є процесом витіснення металу із замкненого простору крізь отвір матриці, переріз якого відповідає профілю виробу. Заготовкою для пресування може бути зливка або круглий прокат. У процесі прямого пресування (рис. 14,б) вихід металу крізь отвір у матриці 5 співпадає з напрямком руху пуансона 1, тиск якого на заготовку 3 передається через прес-шайбу 2. Частина металу, що залишається в контейнері 4, називають прес-залишком, який може становити від 8 до 12 % від маси зливка. Пресування труб (рис. 7.16,в) потребує спочатку прошивання зливка голкою 6, яка проходить через порожній пуансон. Подальше переміщення пуансона і прес-шайби 2 сприяє видаленню металу у вигляді труби 3.

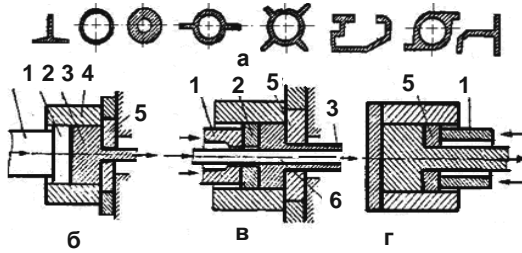


Рисунок 7.16 – Основні профілі та схеми

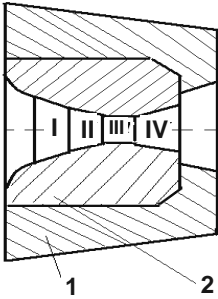


Рисунок 7.17 – Складна волока:  
1 – корпус волоки;  
2 – твердосплавна вставка (вічко)

Під час зворотного пресування (рис. 7.16,г) матриця 5 розміщується в кінці порожнистого пуансона і метал витискується через пуансон, що сприяє зменшенню відходів до 6 – 10 %. Продукція пресування дуже різноманітна (рис. 7.16,а). До недоліків процесу належать значні відходи металу та інтенсивне зношування інструменту.

*Волочіння* полягає у протягуванні заготовок крізь отвір у матриці (рис. 7.17), перетин якого менший за перетин заготовки, що дозволяє отримувати різноманітні профілі, калібровані прутки, холоднотягнуті труби діаметром до 500 мм із стінками завтовшки від 0,1 до 10 мм. Інструментом для волочіння є волочильна матриця (волока), яка може бути суцільною, складною або роликвою. Складна волока має вічко, яке складається із 4-х зон: мастильної лійки I, робочого конуса II, калібрувального пояса III і вихідного конуса IV. Завдяки наклепу, волочіння підвищує міцність і твердість виробів.

Волочіння труб здійснюється двома способами (рис. 7.18).

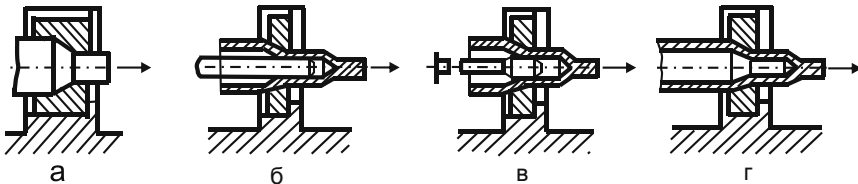


Рисунок 7.18 – Схеми волочіння

За першим способом зменшують тільки діаметр без оправки (рис. 7.18,а). За другим способом зменшують діаметр і товщину стінки труби (рис. 7.18,б,в) із застосуванням оправки для зменшення зусиль волочіння, зношування інструмента, поліпшення поверхні виробів, для чого застосовують мастила: тверді, пластичні та рідкі.

*Кування.* Кування застосовується для виготовлення заготовок у одиничному виробництві. Під час виробництва дуже великих і унікальних заготовок (масою до 200 – 300 т) кування – єдиний можливий спосіб оброблення тиском. Штампування дозволяє одержати заготовки, більш близькі за конфігурацією до готової деталі (масою до 350 – 500 кг). Внутрішні порожнини кувань мають більш просту конфігурацію, чим виливки, та розташовуються тільки уздовж напрямку руху робочого органа молота (преса). Точність і якість заготовок, отриманих холодним штампуванням, не поступаються точності та якості виливків, отриманих спеціальними методами лиття.

Під час кування формозмінність відбувається внаслідок переміщення металу в сторони, які перпендикулярні до руху деформуючого інструмента – бойка. Вживаний під час кування інструмент не створює значного опору переміщенню металу при деформації, що і відрізняє кування від інших видів обробки тиском. Причому це переміщення обмежене лише тертям на контактній поверхні інструмента, де деформується метал.

Застосування кування для отримання заготовок пояснюється рядом її переваг порівняно із іншими видами обробки: виготовлення великогабаритних поковок масою декілька сотень тонн, отримання яких іншими способами неможливе, причому при обробці таких поковок використовується порівняно малопотужне устаткування, оскільки обробка ведеться деформацією окремих ділянок заготівлі, застосування універсального устаткування і універсального оснащення дозволяють отримувати поковки широкого асортименту. При цьому значно поліпшується якість металу, його механічні властивості, особливо пластичність і ударна в'язкість.

*Кування* – раціональний і економічно вигідний процес отримання якісних заготовок з високими механічними властивостями в умовах дрібносерійного і одиничного виробництва.

Обробкою тиском одержують заготовки із достатньо пластичних металів. Механічні властивості таких заготовок завжди вище, ніж литих.

Обробка тиском створює волокнисту макроструктуру металу, яку потрібно враховувати під час розроблення конструкції та технології виготовлення заготовки. Наприклад, у зубчастому колесі, виготовленому із прокату, напрямок волокон не сприяє підвищенню міцності зубів. Під час виготовлення заготовки штампуванням зі смуги або осіданням із прутка можна одержати більш сприятливе розташування волокон.

*Механічною гарячою обробкою тиском* називається обробка металу, нагрітого до температури, вищої від температури рекристалізації (для сталі в межах від 750 до 1350 °С). Це дозволяє одержати вироби необхідної форми за допомогою спеціальних машин і механізмів.

Види операцій кування (рис. 7.19) різноманітні. Для подовження і зменшення заготовки використовують витягування (протягування) 3, розкочування кілець 4 для збільшення діаметра. Для місцевого потовщення заготовки використовують висадку 1, прошивання 9 і 10, згинання 6, крутіння під час виготовлення колінчастих валів 7, рубання 8.

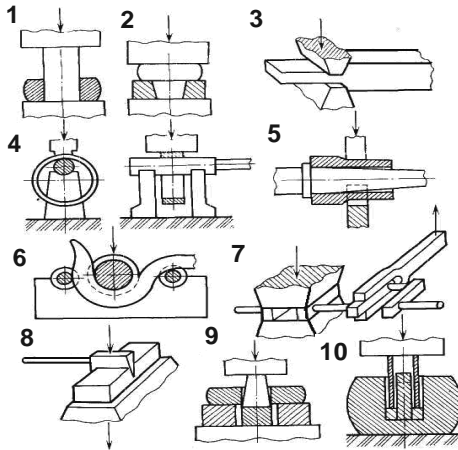


Рисунок 7.19 – Основні технологічні операції кування: 1 – осаджування; 2 – висадження; 3 – витягування; 4, 5 – розкочування; 6 – згинання; 7 – крутіння; 8 – рубання; 9, 10 – прошивання

Кування передбачає деформування нагрітої заготовки між верхнім і нижнім ударниками молота або преса. Кування може бути ручним на кувалді або механізованим. Розрізняються два види механічного кування – вільне і в гарячих (ковальських) штампах. Для виконання ме-

ханічного вільного кування вручну або механізованим способом оброблюваний метал укладають на кувалду й надають йому необхідної форми, вдаряючи молотом, поступово повертаючи виріб. Іноді кування на молотах замінюються вільним гарячим пресуванням на механічних або гідравлічних пресах.

Великі поковки (масою більше 1,5 т) виготовляють із відливків тільки куванням. Менші поковки можна виготовляти штампуванням. Невеликі поковки (до 150 кг) кують на кувальних молотах і пресах. Дрібні та середні поковки кують з сортового прокату. Куванням у гарячих штампах називається кування молотом нагрітого металу, поміщеного в рівчак штампа.

Для гарячої механічної обробки тиском використовуються машини двох видів: молоти й преси. Молот – це машина, що надає нагрітому металу форми шляхом удару, а прес надає форми металу, поступово здійснюючи на нього тиск. Молоти за конструкцією й технологічними особливостями підрозділяються на парові, пароповітряні, спадні із фрикційними дисками й пружинні.

Преси підрозділяються на гідравлічні, парогідравлічні, гвинтові, фрикційні, ексцентрикові, кривошипні й пружинні. Принцип дії й конструкція механічних молотів відрізняється від принципу дії й конструкції пресів. Молоти, на відміну від пресів, викликають струс підлоги й будівлі.

Таким чином, для кування використовують пароповітряні молоти та гідравлічні преси, за допомогою яких одержують грубі поковки, форма яких певною мірою відповідає формі готових виробів. У процесі подальшої обробки цих поковок механічними способами витрачається значна кількість металу, що пов'язано зі значними витратами.

*Штамування.* Ковальський штамп становить дві сталеві товсті плити, на робочих поверхнях яких виконані заглиблення, названі рівчачками, що відповідають формі оброблюваної деталі. Для гарячого об'ємного кування і штампування застосовують два види гарячих штампів: відкриті, що мають тільки нижні рівчачки, і закриті, що мають рівчачки в обох половинках штампа. Вони можуть бути одно- й багаторівчачковими (рис. 7.20).

Кування у штампах, називають звичайно *гарячим штампуванням*, воно може виконуватися в однорівчачкових або в багаторівчачкових штампах. Залежно від конструкції й маси заготовки штампи можуть бути одномісними (для однієї деталі) і багатомісними (для штампування

двох і більше деталей). Таким чином, гаряче об'ємне штампування – процес виготовлення поковок у штампах, рівчак яких відповідає конфігурації поковки.

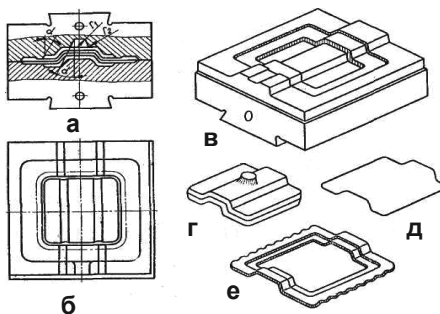


Рисунок 7.20 – Ковальський штамп: розріз (а); вид зверху рівчача в нижній половині ковальського штампа (б); нижня частина штампа (в); кування (г); контур рознімання (д); облой (е)

У відкритих штампах між рухомою і нерухомою частинами штампа є зазор, куди витікає зайвий метал, який потім обрізується.

У закритих штампах деформування відбувається в закритій порожнині і не супроводжується появою зайвого металу. Закриті штампи можуть бути з однією і двома площинами роз'єму, для витискання, виготовлення фасонної заготовки, збільшення перерізу заготовки, надання заготовки форми, наближеної до поковки, згинання.

Для штампування використовують окрім штампувальних молотів, пресів і горизонтально-кувальні машини.

Кування у штампах порівняно з вільним має багато переваг. До них відносяться: велика продуктивність і низька вартість виробництва при значних обсягах випуску поковок, більш високі механічні властивості кувань, менші витрати матеріалу, можливість виготовлення заготовок складної форми, що наближаються до готових деталей, одержання більш точних розмірів і чистої поверхні, простота роботи, а також можливість використання на цій роботі працівників з порівняно низькою кваліфікацією. Для здійснення кування або гарячого штампування метал, залежно від виробничих можливостей, може нагріватися в горнах, газових або мазутних (нафтових), електричних печах і на спеціальних електричних установках.

Перед закріпленням штампа на молотах або пресах слід провести його зовнішній огляд. Ушкоджені або штампи, що вийшли із ладу, використовувати не можна. Справні штампи потрібно правильно встановити й надійно закріпити. Потім штамп підігрівають до температури 200 – 300 °С і виконують пробне кування з матеріалу виробу. У разі використання свинцю як металу для перевірки правильності установки штамп підігрівають до 100 ... 150 °С. Не можна використовувати штампи, якщо вони в процесі штампування нагрілися до температури 500 °С (потрібно припинити роботу). Перед тим, як розпочати кування, матрицю потрібно змазати сумішшю масла із графітом або обсипати тонким шаром мокрих ошукрок. У такий спосіб кування охороняють від приварювання до стінок ривчака. Нагрітий і підготовлений до обробки матеріал потрібно очистити від окалини. Очищення виконується ударами або поливом водою.

*Холодне штампування* виконують без нагрівання заготовок. Його поділяють на об'ємне і листове.

*Об'ємне штампування* має наступні основні види: витискання, висаджування, об'ємне формування і калібрування. Холодні об'ємні формування, висадка і калібрування аналогічні до процесів гарячого об'ємного штампування, а холодне витискання аналогічне до пресування. Ці операції забезпечують досягнення більш високої точності і більш якісної поверхні заготовок. Холодне об'ємне штампування дає можливість майже повністю виключити обробку різанням, зменшує трудомісткість виготовлення деталей на 30 – 80 % і підвищує коефіцієнт використання матеріалу на 50 %.

*Листовим штампуванням* називають процес виробництва деталей із листа, стрічки. Товщина деталі майже не відрізняється від товщини листового матеріалу і не перевищує 10 мм. Цей вид штампування має високу продуктивність (до 40 тис. деталей за зміну), високу точність штамповок, що не потребує механічної обробки, економічну доцільність за умов масового і серійного виробництва. Штампування із листового матеріалу широко використовують в автомобільній промисловості, де до 60 % деталей виготовляють цим способом, у приладобудуванні – до 75 %, у виробництві товарів широкого вжитку – 98 %.

До особливих способів листового штампування відносять: штампування вибуховою хвилею, електрогідрравлічне, магнітно-імпульсне, штампування гумою, рідиною, ротаційне втискування на спеціальних верстатах.

*Штамування вибухом* засноване на передачі заготовці енергії вибуху через рідину (воду). Штамування виконують у залізобетонних басейнах (рис. 7.21,а). Штамп з матриці 1 розміщується на дні або біля стінки басейну з водою. Заготовка 3 затискується між притискачем 4 і матрицею. Зона між матрицею і заготовкою піддається вакуумуванню через систему 2. У процесі підриву вибухівки 5 у воді виникає ударна хвиля, яка й деформує заготовку. Матриці виготовляють з чавуну та інших матеріалів.

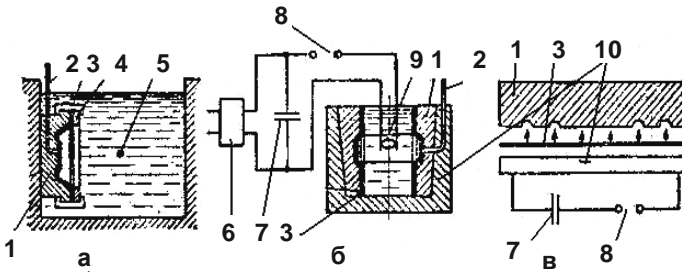


Рисунок 7.21. Особливі методи листового штампування

*Електрогідравлічне штампування* подібне до штампування вибухом, де ударна хвиля виникає під час електричного розряду (рис. 7.21,б). Установка, крім матриці 3 і вакуумної системи 2, як і під час штампування вибухом, має зарядний пристрій 6, розрядник 8, що забезпечує подачу енергії і накопичення її в конденсаторі 7 на робочий розрядник 9. Цей спосіб застосовується для розвальцювання труб, які використовуються в установках високого тиску.

*Електромагнітне (магнітно-імпульсне) штампування* ґрунтується на прямому деформуванні металу імпульсними електромагнітними полями. Установка (рис. 7.21,в) має зарядний пристрій, ємний накопичувач енергії (батарею-конденсатор) 7, комутаційний пристрій 8 та індуктор 10. У процесі проходження імпульсу електричного струму великої сили (до 150 000 А) крізь індуктор, між ним і заготовкою створюється магнітне поле високої індуктивності, яке викликає у заготовці 3 вихрові струми. Взаємодія електричного поля і наведених струмів спричиняє сили відштовхування, які деформують заготовку за пуансоном або матрицею 1. Зусилля, які виникають при цьому, діють протягом кількох мікросекунд і тиск досягає 350 МПа. Застосовують цей вид штампування для обтискання і формування трубних заготовок, штам-



пування площинних листових деталей з електропровідних матеріалів (алюмінію, міді, латуні, маловуглецевої сталі), а також для запресування в трубах кілець, з'єднання кінців труб, виготовлення балонів.

### Основи технології зварювання металів

*Зварювання* – це процес виготовлення нерознімних з'єднань твердих матеріалів шляхом міжмолекулярних і міжатомних сил зчеплення. Для цього атоми зварювальних матеріалів необхідно зблизити на рівні параметрів кристалічних решіток цих матеріалів, що досягається за рахунок нагрівання їх поверхні до розплавленого або пластичного стану.

Сучасні способи зварювання класифікують за станом металу в процесі зварювання і за видом енергії зварювання [77].

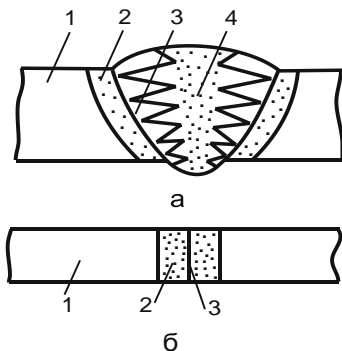


Рисунок 7.22 – Схеми зварних з'єднань: зварювання плавленням (а); зварювання тиском (б): 1 – зварюваний метал; 2 – зона з'єднання; 3 – зона сплавлення (термомеханічного впливу); 4 – зварювальний шов

За ознакою розрізняють зварювання *плавленням і тиском*. Схеми зварювальних з'єднань наведені на рис. 7.22. У процесі зварювання плавленням кромки з'єднаних деталей нагрівають до розплавленого стану з утворенням загальної ванни, яка після охолодження утворює шов, що з'єднує поверхні деталей. У процесі зварювання тиском поверхні деталей нагрівають до пластичного стану, а потім прикладають механічні зусилля – стискання.

Для нагрівання металів застосовують: електричну, хімічну, механічну і променеву енергію. Найбільш поширені електричні способи

зварювання, які розподіляються на: дугові, електрошлакові, контактні, індукційні, плазмові. Хімічні способи об'єднують газове і термітне зварювання, засноване на використанні тепла екзотермічних реакцій окиснення різних речовин.

Механічні способи зварювання об'єднують: горнове, холодне тиском, тертям, вибухом і ультразвуком.

Променеві способи зварювання включають: електронно-променеве, лазерне та сонячними променями.

*Електричне зварювання.* У процесі ручного дугового зварювання електродом, що плавиться (рис. 7.23), дуга між стержнем електрода і зварюваним металом сприяє їх плавленню. Краплі розплавленого електрода переносяться в зварювану ванну через дуговий проміжок.

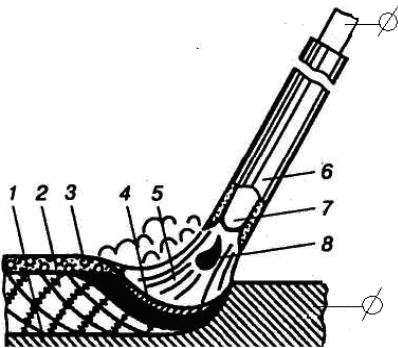


Рисунок 7.23 – Схема ручного

дугового зварювання:

- 1 – зварюваний метал;
- 2 – зварювальний шов;
- 3 – шлакова кірка; 4 – ванна;
- 5 – дуга; 6 – електрод;
- 7 – стержень; 8 – крапля розплаву електрода

Разом зі стержнем плавиться й електродне покриття, створюючи газовий захист навколо дуги та рідку шлакову ванну, яка разом із розплавленим металом утворює зварювану ванну.

У процесі пересування дуги метал зварюваної ванни кристалізується й перетворюється в зварювальний шов, на поверхні якого утворюється шлакова кірка, яку видаляють після охолодження зварювального шва. Зварювальна дуга – це потужний електричний розряд у газах, який супроводжується виділенням значної кількості тепла і світла. Дуга складається з катодної, анодної частини і стовпа дуги, який займає майже весь простір і

розвиває температуру до 6000 – 7000 °С. Близько 50 % тепла йде на нагрівання виробу; до 30 % – на нагрівання електрода і 20 % витрачається в навколишнє середовище. У разі живлення дуги постійним струмом близько 42 % тепла виділяється на аноді, до 38 % – на катоді і до 20 % – у стовпі дуги. Напруга для запалювання дуги повинна бути не нижчою ніж 30 – 35 В – для постійного струму і 50 – 55 В – для змінного струму. Для стійкого горіння дуги достатньо напруги 18 – 30 В. Для зварювання використовуються джерела живлення постійного струму при прямій (виріб – анод) і зворотній полярності (виріб – катод), а також джерела змінного струму промислової частоти.

Зварювальні трансформатори використовують для зниження напруги мереж (220 В або 380 В) до (60 – 80 В). Зварювальні генерато-

ри постійного струму бувають однопостові і багатопостові, від яких водночас працюють декілька зварювальних постів.

Ручне дугове зварювання (рис. 7.23) застосовують для виконання зварних з'єднань практично всіх типів з металів завтовшки 2 – 60 мм. Зварювальні електроди подаються в дугу й переміщуються вздовж виробу зварником вручну. Електроди, що плавляться, виготовляють із зварювального дроту: вуглецевого (Зв-08, Зв-08А, Зв-10ГА та ін.) та легованого (Зв-10М2СА, Зв-10Х18Н10Т, Зв-12Х11НМФ та ін.). У марці дроту літери Зв означають зварювальний, а цифра, що стоїть після цих літер, – вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Подальші позначення розшифровуються, як і у відповідних марках сталей. Для електродів використовують металеві стрижні (дріт) діаметром 1,6 – 12 мм і завдовжки 200 – 450 мм, на які нанесено шар покриття завтовшки 0,5 – 3 мм. До складу покриття для якісних електродів додають компоненти, які, відповідно до їх призначення, можна розбити на такі групи: стабілізаційні, які утримують метали з малим потенціалом іонізації (крейда, поташ, діоксид титану); газотвірні, призначені для захисту розплавленого металу від кисню й азоту повітря відновлюваними газами, що утворюються під час згоряння органічних речовин (крохмаль, декстрин, целюлоза); які утворюють шлаки (польовий і плавиковий шпати, крейда, марганцева руда); легувальні й ті, що розкислюють, які вводяться у вигляді феросплавів Mn, Si, T; що зв'язують (рідке скло).

Стандарти на електроди визначають типи електродів: E42, E42A, E55 та ін. Цифра у марці електрода означає гарантовану межу міцності металу зварювального шва ( $\sigma_b = 420$  або  $550$  МПа). Для електродів типу E42 використовується дріт Зв-08, а типу E42A – Зв-08А.

Таким чином, для ручного дугового зварювання використовують штучні електроди, які можуть бути графітовими діаметром від 6 до 30 мм, завдовжки 200 – 300 мм і металевими діаметром 1,6 – 12 мм і довжиною 150 – 450 мм. Електроди виготовляють: 6 марок із низьковоуглецевої сталі, 30 – з легованої і 39 – з високолегованої сталі.

Із метою підвищення стійкості горіння дуги, захисту металу від взаємодії з повітрям на поверхню електродів наносять покриття (сполуки лужних, лужноземельних металів, речовини, які утворюють шлаки, карбонати, целюлозу, марганець, титан, кремній). Покриття електродів виконують пресуванням їх із наступним просушуванням і пропалюванням.

Основні типи з'єднань у процесі ручного зварювання показано на рис. 7.24. Найзручніше зварювати горизонтальні й нижні шви 1, де метал не витікає з кратера. Гірше – вертикальні 2, напівстельові і особливо стельові 3, які виконують дуже короткою дугою і електродами діаметром не більше ніж 4 мм, що полегшує перехід краплі із електрода на деталь.

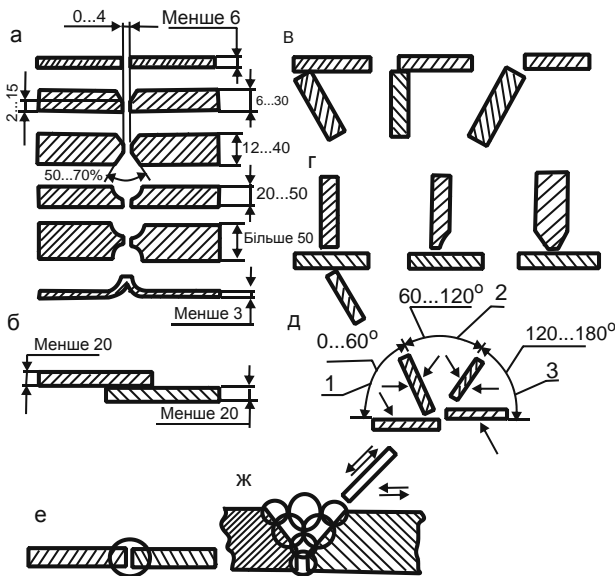


Рисунок 7.24 – Основні види зварних з'єднань і швів

Приклад просторового розміщення швів наведений на рис. 7.25 (а – горизонтальні; б і в – вертикальні; г – стельові).

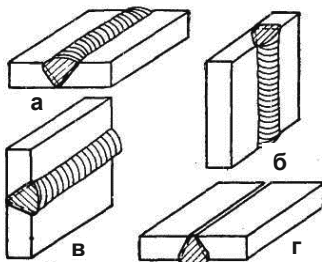


Рисунок 7.25 – Схема просторового розміщення швів

*Автоматичне дугове зварювання під флюсом.* Це спосіб зварювання (рис. 7.26), за яким дуга горить під шаром зварювального флюсу (неметалевого сипкого матеріалу), чим забезпечується якісний захист металу зварюваної ванни від газів повітря. Зварювальна дуга горить між електродним дротом і зварюваним металом під шаром флюсу, який подається з бункера. Частина флюсу, що оточує дугу, розплавляється, утворюючи на поверхні зварюваної ванни шар рідкого шлаку, під яким створюється порожнина, заповнена паром металу, флюсу та газами. У міру переміщення дуги метал і шлак тверднуть, утворюючи зварювальний шов, покритий шлаковою кіркою. Подавання дроту в дугу зі швидкістю  $V_{ел}$  і переміщення автомата вздовж виробу зі швидкістю  $V$  здійснюються за допомогою відповідних механізмів. Струм підводиться до дроту від джерела живлення. Виліт електрода, який перебуває під струмом, дорівнює 40 – 50 мм, що дає змогу використовувати струм великої сили.

Автоматичне дугове зварювання під флюсом застосовують у заводських і монтажних умовах для зварювання швів значної довжини в нижньому положенні та кільцевих поворотних швів. Зварюють сталь, алюміній, титан, мідь і їхні сплави (товщина виробу 2 – 300 мм).

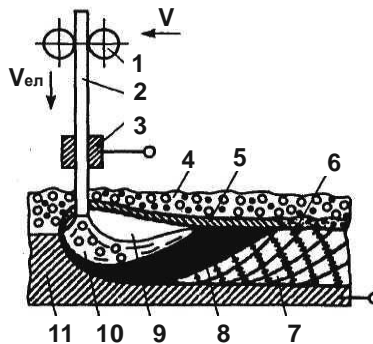


Рисунок 7.26 – Схема автоматичного дугового зварювання під флюсом:

- 1 – механізм подавання електродного дроту; 2 – електродний дріт;
- 3 – струмовідвід; 4 – шар флюсу; 5 – шар рідкого шлаку; 6 – шлакова кірка; 7 – зварювальний шов; 8 – зварювана ванна; 9 – порожнина із паром металу, флюсу та газами; 10 – зварювальна дуга;
- 11 – зварюваний метал

Перевагами автоматичного дугового зварювання під флюсом є: висока продуктивність (у 5 – 10 разів вища, ніж під час ручного дугового зварювання) завдяки застосуванню струмів великої сили, більшій глибині проплавлення, відсутності втрат металу на вигорання і розбрикування та механізації процесу; висока якість зварювальних швів за рахунок якісного захисту металу під час зварювання та їх рівномірного формування; поліпшення умов праці зварників та ін. Недоліки цього виду полягають у труднощах зварювання коротких швів, а також швів, розташованих у складних просторових середовищах і важкодоступних місцях.

Таким чином, у процесі автоматичного дугового зварювання всі основні операції процесу запалювання дуги, подавання зварювального дроту до виробу, підтримання постійної довжини дуги і переміщення дуги в напрямку зварювання механізовані. Голий дріт і флюси подаються до виробу окремо під час зварювання під флюсом.

*Електрошлакове зварювання* засноване на тому, що основний і присадний метал розплавляються теплотою, що виділяється під час проходження електричного струму через електропровідний шлак – розплавлений флюс (рис. 7.27).

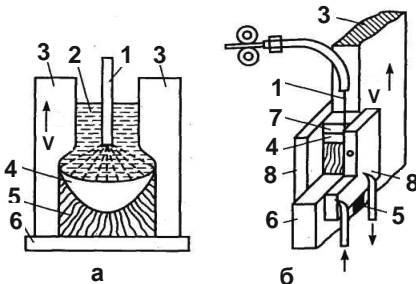


Рисунок 7.27 – Схема електрошлакового зварювання:

- 1 – електрод; 2 – охолоджувальна вода; 3 – зварювані деталі; 4 – металева ванна;
- 5 – зварювальний шов;
- 6 – технологічна планка;
- 7 – шлакова ванна; 8 – формувачі

у процесі зварювання. Після утворення шлакової ванни дуга гасне і дуговий процес переходить в електрошлаковий. У нагрітому до температури 2000 °С шлаку плавиться електрод і сплавляються краї зварюваних деталей, встановлених із проміжком 20 – 50 мм. Для формування зварювального шва та утримання шлакової й металеві ванн від виткання використовують формувачі – мідні повзуни, охолоджувані водою і переміщувані разом із зварювальним апаратом по бічних поверхнях де-

талей, встановлених із проміжком 20 – 50 мм. Для формування зварювального шва та утримання шлакової й металеві ванн від виткання використовують формувачі – мідні повзуни, охолоджувані водою і переміщувані разом із зварювальним апаратом по бічних поверхнях де-

талей. Метал, що кристалізується в нижній частині металевої ванни, утворює зварювальний шов.

Головна перевага електрошлакового зварювання – це можливість виконання його за один прохід по металу (стальні, алюмінієві і титанові сплави) практично будь-якої товщини (20 – 3000 мм), тому продуктивність цього процесу у 5 – 15 разів вища, ніж автоматичного дугового зварювання під флюсом. Електрошлакове зварювання дає змогу виконувати вертикальні та кільцеві шви. У разі виконання кільцевого шва зварювані деталі обертаються на роликовому стенді відносно нерухомого зварювального апарата і формувачів.

*Дугове зварювання в захисних газах* полягає в тому, що для захисту розплавленого металу від шкідливої дії кисню і азоту повітря в зону дуги подають струмінь захисного газу (аргон, гелій), який відтискає повітря від місця зварювання.

У разі аргон-дугового зварювання використовують аргон, який добувають з повітря, де його за об'ємом близько 1 %. Транспортують і зберігають аргон у балонах місткістю 40 л під тиском 15 МПа. Постійним струмом зварюванням аргонном виготовляють вироби з нержавіючої і жароміцної сталі, нікелю та його сплавів, міді та її сплавів, титану, цирконію, молібдену, танталу завтовшки 0,1 – 6 мм. Змінним струмом зварюють алюміній, магній і їх сплави.

Зварювання у вуглекислому газі – найбільш поширене для мало-вуглецевих, низьколегованих і деяких високолегованих сталей. Вуглекислий газ постачають у балонах місткістю 40 л під тиском 7,5 МПа, де міститься 25 л рідкої вуглекислоти. Зварювання здійснюють автоматичним або напів-автоматичним способом.

Контактне зварювання ґрунтується на розігріванні зварюваних виробів Джоулевым теплом і механічному стисканні розігрітих виробів. Найбільш поширене стикове, точкове і шовне зварювання.

У процесі стикового зварювання (рис. 7.28) зварювані деталі 1 (стерж-

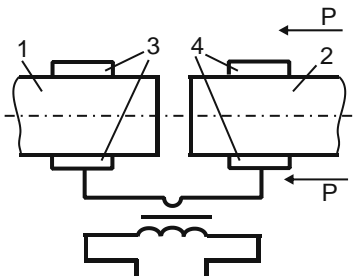


Рисунок 7.28 – Схема стикового зварювання:  
1, 2 – зварювані деталі;  
3, 4 – нерухомий і рухомий затискачі – електроди

ні, рейки, труби) закріплюють у мідних затискачах машини. Затискач 4 закріплено на рухомій плиті, а затискач 3 – на нерухомій. Вторинний виток з трансформатора з'єднується з плитами гнучкими шинами. Первинну обмотку трансформатора ввімкнено в мережу через вимикач.

Для регулювання зміни сили зварювального струму використовують перемикач. Переміщення плити і стискання зварювальних виробів здійснюється механізмом стискання.

Точкове зварювання застосовують для з'єднання листових конструкцій, де більше уваги приділяється міцності, а не щільності. Сумарна товщина двох листів не більше 10 – 12 мм. Складені внапуск деталі 2 і 3 (рис. 7.29) затискають із деяким зусиллям між мідними електродами 1 і 4, до яких через електродотримачі підводиться струм від зварювального трансформатора. Нижній електрод нерухомий, а верхній переміщується разом із механізмом стискання. Затиснувши виріб, вмикають трансформатор, місце контакту між виробами нагрівається і утворюється ядро із розплавленого металу 5, яке і є місцем зварювання. На точкових машинах зварюють вуглецеві, леговані, високолеговані сталі і кольорові метали. Існує однотоčkове, двотоčkове та багатотоčkове зварювання.

Шовне, або роликоче зварювання (рис. 7.30) застосовують для того, щоб мати міцні та щільні шви під час виготовлення тонкостінних посудин, баків, труб.

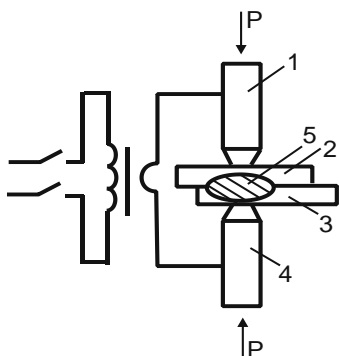


Рисунок 7.29 – Схема точкового зварювання: 1, 2 – деталі; 3, 4 – електроди; 5 – ядро металу шва

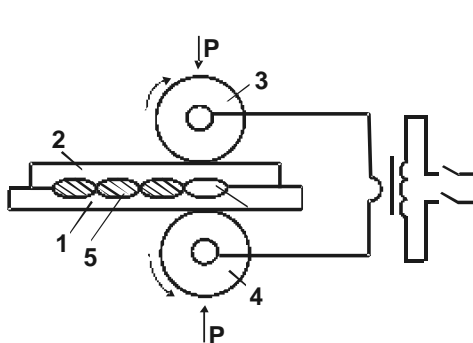


Рисунок 7.30 – Схема роликоче зварювання: 1, 2 – деталі; 3, 4 – електроди; 5 – ядро металу шва



*Газове і термітне зварювання.* Для газового зварювання використовують ацетилен і кисень, які в суміші дають температуру, достатню для зварювання сталей.

Кисень отримують із повітря, яке за температурою  $-197,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  зріджується. Рідке повітря розділяється на азот за температурою  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  і кисень за температурою  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Відділений від азоту кисень у теплообмінному апараті перетворюється із рідкого в газоподібний і надходить в газгольдер. Звідти його компресором нагнітають у балони до тиску 15 МПа, які вміщують 6000 л кисню. За допомогою редукторів тиск знижують для зварювання до 1,2 – 1,4 МПа.

Отримання ацетилену пов'язане з розкладанням карбїду кальцію ( $\text{CaC}_2$ ) водою:  $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ . Під час розкладання 1 кг карбїду кальцію виділяється 340 л ацетилену і 1675 кДж теплоти. Карбїд кальцію виробляють в електродугових печах сплавленням коксу або антрациту з випаленим вапняком:  $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO}$ . Розплавлений карбїд виливають у чавунні виливниці і після роздрібнення до 2–100 мм використовують для одержання ацетилену в спеціальних апаратах.

Для зварювання використовують зварювальний пальник, який призначено для змішування у потрібних пропорціях горючого газу із киснем і для створення зварювального полум'я потрібної потужності, розмірів і форми. За способом подавання горючого газу, пальники розділяють на інжекторні та безінжекторні. У промисловості частіше використовують інжекторні пальники, принцип роботи яких базується на підсосі ацетилену струменем кисню. Підсос, або інжекція, полягає в тому, що кисень виходить із отвору сопла із великою швидкістю і створює у камері змішування сильне розрідження, внаслідок чого ацетилен засмоктується у камеру і утворюється пальна суміш.

Використовують лівий і правий способи газового зварювання. За лівого способу полум'я переміщується справа наліво, а за правого – навпаки. Лівий спосіб використовують для зварювання металу товщиною до 5 мм, а правий – більше 5 мм.

*Термітне зварювання* базується на виділенні тепла під час згорання порошкових паливних сумішей (алюмінію, магнію або кремнію) і оксидів (заліза, марганцю, нікелю). Під час горіння алюмінієвого терміту (суміш 23 % Al і 77 % залізної окалини) виділяється із 1 кг терміту 3000 кДж тепла і розвивається температура до  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для зварювання плавленням на торці зварювальних виробів встановлюють вогне-

тривку форму. Між торцями залишають зазор. Потім із плавильного тигля (крізь отвір) зазор заповнюють розплавленими продуктами реакції. Термітний шлак, маючи меншу питому вагу, збирається у верхній частині форми, а розплавлене термітне залізо заповнює зазор і нижню частину форми.

Термітне зварювання плавленням використовують для зварювання рейок, ремонту сталевих і чавунних деталей за допомогою алюмінієвого терміту, а також сталевих проводів – за допомогою магнієвого терміту. Використовують термітне зварювання також під час ремонту литих виробів. У процесі зварювання тиском термітне тепло використовують для розігрівання виробів до пластичного стану, а потім за допомогою механічних зусиль стискають вироби (переважно трамвайні рейки).

*Спеціальні способи зварювання.* Індукційне зварювання виконують нагріванням металу до пластичного стану за допомогою індукційних струменів середньої (2 – 10 кГц) або високої (70 – 500 кГц) частоти із наступним стисканням деталей (найчастіше труби).

*Дифузійне зварювання* у вакуумі ґрунтується на взаємній дифузії пари металів, що перебувають у контакті у вакуумі  $133 \cdot 10^{-5}$  Па або в атмосфері інертних газів, нагрітих до 400 – 1000 °С і стиснутих до 10 – 20 МПа. Нагрівають вироби частіше індукційними струмами високої частоти або електронним променем. З'єднують, головним чином, однорідні й різнорідні метали, їх сплави і металокерамічні вироби з металами.

*Зварювання ультразвуком* засноване на ультразвукових коливаннях за допомогою магнітострикційного ефекту, який полягає у здатності деяких металів перетворювати електромагнітні коливання ультразвукової частоти (150 – 100 кГц) на механічні коливання тієї самої частоти. Магнітострикційний ефект мають сплави нікелю із залізом (пермалой), кобальту із залізом. У місці зварювання температура підвищується до 200 – 1200 °С. Зварювання відбувається під тиском. Добре зварюється мідь, алюміній, титан, цирконій, тантал, нікель завтовшки 0,001 – 1 мм. Успішно також зварюють хлорвініл, поліетилен, капрон, нейлон.

Під час вмикання обмотки 2 (рис. 7.31) до джерела струму високої частоти в магнітострикційному перетворювачі утворюються пружні механічні коливання, які хвилеводом 3 передаються через нижній електрод 7 на зварювальні вироби 6. Зусилля, яке стискає деталі, передається на верхній електрод 5 механізмом стискання 4. Обмотка 2, що нагрівається струмом високої частоти, охолоджується проточною водою.

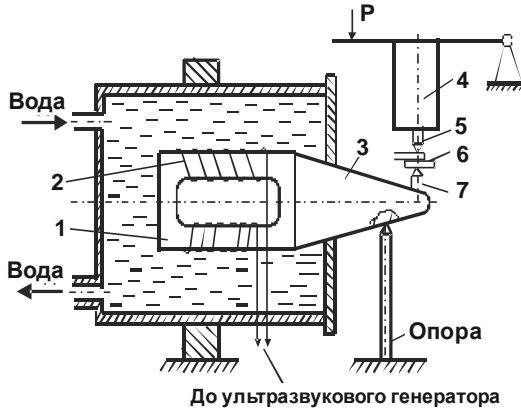


Рисунок 7.31 – Схема установки для точкового зварювання ультразвуком

Зварювання електронним променем у вакуумі засноване на нагріванні металу сфокусованим пучком електронів, які прискорюються електричним полем високої напруги. У разі потрапляння пучка на деталь близько 99 % кінетичної енергії електронів перетворюється на теплову і температура досягає 6000 °С. Зварювання здійснюють у герметичних камерах 1 (рис. 7.32) під вакуумом  $133 \cdot 10^{-4}$  Па.

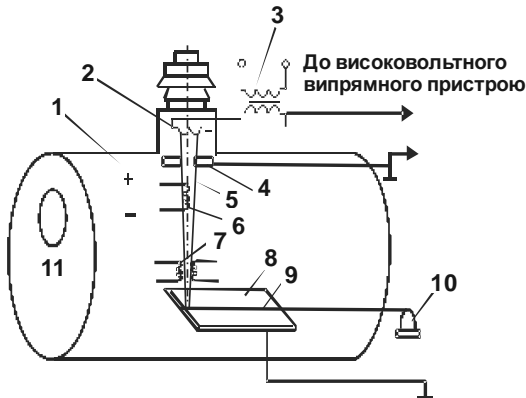


Рисунок 7.32– Схема зварювання електронним променем

Джерелом електронів є розжарений катод з вольфрамової спіралі 2, який живиться від низьковольтного трансформатора 3. Для прискорення

рення руху електронів використовують прискорювальний анод 4 з центральним отвором. Напруга між катодом і анодом становить 35 – 150 кВ. Катод нагрівається до температури 2400 °С і з його поверхні випромінюється потужний потік електронів 5. На шляху до виробу 8 він проходить крізь фокусну лінзу, яка становить електромагнітну котушку 6 і фокусує промінь на площі 0,1 – 20 мм. Фокусну пляму можна переміщувати за допомогою електромагнітних котушок 7. Переміщення деталей і зварювального променя здійснюється електроприводом 10. Спостерігають за процесом у камері крізь вікно 11. Цим методом зварюють високолеговані сталі, тугоплавкі (вольфрам, молібден, тантал), активні (уран, цирконій, берилій), а також алюміній, мідь і їх сплави товщиною від 0,01 до 100 мм.

*Лазерне зварювання* засноване на потужному сконцентрованому світловому промені, який утворюють у спеціальних установках, що називають лазерами. Зараз використовують рубінові лазери зі штучним рубіном, до складу якого входить оксид алюмінію і незначна домішка оксиду хрому  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Такий лазер складається з циліндричного рубінового стержня (рис. 7.33), ксенонової лампи 2, лінзи 4 і охолоджувальної системи 3. Торці стержня виполірувані і посріблені. Той торець, що призначений для виходу назовні світлового променя, частково прозорий.

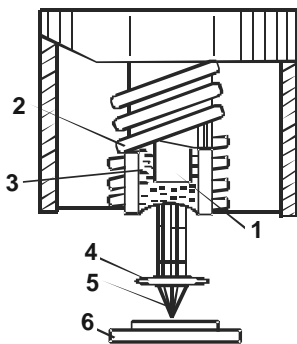


Рисунок 7.33 – Схема лазерного зварювання

Під час спалаху ксенонової лампи, яка живиться розрядним струмом конденсаторів, атоми хрому рубінового кристалу переходять з нормального в збуджений стан. Однак через кілька мілісекунд вони знову повертаються в попередній стан, випромінюючи фотони червоного світла.

Потік їх уздовж вісі стержня спричиняє випромінювання нових фотонів, які поперемінно відбиваються від дзеркальних торцевих граней, збільшуючи цим інтенсивність загального випромінювання. При накопиченні певного рівня фотонів

вони у вигляді потоку червоного світла прориваються крізь напівпрозорий торець стержня назовні. Проїшовши крізь лінзу 4, сфокусований потік 5 потрапляє на виріб 6. Тривалість імпульсу випромінювання

лазерного променя дорівнює тисячним і мільйонним часткам секунди. Точками можна зварювати деталі завтовшки до 0,5 мм. Лазер використовують для виготовлення отворів у твердих сплавах тугоплавких металів, алмазах, рубінах, а також для термообробки ріжучого інструменту.

**Плазмове зварювання.** Електронною плазмою називають дуже іонізований газ стовпа дуги, який складається з нейтральних атомів і молекул, іонів і електронів. Щоб одержати плазмову дугу, через вузький канал водоохолоджувального мідного сопла 3 спеціального плазмового пальника (рис. 7.34) пропускають потік газу. Майже весь газ, який проходить через стовп стисненої дуги, іонізується в плазму. Розрізняють плазмову дугу прямої і побічної дії. Дуга 4 прямої дії (рис. 7.34,а) горить між вольфрамовим електродом (катодом) 1 і виробом (анодом) 5. Температура такої дуги досягає 20000 – 30000 °С.

Дуга побічної дії (рис. 7.34,б) горить між вольфрамовим електродом 1 і мідним соплом 3 пальника. Тиском струменя газу іонізований газовий потік видувається із сопла пальника у вигляді яскравого концентрованого полум'я 4. Його температура досягає 15000 °С і вище. Струм до вольфрамового електрода підводять крізь мундштук 2, а до корпусу пальника – поблизу сопла.

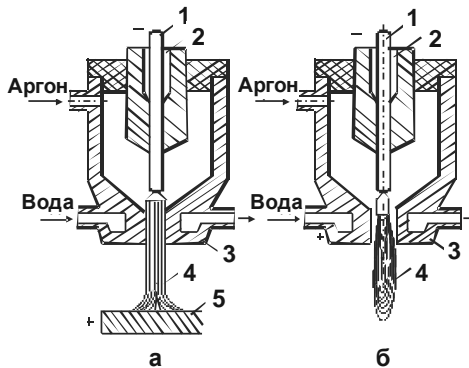


Рисунок 7.34 – Схеми пальників для плазмового наплавлення

Плазмоутворювальним газом є аргон. Плазмовою дугою зварюють вуглецеві і нержавіючі сталі, тугоплавкі й кольорові метали, а також неметалеві матеріали від кількох міліметрів і більше.

**Зварювання вибухом** полягає у зварюванні листів, розміщених один над одним за рахунок вибуху порошу або гексогену, під час якого

виникає величезний тиск, який сприяє пластичній деформації й розплавленню мікроділянок, внаслідок чого з'єднуються однорідні й різно-рідні метали.

*Наплавлення твердих сплавів* – це процес нанесення шару сплаву потрібного складу й властивостей на робочу поверхню виробу, з метою надання їй високої твердості і стійкості проти спрацювання.

Ручне дугове наплавлення застосовують для штампів, інструменту, зубів екскаваторів тощо. Автоматичне і напівавтоматичне наплавлення здійснюють під флюсом у захисних газах спеціальним наплавлювальним дротом (так наплавляють колінчаті вали, вали прокатних станів, ножі землерийних машин).

Наплавлення газовим полум'ям використовують для відновлення різних дрібних деталей з чавуну, сталі, міді, латуні, бронзи, алюмінію.

Наплавлення плазмовою дугою прямої дії здійснюють з використанням зварювальних дротів, стрічок, порошоків для ріжучих інструментів та інших деталей. Різання металів ґрунтується на здатності металу, підігрітого газокисневим полум'ям до температури займання, згорати в струмені чистого різального кисню.

Ручний ацетиленокисневий різак (рис. 7.35) – це комбінація зварювального пальника 4 з окремою трубкою 3, призначеною для подачі різального струменя кисню. Наконечник різача має два зовнішніх 2 і п'ять внутрішніх змінних мундштуків 1.

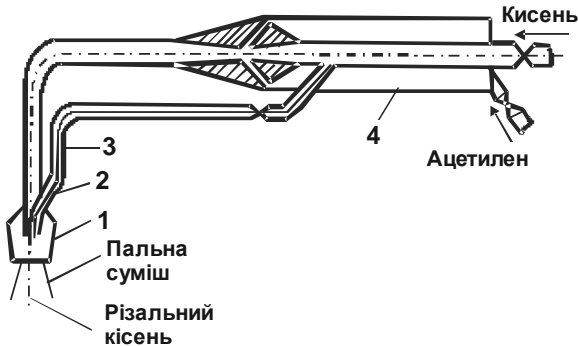


Рисунок 7.35 – Схема ацетиленокисневого різача

Пальна газокиснева суміш подається по зовнішньому мундштуку і біля виходу утворює підігрівальне полум'я. Різальний кисень надходить

по внутрішньому мундштуку 1. Зміст різання полягає у тому, що після нагрівання металу підігрівальним полум'ям до температури займання (на що витрачається залежно від товщини від 5 до 40 с) подається струмінь кисню і метал займається, що супроводжується виділенням значної кількості тепла, яке поширюється вниз, підігріває нижні шари металу до температури займання і так до кінця різання. Оксиди виділяються різальним киснем. Ручним різанням ріжуть сталь товщиною від 6 до 300 мм зі швидкістю 550 – 800 мм/хв. Спеціальними різачками сталь ріжуть товщиною 2 м і більше.

Дугове різання електродами ґрунтується на розплавленні металу дугою і видаленні його під тиском газів і самого рідкого металу. У процесі дугового різання сила струму складає від 400 до 1500 А. Його використовують для розбирання старих конструкцій, пропалювання отворів, різання чавунних і високолегованих виробів. Різання плазмовою дугою застосовують для листів алюмінію і його сплавів товщиною від 100 до 120 мм, нержавіючих сталей і мідних сплавів. Швидкість різання у 2 – 5 разів вище від газового.

Контроль якості зварювання полягає у випробуванні на щільність швів, для цього використовують: просвічування швів рентгеном, механічні, металографічні, ультразвуковий і магнітний методи контролю. На щільність випробовують усі посудини, котли трубопроводів під тиском, у 1,5 рази вищим від робочого. Механічне випробування швів здійснюють на зразках, які вирізають із зварювальних з'єднань. Металографічні дослідження дозволяють встановити наявність мікротріщин, оксидів, нітридів у шві. Рентгенівські просвічування дозволяють установити в швах пори, тріщини, непровари, шлакові вкраплення.

Ультразвуком виявляють дефекти: тріщини, непровари, шлакові вclusions, через які ультразвукові коливання не проходять і відображаються на екрані приладів. Магнітні методи використовують для контролю і виявлення тріщин, непроварів та ін. Вони ґрунтуються на принципі магнітного розсіювання, що виникає у місцях дефектів, за допомогою магнітного порошку, який втягується у потік розсіювання і накопичується над дефектом. Індукційні методи контролю передбачають використання електрорушійної сили, яка виникає в результаті індукції у спеціальній котушці потоком магнітного розсіювання, який виникає в місцях дефектів. Ця рушійна сила трансформується у звук, спалах лампи чи відхилення стрілки на приборі.

## Основи термічної обробки металів

Термічною обробкою називають процеси, які об'єднують нагрівання сплаву до певної температури, витримку при заданій температурі і наступне охолодження зі встановленою швидкістю (рис. 7.36) [60, 67].

Нагрівання і наступне охолодження сприяють зміні внутрішньої будови структури сплавів і, як наслідок, зміні механічних, технологічних та інших властивостей.

У машинобудуванні термічна обробка дозволяє, не змінюючи хімічного складу металу, широко змінювати властивості його в певному напрямі. Іноді вона може бути проміжною операцією, яка надає покращення обробці сплавів тиском, різанням тощо, в інших випадках – забезпечує необхідний комплекс кінцевих механічних, фізичних і хімічних властивостей виробів.

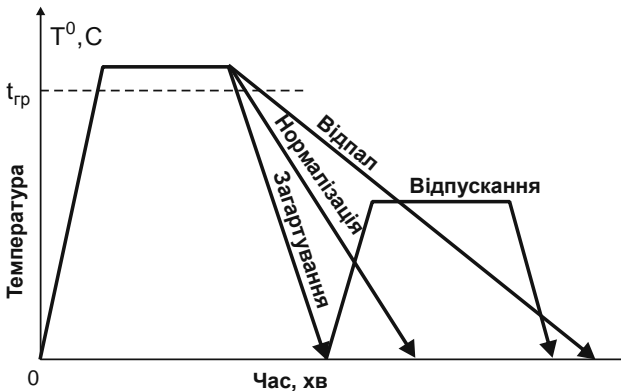


Рисунок 7.36 – Схема термічної обробки

Залежно від фазових і структурних змін у металі під час нагрівання і охолодження, розрізняють наступні види термічної обробки: відпал, нормалізацію, загартування і відпускання.

*Відпалом* вважають нагрівання сталі до заданої температури (звичайно вищої від температури фазових перетворень), витримка при такій температурі, а потім повільне охолодження. Відпал використовують для зняття внутрішніх напружень металу, вирівнювання його хімічного складу, усунення структурної різноманітності. Після відпалу сталь стає м'якою, пластичною, підвищується її ударна в'язкість і покращується її механічна обробка.



Залежно від температури нагрівання і внутрішніх перетворень в сталях розрізняють декілька видів відпалу (рис. 7.37,а). Вибір температури нагрівання для різних видів термічної обробки виконується по діаграмі "залізо – вуглець". Для скорочення лінії діаграми PSK, GS і SE в даному разі прийнято позначати відповідно  $AC_1$ ,  $AC_3$  і  $AC_m$ .

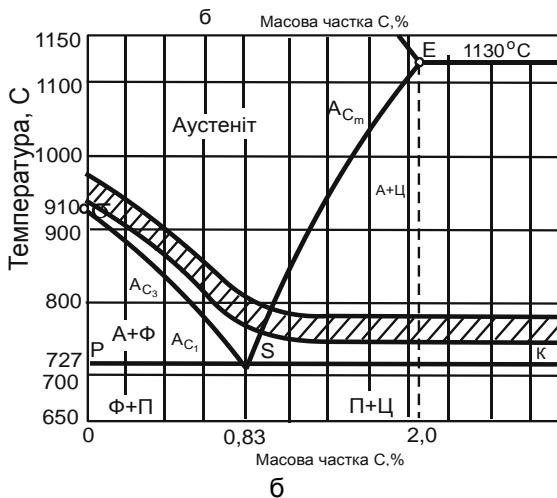
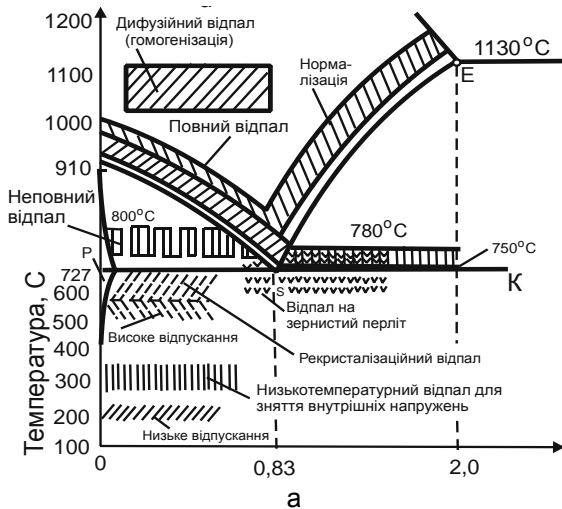


Рисунок 7.37 – Вибір температурного режиму термічної обробки сталей за діаграмою "залізо – вуглець"

*Дифузійний відпал* найбільш високотемпературний, і його використовують для одержання рівномірної за хімічним складом і розміром зерна структури виливків із легованої сталі, для якої характерні ці властивості. Нагрівання за температурою 1100 – 1150 °С і витримка до 80 – 100 годин забезпечує процеси дифузії вуглецю і різних легувальних елементів усередині аустенітного зерна, а фазова перекристалізація знищує дендритну структуру, яка дуже шкідлива для металу, оскільки сприяє його руйнуванню під час механічної обробки.

*Повний відпал* є фазовою перекристалізацією, яка звільняє від недоліків структури металу, що виникають під час одержання виливків, зварювання металу (грубозернистість, залишкове напруження), у процесі гарячої обробки металу тиском (грубозернистість, залишкове напруження) або від перегрівання під час дифузійного відпалу. Нагрівають метал при повному відпалі на 30 – 50 °С вище лінії АС<sub>3</sub> із наступним охолодженням разом із піччю. Продовжується це від 12 до 20 годин залежно від хімічного складу сталі та розмірів деталей. Після цього відпалу з'являється дрібнозерниста і достатньо однорідна ферит-перлітна структура, зникають внутрішнє напруження і волокниста структура.

*Неповний відпал* здійснюють шляхом нагрівання деталей до температури, вищої від критичної точки АС<sub>1</sub> на 30 – 50 °С, потім витримують за цієї температури й повільно охолоджують. Цей відпал використовують для перекристалізації перліту, звільнення від внутрішнього напруження, покращення обробки механічними способами заевтектоїдних сталей.

*Ізотермічний відпал* полягає у тому ж нагріванні деталі до температури, вищої від критичної на 30 – 50 °С (як і при звичайному відпалі), витримці при цій температурі і значно швидшому охолодженні до температури 600 – 650 °С. При цій температурі знову роблять витримку, яка необхідна для повного розпаду аустеніту, після чого відбувається швидке охолодження. Ізотермічний відпал використовують, головним чином, для термічної обробки легованих сталей. Він дозволяє скоротити період відпалу з 13 – 15 годин до 4 – 6 годин.

*Ступінчастий відпал* полягає у нагріванні деталі до температури, вищої від критичної температури АС<sub>1</sub> (727 °С) на 30 – 50 °С, витримці при цій температурі й повільному охолодженні. Метою цього відпалу є перетворення пластинчатого перліту в зернистий (глобулярний). Відпал на зернистий перліт (сфероїризація) найчастіше застосовують

з евтектоїдними і заевтектоїдними сталями, які потрібні для деталей з високими величинами відносного подовження і відносного скорочення.

*Нормалізація* – це нагрівання сталі до температури, вищої від лінії GS або SE на 50 – 60 °C ( $AC_3$  і  $AC_1$ ), коротка витримка при цій температурі і потім повільне охолодження на повітрі. Нормалізація сприяє роздрібненню і однорідності структури, знімає внутрішні напруження і сітку вторинного цементиту в заевтектоїдних сталях. Найчастіше нормалізують фасонні виливки, поковки, штамповки та прокатні вироби.

*Гартування* полягає у нагріві сталі до вищих від критичних температур  $AC_1$ , і  $AC_3$  на 30 – 50 °C, витримці при цій температурі і швидкому охолодженні у воді, маслі чи інших охолоджувальних середовищах. Щоб визначити рівень нагрівання в процесі загартування, необхідно розглянути діаграму стану сплавів "залізо – вуглець" (доевтектоїдні і заевтектоїдні сталі). Головна мета гартування – одержання високої твердості й міцності, яких досягають за рахунок зміни структури під час нагрівання й охолодження внаслідок появи нестійких твердих структур – мартенситу, трооститу та сорбіту.

Нагріванням під загартування досягається перехід у твердий розчин вуглецю. У процесі швидкого охолодження досягається таке переохолодження аустеніту, за якого вуглець не може вийти з твердого розчину. Така структура переохолодженого аустеніту, що є насильно збереженим при кімнатній температурі твердим розчином вуглецю в залізі, називається мартенситом. Мінімальна швидкість охолодження, необхідна для переохолодження аустеніту до утворення мартенситної структури, називається критичною швидкістю загартування. З усіх структур мартенсит має максимальну твердість і міцність, однак він крихкий і має голчасту будову. Якщо швидкість охолодження сталі менша від критичної швидкості загартування, то утворюється змішана структура мартенситу і дрібнодисперсного перліту, що називається трооститом.

На рис. 7.38 наведено діаграму ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту в сталі У8А. Дотична лінія, проведена до лівої кривої, визначає критичну швидкість охолодження. Це та найменша швидкість, за якої у сталі утворюється тільки один мартенсит.

Ліва крива на діаграмі показує початок розпаду переохолодженого аустеніту, а права – кінець розпаду. Проміжок між ними характеризує тривалість розпаду. Варто звернути увагу, що при температурі 500 °C розпад переохолодженого аустеніту починається буквально через одну

секунду, а при температурах 700 °С чи 300 °С стійкість переохолодженого аустеніту досить велика: він не розпадається протягом декількох десятків, а іноді і сотень секунд. Розпад аустеніту за різних температур супроводжується різною будовою ферито-цементитної суміші.

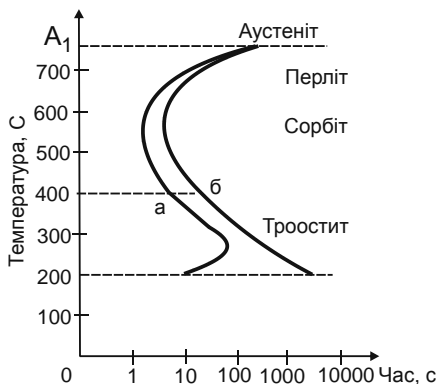


Рисунок 7.38 – Діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту сталі У8А

В інтервалі зміни температур 650 – 700 °С формується грубозерниста ферито-цементитна суміш, яка називається перлітом. За температур близько 500 °С формується суміш із більш дрібною будовою зерен, що називається сорбітом. За більш низьких температур (аж до температури мартенситного перетворення) виходить дуже дисперсна суміш, яка називається трооститом. Поверхня деталі, що безпосередньо стикається з охолодженим середовищем, швидко віддає тепло, тобто охолоджується з великою швидкістю.

Відведення тепла з глибинних шарів погане. Отже, в міру віддалення шарів від поверхні швидкість їхнього охолодження буде зменшуватися.

Хімічний склад сталі впливає на температуру нагрівання. Наприклад, доевтектоїдну сталь нагрівають вище критичної температури  $AC_3$  на 30 – 50 °С, а евтектоїдну і заевтектоїдну – нагрівають вище  $AC_1$  (727 °С) на 30 – 50 °С. Температура нагрівання заевтектоїдних сталей частіше 770 – 780 °С. Нагрівання здійснюють повільно, щоб уникнути появи напруження та щілин у металі. Час нагрівання і витримка після нагрівання залежить від складу сталі, форми деталі та її розміру. Час витримки повинен забезпечити процес перетворення ферито-цементитної суміші в аустеніт. Найчастіше період витримки займає 25 % загального часу нагрівання (рис. 7.39 і рис. 7.40).

Велике значення в гартуванні має вибір гартувального середовища. Середньовуглецеві сталі дуже часто гартують у воді при температурі 18 °С, а в основному гартування виконують в маслі. Властивість сталі гартуватись на якусь глибину називають *прожарюваням*. Залеж-

но від товщини шару розрізняють об'ємне і поверхневе гартування. Об'ємне гартування розділяють на декілька видів.

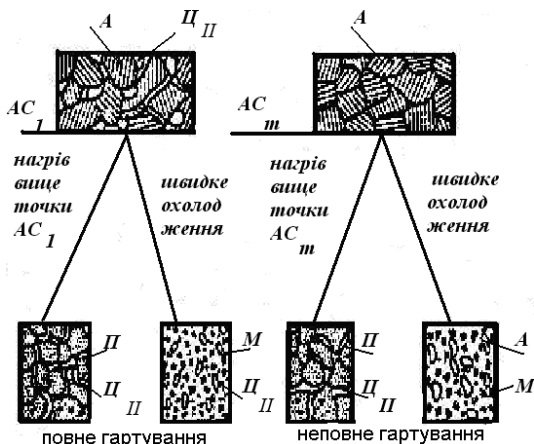


Рисунок 7.39 – Структурні перетворення в доевтектондній сталі під час гартування

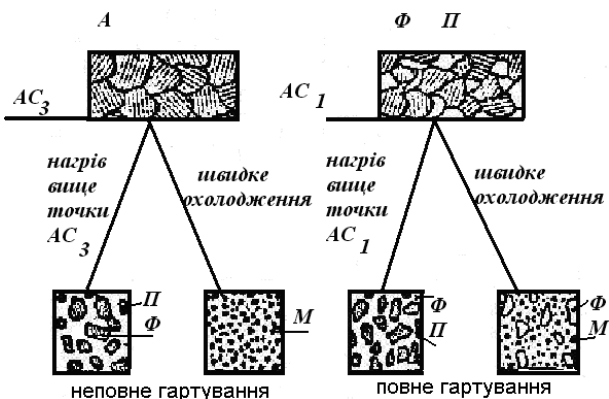


Рисунок 7.40 – Структурні перетворення в заевтектондній сталі під час гартування

Гартування в одному охолоджувачі полягає в тому, що нагріту до температури гартування деталь з вуглецевих сталей занурюють у воду, з легированих сталей – у масло, і витримують її там до повного охолодження. Головним недоліком цього способу є виникнення високих термічних напруг внаслідок швидкої зміни температур.

*Ступінчасте гартування* полягає в швидкому охолодженні у двох різних охолоджувальних середовищах. Першим середовищем є розплавлена сіль або масло з температурою, на 20 – 30 °С вищою від точки початку мартенситового перетворення сталі. Деякий час деталь витримують у цьому середовищі для одержання рівномірної температури по перерізу деталі та структури аустеніту. Другим охолоджувальним середовищем є повітря, при цьому аустеніт перетворюється в мартенсит. Цей метод більш надійний, забезпечує добре з'єднання високої в'язкості й міцності. Його використовують для вуглецевих сталей (це деталі в перерізі не більше 10 мм), а також для легованих сталей з перерізом до 30 мм.

*Ізотермічне гартування*, як і ступінчасте, виконується у двох середовищах, але при цьому витримка в гартувальному середовищі більша. Температура середовища (соляні, селітрові або лугові ванни) залежить від хімічного складу сталі, а витримка деталі сприяє перетворенню аустеніту в голковий троостит. Після ізотермічного гартування високолеговані сталі мають значно вищу міцність.

*Гартування із обробкою холодом* полягає у охолодженні деталі, яка має залишковий аустеніт після гартування. Охолодження ведуть до 70 °С, внаслідок чого залишковий аустеніт перетворюється у мартенсит. Використовують цей метод для обробки високовуглецевих (до 0,6 %) і спеціальних інструментальних та шарикопідшипникових сталей.

*Світле гартування* полягає в нагріванні деталей у спеціальних печах із захисним середовищем або в ваннах із розплавленими хлористими солями з метою одержання неокисленої, світлої поверхні деталей. Після світлого гартування деталі вимивають в гарячій воді від залишків солей.

*Поверхнєве гартування* має на меті надання поверхні деталей (валам, зубчастим колесам) міцності, високого опору до зношування і водночас в'язкості серцевини, яка забезпечує опір удару. Залежно від нагрівання, поверхнєве гартування буває індукційним, контактним, газополум'яним і в електроліті.

*Індукційне гартування* засноване на тому, що електричний струм високої частоти, проходячи через провідник-індуктор, збуджує навколо нього електромагнітне поле. На поверхні деталі індукується вихровий струм, який швидко нагріває поверхню до високої температури, якої досить для забезпечення фазових перетворень ферит-цементитної

суміші в аустеніт. Після охолодження поверхня деталі має структуру мартенситу. Змінюючи напругу струму, можна регулювати температуру і швидкість нагрівання, а регулюючи частоту струму, можна отримати різну товщину загартованої поверхні деталі. Перевага способу полягає у високій продуктивності, економічності процесу, відсутності окисного і безвуглецевого шару на загартованій поверхні; дуже незначна кількість деформованих деталей після гартування.

*Поверхнєве гартування контактним нагріванням* полягає в тому, що струм із мережі через знижувальний трансформатор подається до мідних роликів, які перекочуються по поверхні деталі та нагрівають її. При цьому деталь виконує функції опору в замкненому колі. За роликami йде механізм, який забезпечує охолодження і гартування деталі.

*Газополум'яне гартування* засноване на швидкому нагріванні поверхні деталі полум'ям газових сумішей і наступному охолодженні їх водою або емульсією. Використовують його для гартування великих деталей простої форми із вуглецевих сталей.

*Гартування в електроліті* полягає в тому, що у ванну з електролітом (50 % розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) поміщують деталь і пропускають струм напругою 250 – 300 В. Анодом є ванна, а катодом – деталь. Навколо деталі виникає щільний шар водню з дуже високим опором, у зв'язку з чим воднева сорочка швидко нагрівається до температури, необхідної для гартування. Охолоджується деталь після вимкнення струму в електроліті, або її подають у спеціальний бак для гартування. Спосіб дуже простий, але сприяє захисту деталей від корозії.

*Відпускання* – це завершальна операція термічної обробки, яка формує структуру і властивості сталі. Головна мета відпускання – зняти внутрішні напруження, які виникли під час гартування, і отримати необхідну структуру. Зміст відпускання полягає в нагріванні сталі до температури, нижче  $A_{C1}$ , витримці при цій температурі й охолодженні. Залежно від температури нагрівання деталей, розрізняють низьке, середнє і високе відпускання.

*Низьке відпускання* проводять при температурі 150 – 250 °С із метою зменшення гартувальних напружень і залишення мартенситної структури. Низьке відпускання використовують для вуглецевих і легированих сталей, які працюють в умовах високої міцності та зносостійкості.

*Середнє відпускання* виконують при нагріванні до 350 – 500 °С для зниження твердості в пружинах та ресорних сталях.

*Високе відпускання* полягає в нагріванні деталі до температури 500 – 650 °С з метою одержання сорбіту для досягнення високої міцності, в'язкості і пластичності у середньовуглецевих сталях з 0,35 – 0,6 % вуглецю. Найбільшою за тривалістю частиною операції під час відпускання є час витримки після нагрівання, а щодо швидкості охолодження, то вона має другорядне значення.

*Термомеханічна обробка* сталей полягає у виконанні пластичної деформації і термічної обробки в одному технологічному процесі, який об'єднує водночас нагрівання, пластичне деформування і охолодження деталі. Існує два види термомеханічної обробки деталей – *високотемпературна* і *низькотемпературна* (рис. 7.41).

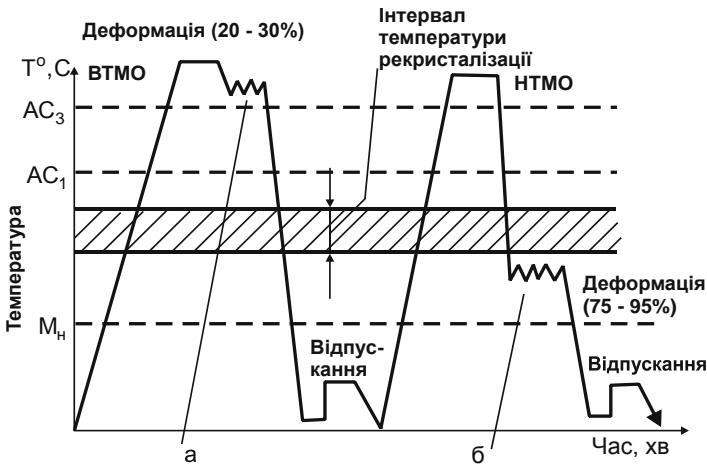


Рисунок 7.41 – Схеми термомеханічної обробки: високотемпературна (а); низькотемпературна (б)

*Високотемпературна* – виконується при температурі вище температури кристалізації, коли сталь має аустенітну структуру. При цьому ступінь деформації досягає 20 – 30 % після чого, щоб не допустити рекристалізації, відразу ж виконується гартування за температурою 1150 °С із наступним низькотемпературним відпусканням (100 – 200 °С).

*Низькотемпературна* обробка виконується переважно для легуваних сталей за температури, нижчої від температури рекристалізації (400 – 600 °С). Ступінь деформації – 75 ... 95 %. Гартування виконується після деформації з обов'язковим низькотемпературним (100 – 200 °С)



відпусканням. Порівняно зі звичайним гартуванням після термомеханічної обробки механічні властивості більш високі. Так, після низькотемпературної механічної обробки межа міцності й відносне подовження мають відповідно високі значення  $\sigma_b = 2800 - 3300$  МПа,  $\delta = 6$  %, а після звичайного гартування – не перевищують наступних значень:  $\sigma_b = 2000 - 2200$  МПа,  $\delta = 3 - 4$  %.

*Хіміко-термічна обробка сталей* становить процес дифузійного насичення поверхні виробів вуглецем, азотом, бором, кремнієм та іншими елементами окремо або декількома водночас за високих температур. Головна мета – надання поверхні твердості, міцності, зносостійкості, опору до ударних навантажень, жароміцності, жаростійкості, опору до корозії. Види хіміко-термічної обробки наведено на рис. 7.42.

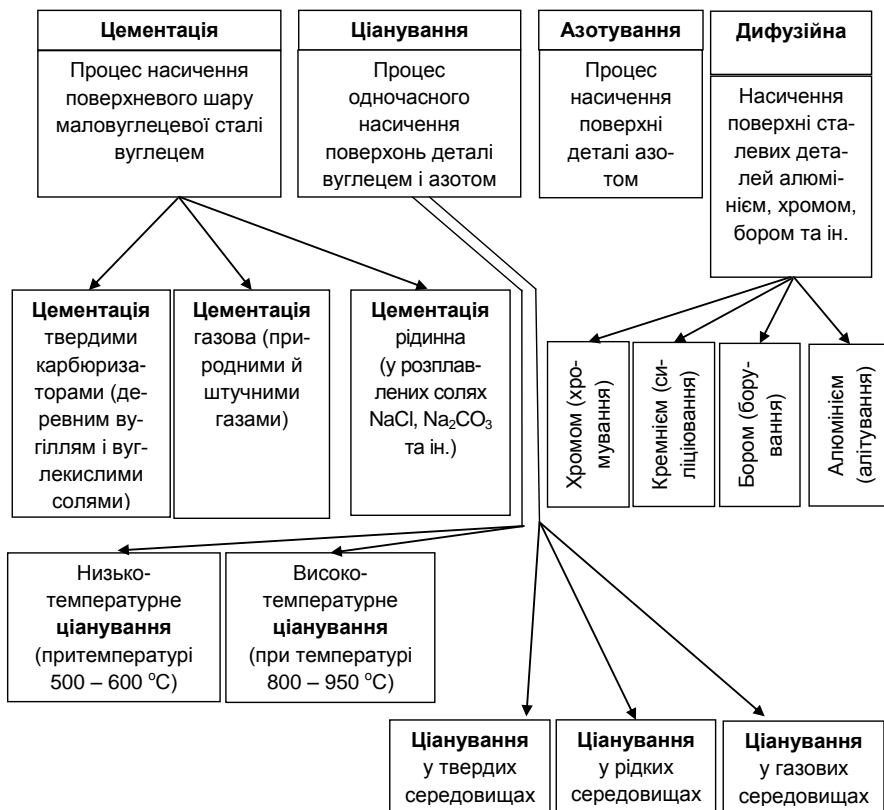


Рисунок 7.42 – Види хіміко-термічної обробки

Хіміко-термічна обробка характерна для трьох одночасно діючих процесів. Перший процес – дисоціація, яка полягає в розпаді молекул і утворенні дифундуючого елемента в атомарному стані. Другий процес – абсорбція, або взаємодія атомів дифундуючого елемента з поверхнею виробу і проникнення їх в решітку заліза. Третій процес – дифузія, або проникнення атомів насиченого елемента в глибину металу.

Розрізняють 4 найбільш поширені види хіміко-термічної обробки сталей: цементування, азотування, ціанування і дифузійну металізацію.

*Цементування* – процес насичення поверхні виробів вуглецем і надання їй міцності при збереженні м'якої серцевини. Найчастіше цементують низьковуглецеві сталі до 0,25 % вуглецю, які працюють в умовах змінних ударних напруг і великого зносу, – автомобільні зубчасті колеса, шестерні, поршневі кільця, втулки, пальці. Температура цементації – 900 – 970 °С. Товщина навуглецьованого шару під час цементації змінюється від 0,1 до 4 мм, а вміст вуглецю в ньому – 0,8 – 1,2 %.

Залежно від карбюризатора цементацію підрозділяють на три види: цементація твердим карбюризатором (75 % деревного вугілля і 25 %  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ), газова цементація (метан, пропан, природний газ), рідинна цементація (розплавлені солі: 80 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 10 %  $\text{NaCl}$ ; 10 %  $\text{SiC}$ ).

*Цементацію твердим карбюризатором* виконують шляхом нагрівання деталей у ящиках з карбюризатором до температури 900 – 950 °С і витримки від 20 до 10 годин. Глибина цементувального шару – від 0,5 до 3,0 мм, концентрація вуглецю на поверхні деталі – від 0,9 до 1,2 %. Після цементації деталі підлягають подвійному гартуванню і відпусканню. Перше гартування виконують за температури 880 – 900 °С для виправлення серцевини деталі, а друге – за температури 770 – 780 °С для запобігання перегріванню й надання високої міцності цементованому шару. Відпускання здійснюють за низької температури 150 – 180 °С для зняття напруження.

*Газова цементація* здійснюється в печі за температури 900 – 1000 °С, куди весь час подають газ. Порівняно з цементацією твердим карбюризатором, газова відбувається у 2 – 2,5 рази швидше і використовується у великосерійному і масовому виробництві.

*Рідинна цементація* проводиться в соляних ваннах за температури 840 – 860 °С від 30 хвилин до 2,5 годин залежно від складу сталей і розміру деталей. Глибина цементованого шару – від 0,3 до 0,7 мм.

*Азотування* передбачає насичення поверхні сталі азотом в атмосфері аміаку, яке ведуть в шахтових чи муфельних печах під тиском аміаку від 50 до 100 мм вод. ст. за температури 500 – 600 °С протягом 4 – 12 годин з метою надання поверхні високої міцності, зносостійкості, захисту від корозії, втомлюваності металу. Під час дії на метал вільного азоту за температури 500 – 600 °С атомарний азот утворює з елементами сталі (хромом, ванадієм, титаном, залізом) різноманітні нітриди, які мають високу міцність. Товщина азотованого шару – від 0,2 до 0,8 мм (за 24 – 60 годин). Перед азотуванням деталі виключно з легованих сталей підлягають гартуванню та високому відпусканню (за температури 600 – 675 °С) з метою підвищення їх механічних властивостей. Перевага азотування порівняно з цементацією полягає в незначній зміні й скручуванні деталей у зв'язку із низькою температурою нагрівання. Після азотування деталі добре працюють в атмосфері, а також у прісній і солоній воді, мають високу стійкість проти зношування.

*Ціанування* – процес одночасної дифузії в поверхню деталей вуглецю і азоту в рідинному або газовому середовищах. Вміст вуглецю в ціанованому шарі – 0,6 – 0,8 %, тобто менший, ніж під час цементації. Після ціанування деталі піддаються загартуванню. Спеціального нагрівання під загартування не потрібно. Деталь з ціанистої ванни занурається в гартівний бак за температури нагрівання 760 – 780 °С із наступним охолодженням в маслі і низьким відпусканням за температури 150 – 170 °С. У процесі рідинного ціанування деталі нагрівають у соляній ванні. До складу ванни входить ціанистий натрій (50 – 55 %), кальцієва сода (25 – 30 %), кухонна сіль (15 – 20 %). Під час нагрівання внаслідок окислення і дисоціації ціанистих солей виникає активний азот і вуглець, які дифундують у поверхневий шар деталі.

Газове ціанування відбувається в газовому середовищі, що складається із суміші 70 – 80 % цементувального газу і 20 – 30 % аміаку в спеціально пристосованих для цього печах. Газове ціанування, як і рідинне, здійснюється за низьких (550 °С) і високих (750 – 900 °С) температур. У процесі низькотемпературного ціанування (500 – 600 °С) азот дифундує в поверхню активніше від вуглецю. Здебільшого таке ціанування використовують для швидкорізальних сталей. У процесі високотемпературного ціанування (900 – 950 °С) вуглець дифундує в поверхню деталей активніше від азоту. Використовують його для легованих сталей з низьким і середнім вмістом вуглецю.

*Нітроцементация* – це процес насичення поверхні деталей одночасно вуглецем і азотом у середовищі з 40 % водню і 20 % оксиду вуглецю за температури 850 – 870 °С протягом 4 – 10 годин. Головна мета – підвищення зносостійкості, межі витримки на вигин, міцності та стійкості до корозії. Нітроцементацию широко використовують в автомобільному і автотракторному виробництві.

*Борування* – це процес насичення поверхні виробів з низько- і середньовуглецевих сталей бором під час нагрівання в середовищі бору. Його використовують для підвищення міцності, зносостійкості, окалинотійкості, корозійної стійкості. Процес здійснюють за температури 850 – 950 °С протягом 2 – 6 годин. Товщина поверхневого шару боридів – від 0,1 до 0,2 мм.

*Дифузійна металізація* – процес дифузійного насичення поверхні деталей металами з метою надання їх поверхні вогнетривкості, корозійної стійкості, зносостійкості, міцності. Дифузійна металізація може виконуватись у твердих, рідких і газових середовищах. Для твердої дифузійної металізації використовують феросплави з домішкою хлористого аміаку (від 0,5 до 5 %). Рідинну дифузійну металізацію здійснюють занурюванням деталі в розплавлений метал (алюміній, цинк тощо). Газову дифузійну металізацію виконують у газових середовищах – частіше в хлоридах різних металів. Поверхнєве насичення проводиться за температур 900 – 1200 °С. Використовують також багатокомпонентне насичення поверхні деталей. Найбільш часто використовують дифузійну металізацію: силіціювання, алітування, хромування, цинкування.

*Силіціювання* – це насичення поверхні виробів кремнієм з метою підвищення корозійної стійкості, теплостійкості, зносостійкості. Наприклад, для гнізд клапанів, вкладишів підшипників, роторів водяних насосів, сорочок циліндрів, трубопровідної арматури, труб судових механізмів.

*Алітування* – це процес насичення поверхні металів алюмінієм для підвищення окалинотійкості, ерозійної стійкості чавунів, сталей і мідних сполук. Алітування виконують у порошкоподібних сумішах, у ваннах з розплавленим алюмінієм, у газових середовищах і рідкому алюмінії. Найчастіше використовують порошки з насиченням із газової фази. На поверхні виникає міцна плівка оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ , яка запобігає окисненню виробів, що пройшли алітування. Алітування вико-

нують за температури 950 – 1050 °С протягом 3 – 12 годин. Товщина шару може становити від 0,2 до 0,8 мм. Вакуумне алітування дозволяє одержувати покриття високої чистоти.

*Хромування* – процес насичення поверхні виробів хромом для підвищення корозійної стійкості, міцності, зносостійкості. Найбільше поширення має хромування в порошкоподібних сумішах ферохрому або хрому, хлористого алюмінію і оксиду алюмінію. Хромування виконується за температури 1000 – 1050 °С протягом 6 – 12 годин. Товщина шару хромування – до 0,2 мм. Найчастіше хромують вироби з низьковуглецевих сталей (клапани компресорів, матриці штампів для холодної висадки та ін.).

*Цинкування* – це процес покриття металу цинком, для чого вироби, очищені й підготовлені для покривання, занурюють у ванну з розплавленим цинком за температури 450 – 480 °С. Під час гарячого цинкування на поверхні деталі з'являється залізо-цинковий сплав, внутрішній шар якого, збагачений залізом (до 80 %), становить сполуку заліза з цинком  $FeZn_7$ , а зовнішній шар, збагачений цинком до 20 %, є сполукою  $FeZn_{13}$ . Під час вилучення виробів з ванни на поверхні шару залізо-цинкового сплаву з'являється шар цинку, який дає під час кристалізації "кольори цинку".

Також існує метод нанесення захисного шару цинку на вироби шляхом спільного нагрівання їх із цинковим пилом за температури, близької до температури плавлення цинку (440 °С). Використовують його для покриття невеликих залізних виробів, деталей електроустаткування, болтів та гайок.

*Корозія металів* є процесом руйнування металів і сплавів, який відбувається під впливом хімічних або електрохімічних явищ. Хімічна корозія – це руйнування металу під дією газів або неелектролітів (бензину, масел). *Електрохімічна корозія* – це процес, який відбувається під впливом на метал електролітів (водні розчини соди, кислот, лугів, вологе повітря і інше). Корозія буває трьох видів: рівномірною, коли метал руйнується однаково по всій поверхні, місцева корозія, коли руйнування металу наявне на деяких, незначних місцях поверхні металу, міжкристалічна корозія, яка руйнує метал на гранях зерен у глибині металу і зовні себе не проявляє.

Хімічно стійкими матеріалами є ті, які мають властивості протистояти руйнівній силі корозії. Вони поділяються на металічні (дуже

чисті) і неметалічні (силікати, пластмаси, каучук, вугілля, графіт, лаки і фарби). Металічні стійкі матеріали підрозділяють на: залізні сплави, мідь та її сплави, свинець і його сплави, алюміній і його сплави, благородні метали.

Захист металів від корозії поділяють на такі методи: електрохімічні, обробка зовнішнього середовища, захисні покриття.

*Електрохімічний захист* полягає у використанні протекторів, тобто до конструкції прикріплюють метал, який у даному середовищі менш стійкий і руйнується під дією корозії, захищаючи основну конструкцію (котли, конденсатори, трубопроводи, судна, літаки). Електрозахист полягає в тому, що конструкцію з'єднують з негативним полюсом джерела постійного струму (динамо-машиною, акумулятором, вимірювачем), а позитивний полюс з'єднують з пластинкою будь-якого металу (чавуну, сталі, свинцю) і занурюють її в той самий електроліт, у якому є основна конструкція. Пластинка в таких умовах стає анодом, а основна конструкція – катодом, навколо якого виділяється водень і навколока-тодний шар захисту.

*Обробка насколишнього середовища* полягає у обробці корозійного середовища спеціальними домішками, які упереджують корозію. Наприклад, кисень з води відокремлюють шляхом пропускання її через металеву стружку (залізну, магнієву або цинкову), яка має велику спорідненість із киснем. Відокремлення кисню із води також проводять обробкою її сульфатом і бісульфатом натрію тощо.

*Захисні покриття* поділяють на металеві, неметалеві й хімічні.

Металеві способи поділяють на *гальванічний, плакування, металізацію, дифузійний і гарячий*.

*Гальванічний метод* покривання полягає у нанесенні на поверхню виробів тонкого шару іншого, більш стійкого металу, із розчину солі. Це покриття залізних виробів цинком, оловом, кадмієм, свинцем, нікелем, міддю, хромом, сріблом, золотом та їх сплавами. Гальванічні покриття виконують у ваннах, де катодом є деталь, на якій осідає з розчину захисний метал товщиною 0,005 – 0,03 мм під час пропускання постійного струму. Анодне покривання виконують металом, електродний потенціал якого в середовищі нижчий від електродного потенціалу захисного металу, тобто відбувається заміщення основного металу (покривання заліза цинком і кадмієм). Катодне покривання здійснюють металами, електродний потенціал яких в електроліті вищий від потен-

ціалу основного металу (покривання заліза оловом, міддю, нікелем). У процесі руйнування покриття починається корозія металу, захисні властивості не діють.

*Плакування* – це одержання біметалу, де серцевиною є маловуглецева м'яка сталь, а на поверхні методом прокатування наносять шар міді або якогось іншого металу (алюмінію, бронзи).

*Металізація* – нанесення розплавленого металу на поверхню виробів пульверизатором. Широке розповсюдження має покривання алюмінієм, оловом, свинцем, кадмієм, міддю, бронзою, нікелем. Суть технології полягає в тому, що частинки розплавленого металу вилітають з металізатора (пістолета) з великою швидкістю (до 300 м/с), під значним тиском б'ються об поверхню виробів і проникають у пори, впадини, осідають на поверхні і покривають її твердим шаром.

*Дифузійне покривання* полягає у спільному нагріванні до високої температури виробів у порошку захисного металу. Це такі способи, як алітування – покривання алюмінієм, хромування – покривання хромом, силіціювання – покривання кремнієм, або їх сплавами: хром-алітування – хром з алюмінієм, хром-силіціювання – хром з кремнієм.

*Гарячі способи покривання* об'єднують цинкування, луження і свинцювання. Для цього очищені деталі занурюють у ванни з розплавленим металом і витримують їх там деякий час. Поверхня виробів змочується захисним металом і частково сплавляється з ним, що приводить до виникнення на поверхні деталі тонкого шару покриття. Товщина шару залежить від періоду витримки і температури, за якої виконують покривання.

*Цинкування* проводять у ваннах з розплавленим цинком за температури 450 – 480 °С. Оцинковують листи заліза, різні сталеві та чавунні деталі.

*Луження* – покривання листів заліза, котлів, посуду оловом у ваннах за температури 270 – 300 °С.

*Свинцювання* використовують для надання виробам стійкості проти кислот і хімічних розчинів. Температура розплавлення у ванні – 340 – 450 °С, а технологія нанесення покриття аналогічна до луження.

*Неметалеве покривання* включає: оксидування, фосфатування, емалювання, азотування, гумування і фарбування.

*Оксидування* – це процес штучного утворення оксидної плівки на поверхні деталі. Оксидна плівка на поверхнях деталей з чорних ме-

талів складається з дрібних кристалів магнітного окису заліза  $Fe_3O_4$  і має товщину до 3 мкм, пориста будова і міцне зчеплення з підкладкою (поверхнею деталі). Завдяки структурним особливостям оксидна плівка добре утримує змащення, усуває заїдання в парі тертя. Оксидну плівку можна одержати хімічною, електрохімічною, термічною чи термохімічною обробкою.

*Хімічна обробка* проводиться лужних і кислотних ваннах за температури розчину 120 – 150 °С тривалістю до 2 годин. Хімічне оксидування виконують занурюванням підготовлених деталей у киплячий розчин із каустичної соди, азотнокислого і азотистокислого натрію, після чого деталі промивають у воді. Наприклад, технологічний процес оксидування алюмінію і його сплавів об'єднує наступні операції: очищення деталей у їдкому натрії і рідкому склі за температури 66 – 70 °С; промивання в теплій воді за температури 50 – 60 °С; травлення в розчині їдкого натру за температури 50 °С; промивання в теплій і холодній воді; освітлення в азотній кислоті концентрації 30 %; промивання в холодній воді; оксидування анодне або хімічне; промивання в холодній воді; покривання фарбами; промивання в теплій воді; сушіння в сушильних шафах за температури 60 – 70 °С.

*Електрохімічна обробка* полягає в анодному оксидуванні в гарячих лужних розчинах окиснювачів.

*Термічне і термохімічне оксидування* проводиться шляхом нагрівання виробу в розплавленій селітрі. Інструменти зі швидкорізальної сталі, поршневі кільця, штовхальники клапанів та інші оксидують у середовищі водяної пари. Термічне оксидування (воронування і синіння) полягає в нагріванні в печах до температури 350 – 450 °С деталей, попередньо змочених тонким шаром лаку (розчин 15 – 25 % асфальтового або масляного лаку в бензині) і витримці протягом 12 – 20 хвилин для одержання гладенької поверхні чорного кольору (зброя та інше). *Синіння* (годинникові стрілки, волоски, стрічки, пружини) виконують у розплаві суміші із натрієвої і калієвої селітри, або натрію і калію за температури 310 – 350 °С, витримують у розчині, потім деталі промивають у розчині з 1 – 2 % мила.

*Фосфатування* – процес утворення на поверхні металу плівки нерозчинних солей-фосфатів. Використовують для захисту від корозії деталі з чавуну, сталі, а також для нанесення ґрунту під лакофарбовальні покриття. Метал після фосфатування, покритий лаками, стає



корозійностійким. Фосфатування буває хімічно-нормальним (у ванні), хімічно прискореним (у струмені розчину) і електрохімічним.

*Хімічно нормальне фосфатування* виконують у розчині з 46 – 52 % фосфорного ангідриду, 14 % марганцю і 3 % заліза протягом 35 – 50 хвилин за температури 96 – 98 °С.

*Хімічно прискорене фосфатування* проводять для виробів, які потім покривають фарбами декілька разів. Здійснюють це в розчині суміші фосфату марганцю і заліза з додаванням прискорювачів, наприклад, азотнокислого калію. Тривалість процесу фосфатування – від 5 до 15 хвилин.

*Електрохімічне фосфатування* виконують у розчині з 0,2 – 0,4 % тіофосфату цинку змінним струмом з частотою 60 періодів за секунду за напруги 20 В і температурі розчину 60 – 70 °С. Витримують деталь у розчині 4 – 5 хвилин. Температура ванни для чорних металів – не більше –90 °С. Фосфатна плівка має товщину від 2 до 50 мкм і великокристалічну структуру. Жаростійкість плівки – 600 – 650 °С, вона стійка в атмосферних умовах і в масляному середовищі, має низьку твердість, високорозвинену пористу поверхню і міцно утримує змащення.

*Емалювання* об'єднує дві операції – ґрунтування і покривання емаллю. Емалювання виробів з кольорових металів ґрунтування не потребує. Ґрунтовий шар забезпечує добре з'єднання емалі з металевою поверхнею, а емаль захищає ґрунтове покриття від дії зовнішнього середовища. Склад ґрунтового шару має бути таким, щоб температура його плавлення була на 50 – 100 °С вищою від температури плавлення емалі. До складу ґрунту входять:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а також бура, фториди, каолін, шпати та ін.

Технологічний процес виготовлення емалі складається із операцій: зважування і роздрібнення компонентів емалі, замішування їх, розплавлення в печі за температури 1000 – 1500 °С і вище, гранулювання емалі шляхом виливання її у воду, роздрібнення емалі в порошок у кульових млинах.

Емалювання виконується мокрим і сухим способами. За мокрим методом із порошкової емалі, глини й води одержують шлікер, який є суспензією певної консистенції. Покривання виробів шлікером виконують занурюванням у розчин, розпилюванням або обливанням. Після цього вироби висушують і обпалюють у муфельних або електропечах. За сухого емалювання пудру емалі за допомогою механічних сит нано-

сять на гарячу поверхню виробів, які заздалегідь погрунтовані, після чого вироби обпалюють у печах. Тривалість нанесення емалі складає від 2 до 12 хвилин. Шар покриття – 0,07 – 0,2 мм.

*Гумування* полягає у покриванні виробів м'якою гумою або ебонітом (твердою гумою). Гума стійка в кислотах (фосфорній, соляній, оцтовій) незалежно від їх концентрації. Гумування виконують електрофорезом або покривають вироби гумовим клеєм. Гумування електрофорезом полягає в тому, що в процесі пропускання постійного струму через латекс, колоїдні частинки каучуку з негативним зарядом приєднуються до аноду (виробу) покривають його міцним шаром гуми. Метод використовують для покривання виробів складної конфігурації. Покривання виробів наклеюванням гуми полягає в нанесенні на чисту поверхню виробів гумового клею, сушіння його, наклеювання листової гуми, вулканізації у спеціальних котлах за температури 140 – 170 °С і тискові пари до 3 атмосфер, що забезпечує високу міцність з'єднання гуми з металом. Покривання виробів гумовим клеєм виконується шляхом обмазування або покривання розпилювачем.

*Фарбування* – процес нанесення і закріплення на поверхні виробів суцільної плівки фарби. Це найпоширеніший спосіб захисту металу від корозії, він використовується у близько 65 % усіх видів покривання. Технологічний процес нанесення фарбового покриття складається із операцій: підготовки виробів під фарбування (очищення від жирів, іржі та забруднень), ґрунтування (нанесення безпосередньо на поверхню виробів шару фарби, який забезпечує антикорозійні властивості всього покриття), шпаклювання – нанесення лакофарбовального шару на ґрунт для забезпечення рівності поверхні покриття. Фарбування – кінцева операція покривання фарбою виробів.

*Хімічне нікелювання.* Покриття зі сплаву нікель-фосфор може бути отримане електрохімічним і хімічним способами. Останній заснований на виділенні металів із водних розчинів їхніх солей.

### **Контрольні питання**

1. Чим відрізняється заготовка від деталі?
2. Які є три основні види заготовок?
3. У чому полягає сутність ливарного виробництва?
4. Які існують основні операції отримання виливків?
5. Із яких елементів складається ливникова система?

6. У чому полягає призначення та сутність литва у металеві форми (кокіль)?
7. Чим відрізняється спосіб отримання виливків литтям за виплавлюваними моделями порівняно із іншими способами лиття?
8. Назвіть методи порошкової металургії.
9. Які існують методи виготовлення заготовок обробкою металів тиском?
10. Які існують основні операції, що застосовують під час кування і штампування?
11. Призначення та сутність методу прокатування металів?
12. Що собою представляють прокатні стани?
13. На які види поділяють холодне штампування?
14. Які Ви знаєте способи зварювання металів? Які із них є найбільш ефективними?
15. У чому полягає сутність і ефективність лазерного зварювання металів?
16. Що таке плазма і для чого її застосовують під час зварювання металів?
17. У чому полягає ефект зварювання вибухом?
18. Якими методами можна виявити дефекти після зварювання металів?
19. У чому полягає сутність термічної обробки металів? Які є види термічної обробки?
20. Які є види гартування? Які умови їх застосування?
21. Що собою представляє термомеханічна обробка?
22. Які є види хіміко-термічної обробки? Які умови їхнього застосування?
23. Як називається технологічний процес насичення поверхні виробів вуглецем?
24. Як називається технологічний процес надання поверхні високої міцності, зносостійкості, захисту від корозії, втомлюваності металу?
25. Для чого застосовують свинцювання?
26. Які матеріали відносяться до хімічно стійких матеріалів?
27. Які Ви знаєте захисні покриття? Яке їх призначення?
28. Який вид заготовок має переваги під час серійного виробництва?
29. Для чого здійснюють фарбування поверхні?

## **Робота 8. Технологічні процеси обробки матеріалів різанням**

**Мета роботи** – ознайомити студентів із сучасними технологічними процесами обробки матеріалів різанням та умовами їх ефективного застосування.

### ***Загальні положення***

#### **Сутність технологічних процесів обробки матеріалів різанням**

*Обробкою матеріалів різанням* називають процес відокремлення ріжучими інструментами шару матеріалу із заготовки із метою виготовлення деталі необхідної форми, точних розмірів і відповідної шорсткості поверхонь.

Останнім часом все ширше використовують сучасні більш економічні методи виготовлення деталей – без зняття стружки (точне лиття, точне штампування, висадка тощо). Але більшості деталей остаточну форму і розміри надають обробкою матеріалів різанням на металоріжучих верстатах. Це пов'язано із тим, що тільки за допомогою обробки матеріалів різанням вдається задовольнити все зростаючі вимоги щодо точності розмірів і чистоти поверхонь. Тому обробка матеріалів різанням значною мірою визначає якість виготовлення машин, їхню точність, довговічність і надійність, а також вартість. У даний час процеси різання металів отримали найбільше застосування під час виготовлення деталей машин.

Незважаючи на те, що методи обробки деталей на металоріжучих верстатах безперервно вдосконалюються, трудомісткість верстатних робіт у машинобудуванні все ж становить найбільшу частку, досягаючи 30 ... 35 % від загальної трудомісткості виготовлення машин.

Слід зазначити, що за фізичною суттю процес різання – це механічний процес, у якому під дією навантаження із боку ріжучого інструменту відбувається зрізування металу із поверхні оброблюваної деталі. Процес різання здійснюється на металоріжучому верстаті, на якому закріплюють оброблювану деталь та інструмент. Верстат забезпечує певні рухи оброблюваної деталі та інструменту під час різання. Від технічного стану верстата залежать точність та якість виготовлення дета-

лей, продуктивність і собівартість обробки. Очевидно, чим жорсткіше верстат, тим вище точність обробки, чим більше потужність верстата, тим вище продуктивність обробки. Чим значніше технологічна оснащення верстата, наприклад, системою числового програмного управління (ЧПУ), тим більш складну деталь можна виготовити на верстаті та з більшою точністю і продуктивністю обробки.

**Основні рухи під час обробки матеріалів різанням.** Під час обробки різанням (точінням, свердлінням, фрезеруванням та ін.) заготовка і ріжучий інструмент повинні виконувати певні рухи. Їх поділяють на робочі, або рухи різання, установчі та допоміжні рухи. Робочі рухи призначено для зняття стружки, а установчі та допоміжні рухи – для підготовки до цього процесу.

*Установчі рухи* – це рухи робочих органів верстата, за допомогою яких інструмент займає таке положення відносно заготовки, яке б дозволило зняти певний шар матеріалу.

*Допоміжні рухи* – це рухи робочих органів верстата, що не мають прямого відношення до різання, наприклад, швидкі переміщення робочих органів, переключення швидкостей різання і подач тощо.

Робочі рухи поділяються на *головний рух* і *рух подачі*. За допомогою головного руху здійснюється зняття стружки, а рух подачі надає можливість розпочати процес і поширити його на необроблені ділянки поверхні заготовки.

У металоріжучих верстатах головний рух найчастіше буває обертальним (токарні, свердлильні, фрезерні, шліфувальні верстати) або прямолінійним (зворотно-поступальним – стругальні та довбальні верстати).

Головний рух може передаватися заготовці (верстати токарної групи, поздовжньо-стругальні верстати) або ріжучому інструменту (фрезерні, свердлильні, поперечно-стругальні верстати).

У верстатах із обертальним головним рухом рух подачі безперервний, завдяки чому процес різання є також безперервним.

У верстатах із зворотно-поступальним головним рухом робочий хід чергується із холостим ходом, рух подачі здійснюється перед початком кожного робочого ходу, а отже, процес різання є переривчастим.

У загальному вигляді поверхні деталей можуть бути прямолінійними і криволінійними (наприклад, плоскими, циліндричними та ін.). Для отримання заданої поверхні необхідно реалізувати на верстаті

певну кінематичну схему обробки, надаючи заготовці та інструменту відповідні рухи. Для цього у металорізючих верстатах використовують відповідні поєднання рівномірного прямолінійного та обертального рухів заготовки та інструменту. Прийнято вважати, що практично будь-яку геометричну поверхню заготовки можна отримати, якщо використовувати одну із восьми груп рухів [3]:

- 1 – один прямолінійний рух;
- 2 – два прямолінійних рухи;
- 3 – один обертальний рух;
- 4 – один обертальний та один прямолінійний рухи;
- 5 – два обертальні рухи;
- 6 – два прямолінійних та один обертальний рух;
- 7 – два обертальних та один прямолінійний рух;
- 8 – три обертальні рухи.

Наведені вісім груп рухів визначають різні методи обробки: точіння, розточування, свердління, фрезерування, нарізування різьблення, шліфування та ін. Наприклад, дві перші групи визначають методи обробки площин. Наступні групи – методи обробки циліндричних поверхонь та ін. Найбільш поширені перша та третя групи рухів.

Розглянемо більш детально рухи, які відбуваються під час точіння, свердління, фрезерування, стругання, протягання та шліфування, тобто для основних методів обробки матеріалів різанням.

Головним рухом із швидкістю  $V$  під час *точіння* (рис. 8.1,а) є обертання заготовки 2 навколо своєї вісі, а рухом подачі – поступальний рух інструмента 1 відносно заготовки.

Під час *фрезерування* (рис. 8.1,б) головним рухом є обертання інструмента 1, а рухом подачі – поступальне переміщення заготовки 2 або фрези. За умови застосування різноманітних фрез і фрезерних верстатів можна здійснити обробку різних поверхонь та їх комбінацій: площин, кривих поверхонь, уступів, пазів та ін.

Під час *свердління* отворів на свердлильних верстатах (рис. 8.1,в) головним рухом є обертання інструмента 1, а рухом подачі – переміщення інструмента вздовж своєї вісі. Під час свердління отворів на верстатах токарної групи головним рухом є обертання заготовки 2, а рух подачі здійснює свердло. Для остаточної обробки отворів також широко застосовують методи *зенкерування і розвертання*, які здійснюють осьовими багатолезовими інструментами – зенкером і розверткою.

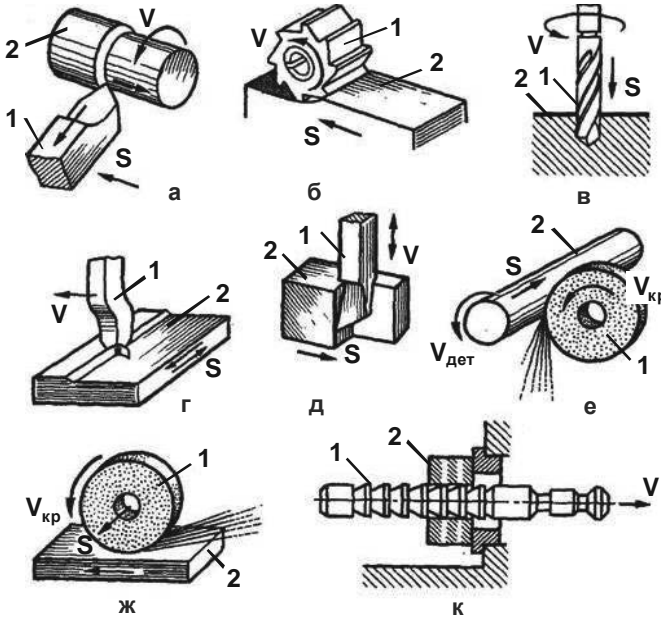


Рисунок 8.1 – Схеми основних методів обробки матеріалів різанням:

- 1 – інструмент 2 – заготовка; а – точіння; б – фрезерування;
- в – свердління (зенкування та розвертання); г – стругання;
- д – довбання; е – кругле зовнішнє шліфування;
- ж – плоске шліфування; к – протягання

Головним рухом під час *стругання* (рис. 8.1,г) є зворотно-поступальне переміщення різця 1 у поперечно-стругальних верстатах. Рухом подачі є періодичне переміщення заготовки або різця.

*Довбання* – спосіб обробки різцем площин або фасонних поверхонь (рис. 8.1,д). Головний рух (прямолінійний зворотно-поступальний) здійснює різець 1, а рух подачі (прямолінійний, перпендикулярний головному руху, переривчастий) – заготовка 2. Процес довбання здійснюють на довбальних верстатах.

Головним рухом під час *шліфування* (рис. 8.1,е,ж) є обертання шліфувального круга 1. Рух подачі здебільшого комбінований, тобто складається із кількох рухів. Наприклад, під час круглого зовнішнього шліфування – це обертання заготовки 2, поздовжнє переміщення заготовки відносно шліфувального круга.

*Протягання* (рис. 8.1,к) здійснюють за допомогою спеціального ріжучого інструменту – протяжки 1, що має на робочій частині зубці, які рівномірно підвищуються вздовж протяжки. Головним рухом є позадвжнє переміщення інструмента 1, а руху подачі немає.

Таким чином показано, що один із рухів, який повідомляють інструменту або заготовці, називають *рухом різання*, а інший – *рухом подачі*. *Рух різання* – це рух, необхідний для здійснення процесу перетворення зрізаного шару в стружку. *Рух подачі* – це рух, необхідний, щоб процес різання відбувався безперервно або періодично. Швидкість руху різання називають *швидкістю різання*, а швидкість руху подачі називають просто *подачею*. Швидкість різання у багато разів більше швидкості подачі.

Рух різання може здійснювати як заготовка, так й інструмент (наприклад, під час стругання). Залежно від того, здійснюються рухи різання і подачі одночасно або у різний час, всі інструменти ділять на дві групи: інструменти із простим і складним робочим рухом. Якщо рух подачі відсутній у той час, коли відбувається рух різання, то інструмент має простий робочий рух. Якщо рух різання та рух подачі відбуваються одночасно, то інструмент має складний робочий рух. Так, стругальний різець здійснює простий робочий рух, а токарний різець під час позадвжнього точіння (рис. 8.2) здійснює складний рух, оскільки заготовка обертається із швидкістю різання  $V$ , а інструмент виконує рівномірно поступальний рух (із подачею  $S$ ) уздовж оброблюваної циліндричної поверхні. Більшість інструментів мають складний рух. Особливо це відноситься до таких процесів як шліфування і зубообробка.

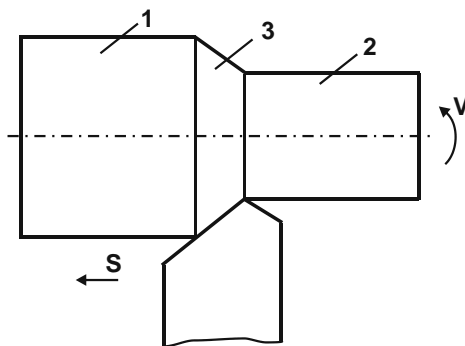


Рисунок 8.2 – Схема позадвжнього точіння



У процесі різання розрізняють три поверхні (рис. 8.2):

1 – оброблювана поверхня (поверхня, яка зникає під час різання);  
2 – оброблена поверхня (поверхня, яка утворюється після зняття припуску);

3 – поверхня різання (поверхня, безпосередньо утворена лезом інструменту в процесі різання, вона є перехідною й зникає після різання).

**Типи різців, основні частини і елементи різця.** Різці розподіляють на три основні групи: токарні, стругальні та довбальні. Токарні різці класифікують за різними ознаками. За матеріалом ріжучої частини розрізняють різці, виготовлені із швидкорізальної сталі, твердосплавні та мінералокерамічні. За конструкцією різці розподіляють на суцільні та збірні.

У суцільних різцях тільки його робоча частина може бути виготовленою із швидкорізальних сталей Р9, Р18, Р9К5, Р9Ф5, Р6М3 тощо та привареною до державки різця, виготовленою із конструкційної сталі. У збірних різцях робочу частину різця оснащують пластинами із швидкорізальних сталей, твердих сплавів або мінералокераміки. Пластину з'єднують механічно, зварюванням або паянням із державкою різця. Залежно від призначення різця пластини виготовляють різної форми.

Пластини із твердих сплавів групи ВК (ВК2, ВК6М, ВК8) призначено для обробки чавуну, кольорових сплавів, пластмас, а із твердих сплавів групи ТК (Т5К10, Т15К6, Т30К4) – для обробки сталей та інших матеріалів. Тверді сплави ТТ7К12, ТТ7К15 застосовують для обробки важкооброблюваних жароміцних сплавів. Мінералокерамічні ріжучі пластини завдяки високій теплостійкості (1200 °С) дозволяють обробляти навіть загартовані сталі, але вони дуже крихкі та не витримують ударів.

За розташуванням головної ріжучої кромки різці поділяють на праві та ліві. *Правим* називають різець 4 (рис. 8.3), у якого головну ріжучу кромку розміщено з боку великого пальця правої руки, накладеної долонею на різець так, щоб пальці були спрямовані до вершини різця. Під час точіння такими різцями (2 або 5) стружка із заготовки зрізується у напрямі переміщення супорта справа наліво.

*Лівим* називають різець 3, у якого головна ріжуча кромка розміщена з боку великого пальця лівої руки, накладеної на різець так, щоб пальці були спрямовані до вершини різця. На верстаті ліві різці працюють у напрямі подачі зліва направо.

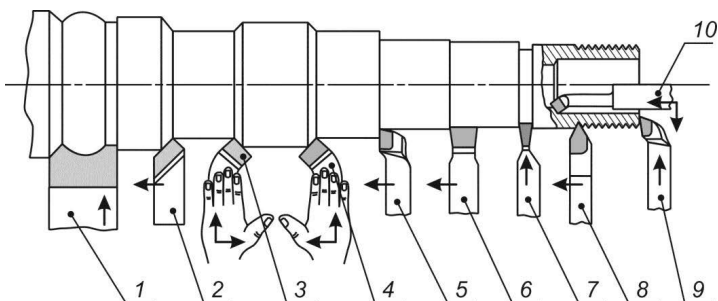


Рисунок 8.3 – Основні типи токарних різців: 1 – фасоний; 2 – прохідний прямий; 3, 4 – прохідний відігнутий; 5 – прохідний упорний; 6 – для чистої обробки; 7 – відрізний; 8 – різьбовий; 9 – підрізний; 10 – розточувальний

За розташуванням вісі головки різця у плані розрізняють різці: прямі (1, 2, 5 ... 8) і відігнуті (3, 4, 9, 10).

За характером обробки різці розподіляють на чорнові та чистові.

За призначенням (за видом обробки) токарні різці розподіляють на типи, основними із яких є прохідні, підрізні, відрізні, розточні, різьбові, фасонні, канавкові (рис. 8.3).

**Основні конструктивні та геометричні параметри ріжучого інструменту.** Для забезпечення можливості інструменту здійснювати процес різання, його ріжуча частина повинна бути окреслена певними поверхнями. Розглянемо різець (рис. 8.4). Його робоча частина складається із передньої поверхні 1, вздовж якої під час різання сходять стружка, що утворюється; задньої поверхні 2, яка у процесі різання примикає до поверхні різання; допоміжної задньої поверхні 3, яка направлена до обробленої поверхні. Передня та задня поверхні інструменту можуть бути увігнутими, випуклими або плоскими. Перетин передньої та задньої поверхонь інструменту утворює головне лезо 4, а перетин передньої та допоміжної задньої поверхні інструмента – допоміжне лезо 5. Між голов-

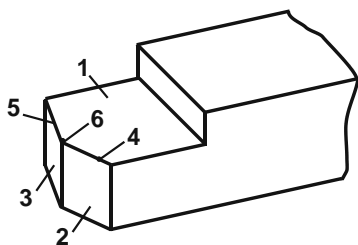


Рисунок 8.4 – Загальний вигляд ріжучої частини різця

Між голов-



Положення передньої поверхні різця визначається переднім кутом  $\gamma$  (він може бути позитивним і негативним), положення задньої поверхні різця – заднім кутом  $\alpha$ , положення допоміжної задньої поверхні – заднім кутом  $\alpha_1$ . Положення головного леза відносно опорної площини визначається ще кутом  $\lambda$  (кутом нахилу головного леза). Він може бути позитивним і негативним.

**Вплив геометричних параметрів різця на процес різання.** Кути ріжучої частини різця, які визначають його геометричну форму, значно впливають на процес різання.

Задній кут  $\alpha$  призначений для зменшення тертя задньої поверхні різця із поверхню різання. Проте, надмірне збільшення заднього кута може привести до зниження міцності найбільш навантаженої частини різця і швидкого його руйнування. На практиці кут  $\alpha$  вибирають близьким  $6^\circ \dots 12^\circ$ . Передній кут  $\gamma$  відіграє важливу роль у процесі різання. Із його збільшенням полегшується урізання різця в оброблюваний матеріал, зменшуються деформація зрізаного шару, сили різання і витрата потужності. Але збільшення переднього кута (зменшення кута різання) призводить до зменшення кута загострення, а отже послаблює ріжучу частину різця, погіршує відведення тепла від зони різання. На практиці найчастіше використовують різці із передніми кутами від  $-10^\circ$  до  $+20^\circ$ . Кути в плані  $\varphi$  і  $\varphi_1$  значною мірою впливають на стійкість різця і шорсткість обробленої поверхні. Зі зменшенням у певних межах кута  $\varphi$  стійкість різця зростає і чистота обробленої поверхні поліпшується. Найчастіше його приймають близьким  $30 \dots 90^\circ$ .

Оптимальне значення кутів різців та інших ріжучих інструментів для обробки різних матеріалів залежно від їх характеру, матеріалу інструменту, розмірів і форми деталей визначають за нормативами, складеними на підставі численних дослідів.

**Елементи різання та розміри зрізаного шару під час точіння.** Розглянемо елементи різання й розміри зрізаного шару під час поздовжнього точіння, що є найбільш поширеним методом обробки циліндричних поверхонь деталей (рис. 8.6). Рух різання (обертальний рух) здійснює оброблювана деталь, а рух подачі – різець.

Швидкість різання  $V$  (в м/хв) можна визначити за залежністю:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (8.1)$$

де  $D$  – діаметр оброблюваної деталі, мм;  
 $n$  – кількість обертів деталі за хвилину.

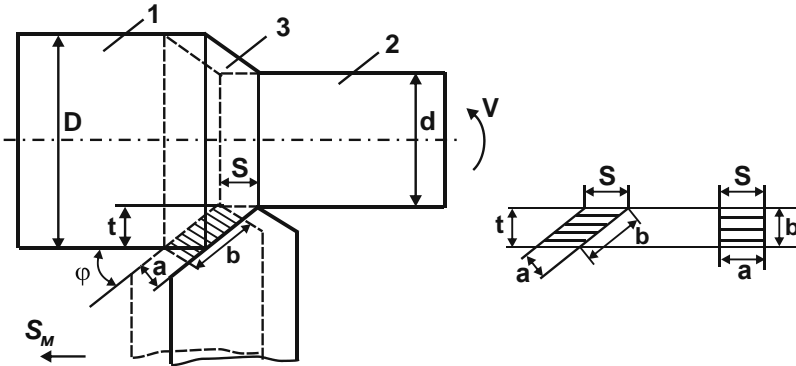


Рисунок 8.6 – Параметри зрізу під час поздовжнього точіння:  
 1 – оброблювана поверхня; 2 – оброблена поверхня;  
 3 – поверхня різання

Швидкість руху подачі можна описати двома параметрами: хвилинною подачею різця  $S_{XB}$  (у мм/хв), і подачею на один оберт деталі (у мм/об.). Ці два параметри пов'язані відношенням:

$$S = \frac{S_{XB}}{n}. \quad (8.2)$$

У процесі різання із оброблюваної деталі за один прохід інструменту видаляється шар металу товщиною  $t$ , що вимірюється вздовж нормалі до напрямку руху подачі. Дану товщину прийнято називати *глибиною різання*  $t$  (у мм) і визначати залежністю:

$$t = \frac{D - d}{2}, \quad (8.3)$$

де  $D$ ,  $d$  – діаметри оброблюваної та обробленої поверхонь деталі, мм.

Товщина  $a$  й ширина  $b$  зрізу, виходячи із рис. 8.6, визначаються:

$$a = S \cdot \sin \varphi; \quad (8.4)$$

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}. \quad (8.5)$$

Як видно із рис. 8.6, площа поперечного перетину зрізу, що визначається добутком товщини  $a$  та ширини  $b$  зрізу, дорівнює добут-

ку параметрів режиму різання  $S \cdot t$ . Отже, площа поперечного перетину зрізу не залежна від товщини  $a$  й ширини  $b$  зрізу, а залежна від подачі  $S$  та глибини різання  $t$ .

На практиці залежно від співвідношення товщини  $a$  й ширини  $b$  зрізу реалізуються три форми перетину зрізаного шару:

- 1)  $b < a$  (шар, що зрізається – прямий);
- 2)  $b = a$  (шар, що зрізається – рівнобокий);
- 3)  $b > a$  (шар, що зрізається – зворотний).

Необхідно зазначити, що другий і третій випадки зустрічаються рідко (під час чистового точіння широкими різцями та з великими подачами).

**Елементи конструкції, геометричні параметри гвинтового свердла та розміри зрізаного шару під час свердління.** Гвинто-

ві свердла призначено для свердління й розсвердлювання отворів,

глибина яких не перевищує десяти діаметрів свердла. Свердло складається із робочої та хвостової частин (рис. 8.7). Хвостова

частина свердла призначена для його закріплення на верстаті. Робоча частина

складається із двох частин: ріжучої та спрямовуючої. На ріжучій частині розміщено

леза свердла. На спрямовуючій частині є дві спрямовуючі фаски, якими свердло

центрується в отворі, та дві гвинтові стружкові канавки, що призначені для транспортування

стружки із отвору. Передня поверхня 1 є лінійчатою гвинтовою поверхнею, яка плавно з'єднується із

криволінійною гвинтовою поверхнею неробочої частини стружкової канавки. Задня поверхня

2 у більшості випадків є конічною поверхнею із віссю, що перехрещується із віссю свердла за деяким кутом [3].

Допоміжна задня поверхня (фаска) 3 є частиною конічної поверхні із дуже малою конусністю, вісь якої збігається із віссю свердла. Для зменшення тертя між свердлом і стінкою отвору спинку свердла 7 за-

нижують відносно фаски. Головне лезо свердла 4 можна вважати прямолінійним. У результаті перетину двох задніх поверхонь утворюється

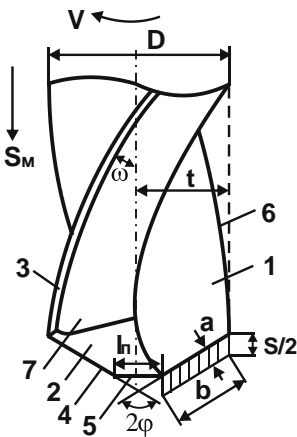


Рисунок 8.7 – Загальний вигляд свердла

нижують відносно фаски. Головне лезо свердла 4 можна вважати прямолінійним. У результаті перетину двох задніх поверхонь утворюється

Допоміжна задня поверхня (фаска) 3 є частиною конічної поверхні із дуже малою конусністю, вісь якої збігається із віссю свердла. Для зменшення тертя між свердлом і стінкою отвору спинку свердла 7 за-

лезо 5, назване *поперечним лезом* або *перемичкою*. Допоміжне лезо 6 є конічною гвинтовою лінією з дуже незначною конусністю. Таким чином, свердло має дві передні, задні й допоміжні задні поверхні, два головних і допоміжних леза та поперечне лезо.

Головні леза перехрещуються під кутом  $2\varphi$ , який називають *подвійним кутом у плані* ( $2\varphi = 120^\circ$  – для стандартних свердел). Кут  $2\varphi$  може змінюватися у межах  $2\varphi = 90 \dots 140^\circ$ . Щоб вилучити защемлення свердла у отворі, спрямовуючу частину свердла, виготовляють зі зворотньою конусністю, яка дорівнює 0,04 – 0,1 мм на 100 мм довжини свердла. Кут  $\psi$  є кутом нахилу перемички (це кут між проекціями головних лез і перемичкою на площині, що змінюється у межах  $\psi = 0 \dots 50^\circ$ ).

Кут  $\omega$  називають *кутом нахилу гвинтової канавки*. Це кут між дотичною до гвинтової лінії канавки та віссю свердла. Даний кут змінний. Так, для точок леза, що наближаються до перемички, він зменшується. Для периферійної точки леза (стандартного свердла) кут нахилу перемички  $\omega = 25 \dots 30^\circ$ .

Передній кут  $\gamma$  вимірюють у площині, що є нормальною до головного леза. Отримано формулу для його визначення:

$$\operatorname{tg}\gamma \approx \frac{\rho}{R} \cdot \frac{\operatorname{tg}\omega}{\sin\varphi}, \quad (8.6)$$

де  $\rho$ ,  $R$  – поточне і максимальне значення радіуса свердла ( $\rho < R$ ), мм.

Кут  $\gamma$  – змінний, залежний від  $\rho$ : зі зменшенням  $\rho$  він зменшується, тобто біля перемички він найменший.

Кут  $\alpha$  – задній кут свердла. Він розглядається не у площині NN, а у площині MM, дотичній до утворюючої циліндра, що проходить через задану точку головного леза. Кут  $\alpha$  змінний. На відміну від кута  $\gamma$  він збільшується, наближаючись до перемички. На кресленні свердла кут  $\alpha$  задають у периферійній точці головного леза, де його легко виміряти (для свердел до  $\varnothing 15$  мм – кут  $\alpha = 11 \dots 14^\circ$ , для свердел  $\varnothing 15 \dots 80$  мм –  $\alpha = 8 \dots 11^\circ$ ).

Свердління, як і точіння, засноване на поєднанні двох рівномірних рухів: обертального і поступального. Обертальний рух свердла (або деталі) є рухом різання. На свердлильних верстатах рух різання виконує інструмент, а на револьверних верстатах – деталь (у патроні). Поступальний рух інструмента є рухом подачі. Швидкість цього руху

називають *хвилинною подачею*  $S_{\text{хв}}$  і вимірюють у мм/хв. Існує таке поняття як подача на оберт  $S$  інструменту або деталі й подача на зуб інструменту  $S_z = S/z$  (в мм), де  $z = 2$  (два зуба).

На рис. 8.7 подано кінематичну схему процесу свердління, за якою розраховують товщину  $a$  та ширину  $b$  зрізу:

$$a = \frac{S}{2} \cdot \sin \varphi; \quad (8.7)$$

$$b = \frac{D - l_n}{2 \cdot \sin \varphi}, \quad (8.8)$$

де  $l_n$  – довжина перемички, мм;

$D$  – діаметр свердла, мм.

Глибина різання під час свердління дорівнює  $t = D/2$  (в мм), швидкість різання  $V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$  (м/хв), де  $n$  – кількість обертів свердла за хвилину.

#### ***Елементи конструкції та геометричні параметри мітчика.***

Для нарізування різьблення в отворах використовують мітчики, які бувають ручними, машинними та гайковими. Ручні мітчики призначено для нарізування різьблення вручну. Вони працюють у комплекті з двох або трьох штук. Машинні мітчики застосовують на токарних, револьверних, свердлильних верстатах і автоматах, у пневматичних або електричних дрелях. Гайкові мітчики призначено для нарізування гайок. Їх застосовують на спеціальних гайконарізних автоматах. Робоча частина мітчика складається із двох частин: ріжучої та спрямовуючої (рис. 8.8). Ріжуча частина призначена для нарізування різьблення. Спрямовуюча частина центрує мітчик у отворі, переміщує його вздовж вісі отвору й калібрує різьблення, яке нарізане ріжучою частиною [3].

Стружкові канавки виконують прямими, паралельними вісі інструменту. Передня поверхня 1 зуба мітчика є площиною, що плавно сполучається із дном стружкової канавки. Ріжуча частина мітчика за зовнішнім діаметром різьблення є конічна (різьблення формується поетапно). Задня поверхня 2 зуба є спіраль Архімеда, вона утворюється під час шліфування (затилювання) на спеціальних затилювальних верстатах. Головне лезо 3 є лінією, яке виконане під нахилом із кутом  $\varphi$  до вісі мітчика. Допоміжні леза 4 стружку не зрізають, а формують різьбовий профіль. Їх нахил визначається кутом  $2\varepsilon$  профілю різьблення.



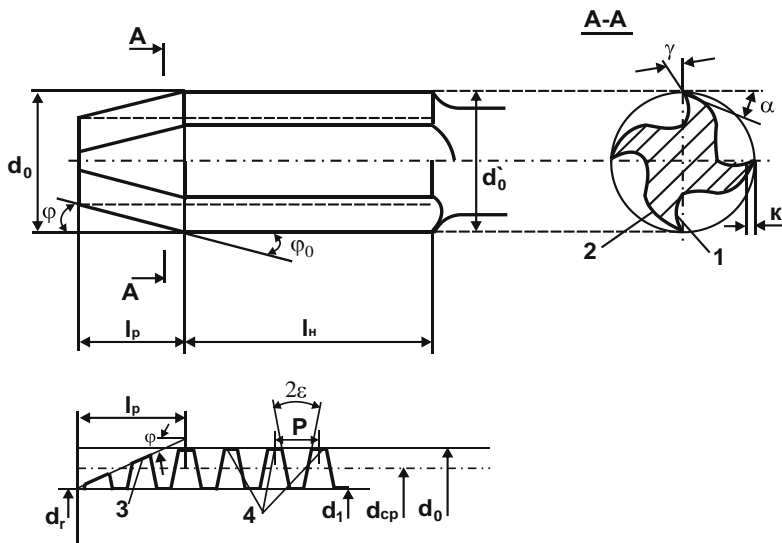


Рисунок 8.8 – Загальний вигляд мітчика та його конструктивні елементи

Елементами ріжучої частини мітчика є довжина  $l_p$  і кут  $\varphi$  нахилу ріжучої частини, а також крок різьблення  $P$ .

У машинних мітчиків для обробки наскрізних отворів довжина ріжучої частини дорівнює  $l_p = (5 \div 6) \cdot P$ , для обробки глухих отворів –  $l_p = (1,5 \div 2) \cdot P$ ; у гайкових мітчиків –  $l_p = (10 \div 12) \cdot P$ .

У ручних мітчиків, що працюють у комплекті із трьох штук:

– у першого мітчика  $l_p = 5 \cdot P$ ;

– у другого мітчика  $l_p = 2,5 \cdot P$ ;

– у третього мітчика  $l_p = 1,5 \cdot P$ .

Кут нахилу ріжучої частини  $\varphi$  визначається залежністю:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d_0 - d_T}{2 \cdot l_p}, \quad (8.9)$$

де  $d_T = d_1 - (0,1 \div 0,3)$ , мм.

Спрямовуючу частину мітчика за трьома діаметрами:  $d_0$ ,  $d_1$ ,  $d_{cp}$  виконують зі зворотною конусністю (для зменшення тертя) із кутом зворотного конуса  $\varphi_0$ . Мітчики із діаметром  $d_0 = 2 \dots 36$  мм виконують

із кількістю зубів  $z=3 \dots 4$ , а із діаметром  $d_0=39 \dots 52$  мм –  $z=4 \dots 6$ . Більша кількість зубів погіршує відведення стружки. Передній кут дорівнює  $\gamma \approx 5 \dots 25^\circ$ . Величина затилування визначається залежністю:

$$K = \frac{\pi \cdot d_0}{z} \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (8.10)$$

Кут встановлюють рівним  $8 \dots 12^\circ$ . За формулою (8.10) розраховують величину затилування  $K$  й округлюють до 0,5 мм у більшу сторону. Цю величину проставляють на кресленні, згідно ній вибирають затиловочний кулачок на верстаті. Кут  $\alpha$  на кресленні не проставляють. Спрямовуючу частину мітчика не затиловують, оскільки кут  $\alpha = 0$ .

Розглянемо елементи процесу різання. Мітчик є інструментом із простим рухом, оскільки осьове переміщення не є рухом подачі (як під час точіння та свердління). Тут є тільки рух різання із заданою швидкістю. Товщину зрізу  $a$  можна визначити із рис. 8.9:

$$a = \frac{P}{z} \cdot \sin \varphi. \quad (8.11)$$

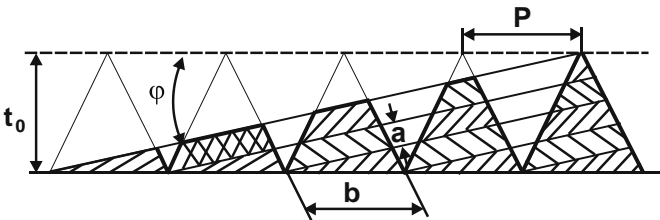


Рисунок 8.9 – Схема формування різьблення

Ширина зрізу  $b$  є змінною величиною. На рис. 8.9 показано глибину профіля різьблення  $t_0$ .

**Елементи конструкції та геометричні параметри осьової циліндричної й торцевої фрез.** Осьова циліндрична фреза працює в умовах вільного різання, тому на кожному її зубі є тільки одне лезо, яке є головним. Кількість зубів встановлюють залежно від діаметра  $D$  за емпіричною формулою [3]:

$$z = m \cdot \sqrt{D}, \quad (8.12)$$

де  $m$  – коефіцієнт пропорційності (із великим зубом  $m=1,05$ , із дрібним зубом –  $m=2$ ).

Для вільного розміщення стружки кількість зубів  $z$  необхідно визначати за залежністю:

$$z = \frac{0,2 \cdot D}{t_{\max}^{0,5} \cdot z_{\max}^{0,5}}, \quad (8.13)$$

де  $t$  – глибина різання, м;

$a_z$  – подача на зуб.

Кількість зубів  $z$  змінюється у межах  $z = 6 \div 14$ .

Для забезпечення плавної роботи фрези та для збільшення кількості одночасно працюючих зубів, фрези мають гвинтову стружкову канавку (рис. 8.10).

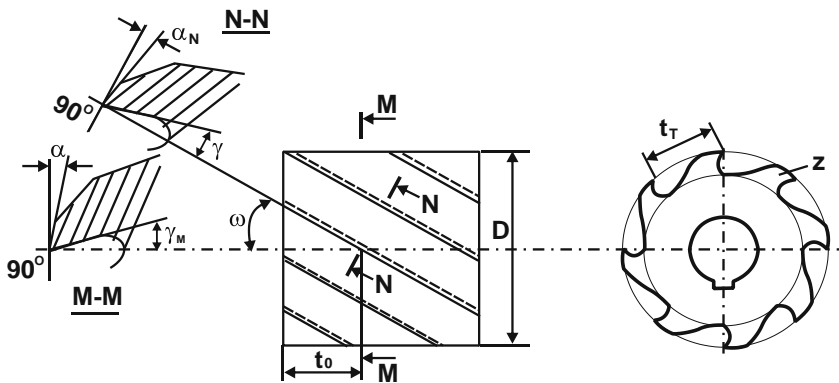


Рисунок 8.10 – Загальний вигляд осьової циліндричної фрези та її конструктивних елементів

Залежно від напрямку обертання на верстаті фрези бувають ліворіжучими (що обертаються за годинниковою стрілкою) та праворіжучими (що обертаються проти годинникової стрілки). Для стандартних фрез кут  $\omega$  нахилу гвинтової канавки дорівнює  $25 \dots 35^\circ$ . Відстань  $t_T$  між двома зубами називають *торцевим кроком*:

$$t_T = \frac{\pi \cdot D}{z}, \quad (8.14)$$

де  $z$  – кількість зубів.

Відстань  $t_0$  між двома зубами уздовж вісі фрези називають *осьовим кроком*:

$$t_0 = t_T \cdot \text{ctg} \omega. \quad (8.15)$$

Передня поверхня зуба фрези є лінійчатою гвинтовою поверхнею. Передній кут  $\gamma$  змінюється у межах  $5 \dots 25^\circ$ , задній кут  $\alpha = 15^\circ$  (для фрез із великим зубом  $m < 1,75$ ),  $\alpha = 20^\circ$  (для фрез із дрібним зубом  $m > 1,75$ ). На рис. 8.10 показано торцевий передній  $\gamma_m$  і задній  $\alpha_n$  кути.

Схему різання під час фрезерування засновано на поєднанні двох рівномірних рухів: обертального і поступального (рис. 8.11). Товщина зрізу  $a$  – змінна величина. Максимальна товщина зрізу визначається залежністю:

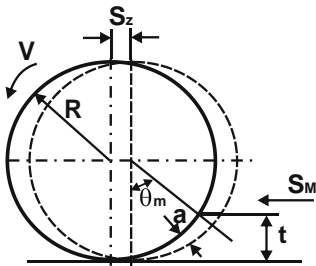


Рисунок 8.11 – Схема фрезерування

$$a_{\max} = S_z \cdot \sin \theta_m, \quad (8.16)$$

де  $\theta_m = \frac{R-t}{R} = 1 - \frac{2 \cdot t}{D}$  – максимальний кут контакту;

$$S_z = \frac{S}{z} - \text{подача на зуб, мм/зуб;}$$

$t$  – глибина різання, мм.

Під час фрезерування розрізняють *хвилинну подачу*  $S_M$  (у мм/хв), *подачу на оберт фрези* і *подачу на зуб*  $S_z$ .

### Фізичні основи процесу різання металів

Розглянемо фізику процесу різання та з'ясуємо, яким чином відбувається видалення металу із оброблюваної поверхні. Як відомо, процес різання – механічний процес. Тому спочатку проведемо аналіз механіки різання із застосуванням розрахункової схеми, показаної на рис. 8.12. Під час різання із боку передньої поверхні різця на оброблюваний матеріал діють дві сили: нормальна  $N$  і тангенціальна  $f \cdot N$ , де  $f$  – коефіцієнт тертя оброблюваного матеріалу із передньою поверхнею різця. Ці дві сили, зазвичай, проєціюють на вісі координат і розглядають дві складові сили різання:  $P_z$  і  $P_y$ , під дією яких у оброблюваному матеріалі виникають напруження зсуву  $\tau$  (дотичні напруження) [39].

Припустимо, що під час різання відбувається зріз металу товщиною  $a$  й шириною  $b$ . Визначимо дотичне напруження  $\tau$  у площині  $OA$  (рис. 8.12), яка розташована під певним кутом  $\beta$  до напрямку руху оброблюваного металу:

$$\tau = \frac{Q}{L \cdot b}, \quad (8.17)$$

де  $Q$  – сила, що діє у площині  $OA$ ,  $H$ ;  
 $L$  – довжина площини  $OA$ , мм.

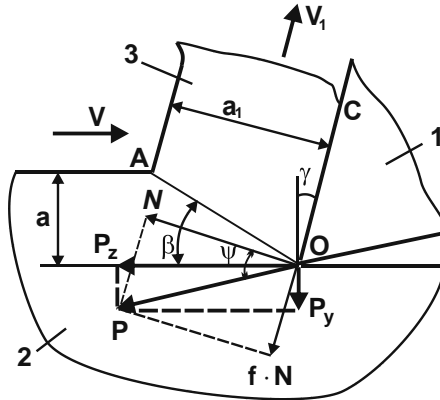


Рисунок 8.12 – Розрахункова схема процесу різання:  
 1 – інструмент; 2 – оброблюваний матеріал; 3 – стружка

Довжину площини  $L$  і силу  $Q$  визначають залежностями:

$$L = \frac{a}{\sin \beta}; \quad (8.18)$$

$$Q = P_z \cdot \cos \beta - P_y \cdot \cos(90^\circ - \beta) = P_y \cdot (K_{\text{різ}} \cdot \cos \beta - \sin \beta), \quad (8.19)$$

де  $K_{\text{різ}} = P_z / P_y$  – коефіцієнт різання.

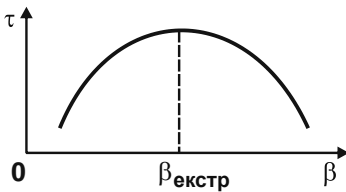


Рисунок 8.13 – Залежність дотичного напруження  $\tau$  від умовного кута зсуву оброблюваного матеріалу  $\beta$

Очевидно, за умови  $\tau = \tau_{\text{зсув}}$  (де  $\tau_{\text{зсув}}$  – межа міцності на зсув

Після підстановки залежностей (8.18) і (8.19) у залежність (8.17), маємо:

$$\tau = \frac{P_y \cdot (0,5 \cdot K_{\text{різ}} \cdot \sin 2\beta - \sin^2 \beta)}{a \cdot b}. \quad (8.20)$$

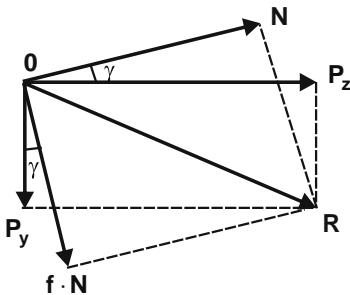
Як видно, зі збільшенням кута  $\beta$  дотичне напруження  $\tau$  змінюється за екстремальною залежністю, проходячи точку максимуму (рис. 8.13). Отже, існує цілком конкретне положення площини  $OA$ , за яким дотичне напруження  $\tau$  набуває максимального значення.

оброблюваного металу) у цій площині відбудеться зсув (руйнування) металу й утворення стружки.

Екстремальне значення кута  $\beta$  за фізичною суттю визначає умовний кут зсуву оброблюваного металу  $\beta$ . Встановити його можна за необхідної умови екстремуму:  $\tau'_\beta = 0$ . Тоді

$$K_{\text{різ}} = \text{tg}2\beta. \quad (8.21)$$

Умовний кут зсуву оброблюваного металу  $\beta$  цілком однозначно визначається коефіцієнтом різання  $K_{\text{різ}}$ : чим він більший, тим більше кут  $\beta$ . Виходячи із рис. 8.14, встановлено зв'язок між силами  $P_z$  і  $P_y$  та  $N$  і  $f \cdot N$ :



$$\begin{cases} P_z = N \cdot \cos \gamma + f \cdot N \cdot \sin \gamma, \\ P_y = -N \cdot \sin \gamma + f \cdot N \cdot \cos \gamma. \end{cases} \quad (8.22)$$

Звідки

$$K_{\text{різ}} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{1 + f \cdot \text{tg} \gamma}{1 - \text{tg} \gamma} = \frac{1}{\text{tg}(\psi - \gamma)}, \quad (8.23)$$

де  $f = \text{tg} \psi$  – коефіцієнт тертя;

$\psi$  – кут тертя оброблюваного металу із передньою поверхнею різця.

Рисунок 8.14 – Розрахункова схема сили різання

Із порівняння залежностей (8.21) і (8.23) отримано відому формулу професора Зворикіна К. О. для визначення

умовного кута зсуву оброблюваного металу:

$$\beta = 45^\circ + \frac{\gamma - \psi}{2}. \quad (8.24)$$

Умовний кут зсуву оброблюваного металу  $\beta$  залежить від різниці кутів  $(\gamma - \psi)$ : чим більше  $(\gamma - \psi)$ , тим більше кут  $\beta$  і тим менше об'єм металу, який деформується під час різання, й, відповідно, менше енергія, що витрачається у процесі різання, а також менше сила і температура різання, вище точність та якість оброблюваної поверхні. Збільшити різницю кутів  $(\gamma - \psi)$  можна збільшенням переднього кута різця  $\gamma$  та зменшенням кута тертя оброблюваного металу із передньою поверхнею різця  $\psi$ . Як правило,  $\psi > \gamma$ . Зменшити кут  $\psi$  можна застосуванням мастильно-охолоджуючої рідини, нанесенням на робочі поверхні інструменту зносостійких покриттів, які, із однієї сторони, підвищують

зносостійкість інструменту, а із іншої сторони, зменшують коефіцієнт тертя  $f$  оброблюваного та інструментального матеріалів.

Як відомо, коефіцієнт тертя  $f$  значно залежить від температури контактуючих тіл. Зі збільшенням температури коефіцієнт тертя  $f$  зменшується. Тому існують оптимальні температури різання, за яких ефективно здійснювати обробку. Найменший коефіцієнт тертя мають синтетичні надтверді матеріали (СНМ) – алмаз, кубічний нітрид бору (ельбор, гексаніт та ін.). Тому в останні роки набули широкого застосування різці та інші інструменти, у яких інструментальними матеріалами використовують алмаз, ельбор та інші синтетичні надтверді матеріали. Лезовий інструмент із СНМ – це державка із впаяним у неї кристалом алмазу (або іншого СНМ) невеликого діаметру – 4 ... 8 мм. У процесі заточування цьому кристалу надають потрібну геометрію (необхідні кути різання).

Формула (8.24) справедлива для умов різання інструментом із позитивним переднім кутом  $\gamma$ . У разі негативного переднього кута  $\gamma$  (рис. 8.12) формула (8.24) набуває вигляду:

$$\beta = 45^\circ - \frac{\gamma + \psi}{2}. \quad (8.25)$$

У даному випадку умовний кут зсуву оброблюваного металу  $\beta$  менше, отже більше ступінь деформування металу під час різання (більше об'єм металу, який піддається пружному і пластичному деформуванню). Процес різання погіршується: відбувається із більшою силовою і тепловою напруженостями.

Негативні передні кути інструменту ефективно створювати у тих випадках, коли необхідно збільшити міцність інструменту (під час різання з ударом, наприклад, під час фрезерування). Однак тоді відбувається збільшення сили різання. Тому ефект обробки залежний від того, який чинник домінує. Як показує практика, одним із прикладів ефективного застосування інструментів із негативними передніми кутами ріжучих елементів є абразивні інструменти (шліфувальні круги, абразивні бруски та стрічки), які виготовляють із безлічі закріплених дрібних абразивних зерен діаметром до 1 мм.

Із залежності (8.24) витікає, що умовний кут зсуву оброблюваного металу  $\beta$  майже завжди менше  $45^\circ$ . Це указує на те, що товщина стружки, яка утворюється,  $a_1$  більше товщини зрізу  $a$  (рис. 8.12). Від-

ношення  $a_1/a$  у теорії різання прийнято називати *коефіцієнтом усадку стружки* або *усадкою стружки* (позначається  $K_L$ ). Із розрахункової схеми (рис. 8.12) можна встановити тригонометричний зв'язок між умовним кутом зсуву оброблюваного металу  $\beta$  та усадкою стружки  $K_L$ . Більше ста років тому професор Тіме А. М. отримав формулу, що пов'язує умовний кут зсуву оброблюваного металу  $\beta$  й усадку стружки  $K_L$ :

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\cos\gamma}{K_L - \sin\gamma}. \quad (8.26)$$

За умови  $\gamma = 0$  формула (8.26) спрощується:

$$K_L = \frac{1}{\operatorname{tg}\beta}. \quad (8.27)$$

Як видно, параметри  $K_L$  і  $\beta$  пов'язані зворотною залежністю: чим більше умовний кут зсуву оброблюваного металу  $\beta$ , тим менше усадка стружки  $K_L$ . За умови  $\beta = 45^\circ$  усадка стружки  $K_L = 1$ , тобто товщини різку й стружки, що утворюється, однакові. Це ідеальний випадок обробки, до якого необхідно прагнути, оскільки він забезпечує найменшу енергоємність процесу різання. Насправді, як встановлено на практиці, усадка стружки  $K_L$  значно більше і змінюється у межах 1 ... 8 (до 10). Відповідно, умовний кут зсуву оброблюваного металу  $\beta$  приймає дуже малі значення: 3 ... 6°, що різко збільшує енергоємність процесу різання.

Цим пояснюється те, що застосовувані процеси різання лезовими й абразивними інструментами характеризуються високою енергоємністю й вимагають подальшого вдосконалення.

**Класифікація видів стружок, що утворюються під час різання.** Усадка стружки суттєво залежна від оброблюваного металу й виду стружки. У 1870 році професор Тіме А. М. провів класифікацію стружок і виділив чотири види стружок: елементну, суставчасту, зливну й стружку надлому (рис. 8.15). Елементна, суставчаста й зливна є стружками зсуву, оскільки їх утворення пов'язане із напруженнями зсуву, тобто наведені вище формули справедливі для цих трьох видів стружок. Стружка надлому (або стружка відриву) утворюється під дією напружень, які виникають у результаті розтягання.

*Елементна стружка* (рис. 8.15,а) складається із окремих "елементів" 1 приблизно однакової форми, які пов'язані один із одним [3].



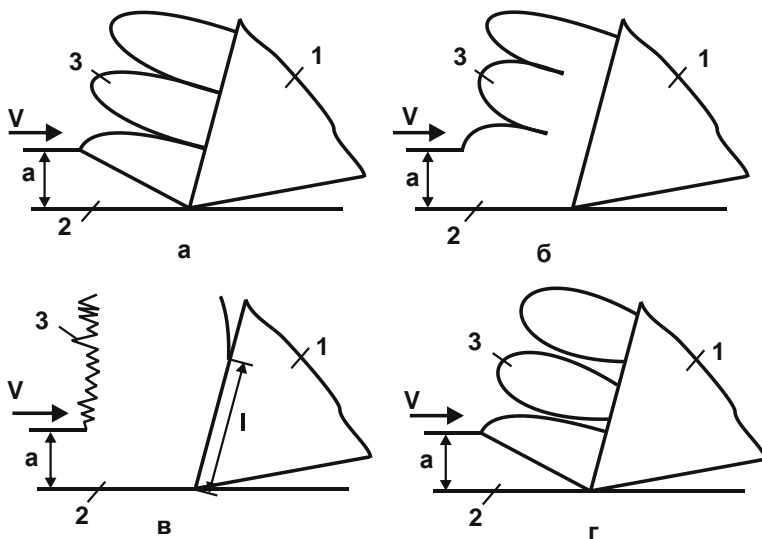


Рисунок 8.15 – Основні типи стружок

У *суставчастій стружці* (рис. 8.15,б) поділ її на окремі частини не відбувається. Поверхня зсуву спостерігається, однак вона не пронизує стружку за всією товщиною.

Основною ознакою *зливної стружки* (рис. 8.15,в) є її суцільність (безперервність). Вона сходиться з передньої поверхні інструменту безперервною стрічкою. Поверхню 1 називають *контактною стороною*. Вона гладка (відполірована) у результаті тертя з передньою поверхнею різця. Поверхня 2 – вільна сторона, вона покрита дрібними зазубринками, за високою швидкістю різання має оксамитовий вигляд. Ширина контакту стружки із різцем  $s_1$  у 1,5 ... 6 разів більше товщини зрізу  $a$ .

*Стружка надлому* (рис. 8.15,г) складається з окремих не пов'язаних один із одним шматочків різної форми та розмірів. При цьому вся оброблена поверхня деталі складається з виламаних із неї шматочків стружки.

У процесі різання пластичних матеріалів утворюються перші три типи стружки. Зі збільшенням твердості та міцності матеріалів зливна стружка переходить у суставчасту, а потім у елементну. Під час різання крихких матеріалів (наприклад, чавунів) утворюється частіше елементна стружка і рідше стружка надлому. На вид стружки впливають:

передній кут інструменту  $\gamma$  та режим різання. Зі збільшенням кута  $\gamma$  елементарна стружка переходить у суставчасту, а потім у зливну.

Збільшення подачі (товщини зрізу) призводить під час різання пластичних матеріалів до послідовного переходу від зливної стружки до суставчастої та елементарної. Зі збільшенням швидкості різання стружка із елементарної переходить у суставчасту, потім у зливну (проте дана закономірність справедлива не для всіх оброблюваних матеріалів).

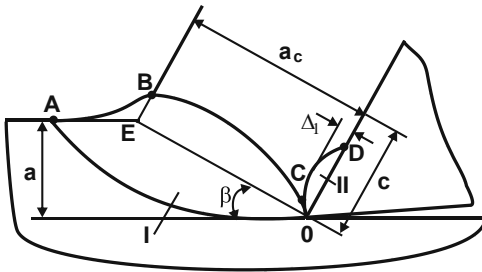


Рисунок 8.16 – Схема стружкоутворення під час різання

Необхідно зазначити, що у теорії різання [3] найбільш вивченим є процес зливного стружкоутворення, розроблено модель стружкоутворення (рис. 8.16). Зона OABC є зоною первинної деформації (I). Ділянка OE визначає довжину умовної площини зсуву, розташованої під кутом до напрямку руху оброблюваного матеріалу. Доведено, що початкова поверхня зсуву матеріалу OA в 2 ... 4 рази довше кінцевої поверхні зсуву OB. У зоні I дотичне напруження  $\tau$  дорівнює межі міцності на зсув оброблюваного матеріалу  $\tau_{зсув}$ .

Зона II визначає зону вторинної деформації. Її довжина CD дорівнює  $c/2$ , де  $c$  – ширина площадки контакту стружки, що утворюється, із передньою поверхнею інструменту. Ширина  $\Delta_1$  зони II дорівнює  $0,1 \cdot a_c$ , де  $a_c$  – товщина стружки.

Зона I визначає зону первинної деформації. Її довжина OE дорівнює  $0,1 \cdot a_c$ , де  $a_c$  – товщина стружки.

Ступінь деформації матеріалу в зоні II у 20 разів більше, ніж у зоні I у зв'язку з інтенсивним тертям стружки, що утворюється, із передньою поверхнею інструменту. Зі збільшенням швидкості різання розміри зони I зменшуються й схему стружкоутворення під час різання можна звести до схеми з однією площиною зсуву OE. На підставі цієї схеми отримано всі вищенаведені формули.

**Наростоутворення під час різання.** На передній поверхні інструменту за певних умов утворюється нарост. Він є результатом адгезійного схоплювання оброблюваного матеріалу із передньою поверхнею інструменту. Нарост має клиноподібну форму (рис. 8.17), міцно

утримується на передній поверхні інструменту, в результаті стружка контактує не з інструментом, а з наростом. Це збільшує передній кут інструменту, що полегшує процес стружкоутворення під час різання та в ряді випадків підвищує точність обробки. Однак при цьому збільшується шорсткість оброблюваної поверхні, що у кінцевому підсумку призводить до погіршення якості обробки. Отже, під час процесу різання, необхідно вилучати виникнення наросту.

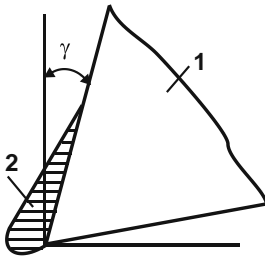


Рисунок 8.17 – Схема утворення наросту під час різання

Встановлено, що наріст утворюється за температурою різання, приблизно рівною 300 °С, і зникає за температурою 600 °С. Тому вилучити утворення наросту можна шляхом вилучення під час різання температурного діапазону 300 ... 600 °С. Це досягається збільшенням швидкості різання, переднього кута інструмента  $\gamma$  та ін. Слід зазначити, що не всі матеріали схильні до наростоутворення.

Розглянемо фізичну сутність умови, що вилучає утворення наросту. Припустимо, на передню поверхню інструменту діють нормально  $q$  й тангенціально  $q_1 = f \cdot q$  розподілені навантаження ( $f$  – коефіцієнт тертя оброблюваного матеріалу із передньою поверхнею інструменту). Для того щоб стружка, що утворюється, могла переміщатися передньою поверхнею інструменту, необхідно виконати умову:  $q_1 < \tau_{зсуб}$ , де  $\tau_{зсуб}$  – межа міцності на зсув оброблюваного матеріалу.

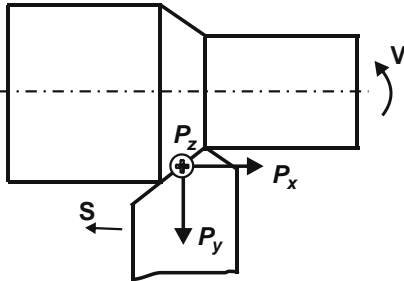
Приймаючи у першому наближенні відношення для сталей:

$$q = HV = 6 \cdot \tau_{зсуб} \quad (8.28)$$

(де  $HV$  – твердість оброблюваного матеріалу,  $H/m^2$ ), із урахуванням вищенаведеної умови, маємо:  $f < 0,17$ . Отже, для вилучення утворення наросту, тобто вилучення адгезійного схоплювання оброблюваного матеріалу із передньою поверхнею інструменту, необхідно, щоб коефіцієнт тертя  $f$  був менше 0,17. Дану умову можна виконати за відносно високою температурою різання, наприклад, 600 °С. За невеликих температур різання (до 600 °С) коефіцієнт тертя  $f$  більше 0,17.

Необхідно зазначити, що даний розрахунок є спрощеним, оскільки заснований на наближеному відношенні (8.28).

**Сили різання під час точіння.** Шар матеріалу, що зрізається, тисне на різець із силою різання  $P$ , яку можна розкласти на три складові:  $P_z$ ,  $P_y$  і  $P_x$  (рис. 8.18). У теорії різання їх прийнято називати:  $P_z$  –



окружна сила або головна складова сили різання;  $P_y$  – радіальна сила;  $P_x$  – осьова сила або сила подачі. Очевидно, сила  $P_z$  вигинає різець і оброблювану деталь. Сила  $P_y$  відштовхує різець і вигинає оброблювану деталь. Сила  $P_x$  протидіє просуванню різця у поздовжньому напрямі. На її основі розраховується на міцність механізм подачі верстата.

Рисунок 8.18 – Схема розташування складових сили різання

Доведено, що у загальному випадку справедливі відношення [3]:

$$P_z : P_y : P_x = 1 : (0,4 \dots 0,5) : (0,25 \dots 0,3). \quad (8.29)$$

Отже, найбільше значення приймає складова сили різання  $P_z$ , а найменше – складова сили різання  $P_x$ .

Згідно з теоремою Піфагора, силу різання  $P$  можна виразити:

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2} \approx (1,1 \dots 1,15) \cdot P_z. \quad (8.30)$$

Як видно, сила різання  $P$  мало відрізняється від складової  $P_z$ . Тому всі розрахунки, як правило, виконують на основі складової сили різання  $P_z$ . Якщо знаємо величину  $P_z$  (у Н), то можна розрахувати крутний момент різання  $M$  (у Н·м) і ефективну потужність верстата  $N_e$  (у кВт):

$$M = \frac{P_z \cdot D}{2000}; \quad (8.31)$$

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{6120}, \quad (8.32)$$

де  $D$  – діаметр оброблюваної деталі, мм;  
 $V$  – швидкість різання, м/хв.

Складову сили різання  $P_z$  можна визначити за залежністю [39]:

$$P_z = S \cdot \sigma, \quad (8.33)$$

де  $S = a \cdot b$  – площа поперечного перетину зрізу, м<sup>2</sup>;

$a$ ,  $b$  – товщина й ширина зрізу, м;

$\sigma$  – умовне напруження різання,  $\text{H}/\text{m}^2$ .

Умовне напруження різання  $\sigma$  визначається залежністю:

$$\sigma = 4 \cdot \tau_{\text{зсув}} \cdot \text{tg}(\psi - \gamma), \quad (8.34)$$

де  $\psi$  – кут тертя оброблюваного металу із передньою поверхнею різця;

$\gamma$  – передній кут різця.

Тоді складова сили різання  $P_z$  остаточно виразиться:

$$P_z = 4 \cdot a \cdot b \cdot \tau_{\text{зсув}} \cdot \text{tg}(\psi - \gamma). \quad (8.35)$$

Виходячи із залежності (8.35), зменшити складову сили різання  $P_z$  можна зменшенням параметрів  $a$ ,  $b$ ,  $\tau_{\text{зсув}}$ ,  $\psi$  і збільшенням  $\gamma$ . Зменшити кут  $(\psi - \gamma)$  можна шляхом зміни режиму різання (зменшення коефіцієнта тертя  $f$ ) та конструктивних параметрів інструменту (переднього кута  $\gamma$ ). Затуплення різця призводить до зменшення кута  $\gamma$  і збільшення складової сили різання  $P_z$ . Застосування мастильно-охолоджувальних рідин під час різання зменшує коефіцієнт тертя  $f$ , кут тертя  $\psi$  й, відповідно,  $P_z$ .

Складову силу різання можна визначити за емпіричною формулою:

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot V^{z_p} \cdot K_p, \quad (8.36)$$

де  $t$ ,  $S$ ,  $V$  – глибина різання, подача та швидкість різання;

$C_{P_z}$  – коефіцієнт, залежний від умов обробки (крім параметрів  $t$ ,  $S$ ,  $V$ );

$K_p = K_M \cdot K_\phi \cdot K_\gamma \cdot K_r \cdot K_\omega \cdot K_\delta$  – уточнюючий коефіцієнт, що враховує різні чинники:

$K_M$  – міцність або твердість оброблюваного матеріалу;

$K_\phi$  – головний кут різця у плані;

$K_\gamma$  – передній кут різця  $\gamma$ ;

$K_r$  – радіус перехідного леза різця;

$K_\omega$  – застосовувану мастильно-охолоджувальну рідину (МОР);

$K_\delta$  – ступінь зношування задньої частини різця.

**Теплові явища під час різання матеріалів.** У процесі різання більше 99 % роботи переходить у тепло. Це призводить до нагрівання оброблюваної деталі, ріжучого інструменту, стружки, що утворюється,

мастильно-охолоджувальної рідини, а в ряді випадків і верстата. Доведено, що існують три основні джерела тепла: деформування металу в площині зсуву ОА (рис. 8.19), тертя на передній поверхні інструменту й тертя на задній поверхні інструменту. При цьому  $(q_{12} + q_{22})$  тепла надходить до стружки,  $(q_{21} + q_{31})$  тепла надходить до оброблюваної деталі,  $(q_{11} + q_{32})$  тепла надходить до інструменту та  $q_c$  тепла – у навколишнє середовище [61].

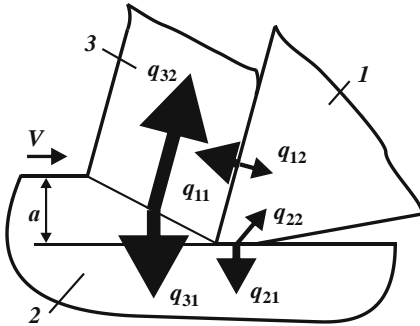


Рисунок 8.19 – Схема теплового балансу під час різання металів

Встановлено, що найбільша кількість тепла переходить у стружку (під час обробки сталі – 60 ... 80 %). До інструменту переходить найменша кількість тепла (кілька відсотків), рис. 8.19. У загальному випадку баланс тепла залежний від характеристик оброблюваного матеріалу й режимів різання.

Аналітично визначимо середню температуру стружки. Припустимо, що вся робота різання

$A = P_z \cdot l$  витрачається на нагрівання стружки (де  $P_z$  – тангенціальна складова сили різання, Н;  $l$  – довжина шляху різання, м).

Кількість тепла, що витрачається на нагрівання стружки до температури  $\theta$ , визначається залежністю:

$$Q = c \cdot m \cdot \theta, \quad (8.37)$$

де  $c$  – питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг·К);

$m = \rho \cdot l \cdot S$  – маса стружки, кг;

$\rho$  – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

$S$  – площа поперечного перетину зрізу, м<sup>2</sup>.

За умови  $A = Q$  із урахуванням залежності (8.33) отримано залежність для визначення температури різання [64, 73]:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho}. \quad (8.38)$$

Таким чином встановлено спрощену залежність для визначення температури різання. Вона включає змінну величину  $\sigma$  і постійні для кожного оброблюваного матеріалу величини  $c$  та  $\rho$ .

Як видно, середня температура стружки  $\theta$  цілком однозначно визначається умовним напруженням різання  $\sigma$ . Отже, зменшити температуру стружки  $\theta$  можна лише зменшенням величини  $\sigma$  шляхом застосування "гострого" інструменту й зниження інтенсивності тертя у зоні різання. Це досягається переходом від лезової до абразивної обробки, застосовуючи, наприклад, алмазні інструменти, які мають гостру ріжучу кромку, високу зносостійкість та низький коефіцієнт тертя. Крім того, під час абразивної обробки (шліфування) має місце інтенсивне тертя як зерен, так і зв'язки шліфувального круга із оброблюваним матеріалом, що є основним джерелом підвищення сили і температури різання. Тому в економічно розвинених країнах прагнуть всі види механічної обробки деталей машин (чорнові та чистові) здійснювати лезовими інструментами, а абразивні інструменти застосовувати лише на операціях доведення.

Згідно залежності (8.34), зменшення величини  $\sigma$  досягається зменшенням кута  $(\psi - \gamma)$ , тобто зменшенням коефіцієнта тертя  $f = \operatorname{tg} \psi$  оброблюваного матеріалу із передньою поверхнею інструменту й переднього кута  $\gamma$ .

Встановлено, що температура за товщиною стружки розподіляється нерівномірно: найбільша вона на передній поверхні інструменту. Тому під температурою різання розуміють середню температуру  $\theta$  на поверхні контакту інструменту із стружкою й на поверхні різання:

$$\theta = \theta_{\text{д}} + \theta_{\text{пср}}, \quad (8.39)$$

де  $\theta_{\text{д}}$  – температура деформації, К;

$\theta_{\text{пср}}$  – середня температура тертя на передній поверхні, К.

Для визначення середньої температури тертя на передній поверхні  $\theta_{\text{пср}}$  необхідно знати розподіл температури в інструменті. Однак теоретично вирішити цю задачу достатньо складно. Тому її вирішують експериментально із використанням різних методів вимірювання температури. Основний метод – це метод термопар. Температуру стружки вимірюють калориметричним методом. Далі, на основі цих вимірів складають емпіричну формулу для визначення температури різання:

$$\theta = C_{\theta} \cdot V^m \cdot a^n \cdot b^q, \quad (8.40)$$

де  $V$  – швидкість різання, м/хв;

$a$ ,  $b$  – товщина і ширина зрізу, мм;

$C_\theta$  – коефіцієнт, залежний від оброблюваного й інструментального матеріалів та інших чинників за винятком параметрів  $V$ ,  $a$ ,  $b$ ;

$m$ ,  $n$ ,  $q$  – показники ступеня ( $m > n > q$ ).

Виходячи із залежності (8.40), на температуру різання  $\theta$  найбільше впливає швидкість різання  $V$ , потім, у порядку убутання, товщина  $a$  та ширина  $b$  зрізу. Отже, суттєво зменшити температуру різання  $\theta$  можна, у першу чергу, шляхом зменшення швидкості різання  $V$ .

**Мастильно-охолоджувальні рідини, що застосовують під час металообробки.** Для підвищення ефективності процесу різання у зону обробки подають мастильно-охолоджувальну рідину (МОР), яка діє на деталь та інструмент наступним чином:

- змащує тертьові поверхні, що знижує коефіцієнт тертя у 3 ... 5 разів;
- полегшує процес пластичного деформування й зменшує роботу під час різання;
- охолоджує інструмент, стружку та оброблювану деталь, що зменшує температуру різання й підвищує стійкість інструменту;
- вимиває стружку із зони різання.

Основні вимоги до МОР: вона не повинна викликати корозію верстата, інструменту та деталі, а також бути нешкідливою для працівника. Мастильно-охолоджувальні рідини поділяють на групи:

- МОР, що характеризуються охолоджувальною властивістю. Це водні розчини електrolітів, що складаються із води (98 %) та соди кальцинованої (2 %);
- МОР, що характеризуються охолоджувальною та частково мастильною властивістю. Це водний розчин мила (складається із води – 98,2 %, мила 0,9 % та інших компонентів), різні емульсії, що складаються із води та 2 ... 2,5 % емульсолів;
- МОР, що змащують і частково охолоджують. Це масляні рідини, наприклад, сульфокфрезол, що включає масло веретенне № 3 (80 %), нігрол (18 %), сірку (2 %).

Для підвищення ефективності різання важкооброблюваних матеріалів застосовують охолодження газами (наприклад, вуглекислим газом  $CO_2$ ) або використовують тверді мастила (графіт). Під час чорнової обробки необхідно більше уваги приділяти охолодженню зони різання, а під час чистової обробки – забезпечити зону різання мастилом.



Основні способи підведення МОР: охолодження падаючим струменем, напірно-струминне охолодження, охолодження розпоорошеною рідиною. Найбільш поширений перший спосіб. Недолік – велика витрата рідини.

**Матеріали, що застосовуються під час виготовлення ріжучих інструментів.** Ефективність застосування інструментальних матеріалів визначається їх фізико-механічними властивостями – твердістю, в'язкістю, міцністю, зносостійкістю, температуропровідністю, червоностійкістю тощо [3, 25 – 27]:

- твердість інструментального матеріалу повинна в декілька разів перевищувати твердість оброблюваного матеріалу;
- зі збільшенням твердості зростає крихкість, що не бажано, тобто інструментальний матеріал повинен бути достатньо в'язким, щоб витримувати пульсуючі навантаження;
- інструментальний матеріал повинен бути міцним;
- інструментальний матеріал повинен бути теплопровідним, щоб відводити тепло із зони різання та зменшувати температуру;
- червоностійкість – це здатність матеріалу зберігати свої фізико-механічні властивості (особливо твердість) за високих температур.

Як інструментальні матеріали застосовують: вуглецеву інструментальну, леговану інструментальну та швидкорізальну сталі, металокерамічні тверді сплави, мінералокерамічні матеріали, алмази й абразивні матеріали (синтетичні надтверді матеріали) [3]:

- вуглецеві інструментальні сталі марок У10А, У11А, У12А, У13А (вміст вуглецю 0,9 ... 1,3 %) застосовують під час виготовлення свердел малих діаметрів, зенкерів, фрез та інших інструментів для обробки із низькими швидкостями різання ( $V < 10 \dots 15$  м/хв);
- леговані інструментальні сталі марок ХГСВФ, 9ХС, ХВГ, Х, 11Х, ХВСГ та ін. застосовують під час обробки із невеликими швидкостями різання для виготовлення свердел, круглих плашок, фрез, мітчиків, розверток, протяжок;
- швидкорізальні сталі: Р9 (9 % вольфраму), Р18 (18 % вольфраму) та ін.; Р9М (вольфрамо-молібденові) застосовують за більш високих швидкостях різання ( $V = 10 \dots 50$  м/хв);
- металокерамічні тверді сплави дозволяють у 2 ... 10 разів збільшити швидкість різання порівняно зі швидкорізальними сталями. Мета-

локерамічні тверді сплави виготовляють методом пресування та спікання у вигляді пластин.

Існує три групи твердих сплавів:

- вольфрамова, ВК (ВК6 містить 6 % кобальту, 94 % карбід вольфраму);
- титано-вольфрамова, ТК (Т15К6 містить 6 % СО, 15 % карбід титану, 79 % карбід вольфраму);
- титано-тантало-вольфрамова, ТТК.

Сплави цих трьох груп поділяються на марки залежно від відсоткового вмісту елементів, що входять до них: вольфраму, кобальту та ін. Більш застосовна група ВК. Третя група застосовується рідко, хоча характеризується найбільшою міцністю.

Мінералокераміка у вигляді пластинок забезпечує більш високі швидкості різання порівняно із твердими сплавами. Вихідний продукт під час виготовлення – глинозем  $Al_2O_3$ , застосовуються методи пресування й термічної обробки (спікання). Мінералокерамічні інструменти застосовуються для напівчистої та чистої обробки сталі, чавуну й кольорових металів за відсутності ударного навантаження.

Найбільшу твердість із всіх матеріалів у природі має алмаз. Його твердість у 5 – 6 разів перевищує твердість твердих сплавів. Однак він крихкий та нестійкий за високих температур (до 800 °С), має низьку міцність, але дуже теплопровідний. Алмаз – кристалічний вуглець. Застосовують природні та синтетичні алмази. На Полтавському заводі штучних алмазів і алмазного інструменту виготовляють пластинки із синтетичних алмазів для оснащення лезових інструментів розміром до 8 мм.

Висока крихкість і низька теплостійкість алмаза не дозволяють завжди ефективно застосовувати його під час обробки чорних металів (сталі й чавуну), але алмазні інструменти використовуються під час обробки кольорових металів, міцних пластмас і напівпровідників.

Також отримали практичне застосування ще такі синтетичні надтверді матеріали, як кубічний нітрид бору (або ельбор, боразон) та гексаніт. Це більш теплостійкі матеріали порівняно із алмазом, але характеризуються меншою теплопровідністю. Різання цими інструментами дозволяє поліпшити чистоту обробки.

**Зношування і стійкість ріжучих інструментів.** У процесі різання відбувається зношування інструменту, що призводить до його

затуплення, збільшення сил і температури різання, погіршення якості обробки. Залежно від умов різання можуть бути різні види зношування:

- за невеликих швидкостей різання у результаті тертя стружки із передньою поверхнею інструменту й оброблюваної деталі із задньою поверхнею інструменту відбувається стирання, такий вид зношування називається *абразивним*;

- за відносно високих швидкостей різання внаслідок збільшених температур різання відбуваються структурні зміни у поверхневих шарах інструменту. Зносостійкість інструменту зменшується. Такий вид зношування називається *термічним*;

- за високих швидкостей різання може бути зношування у результаті окислення верхніх шарів інструменту, відбувається корозія – кисень вступає у хімічну реакцію. Це *окислювальне зношування*;

- в інструментах, виготовлених із крихких матеріалів можливе викишування частинок (механічний процес). Зношування називається *крихким*;

- *адгезійне зношування* відбувається за високих температур і тисків у результаті злипання стружки із передньою поверхнею інструменту, частинки металу вириваються;

- під час роботи твердосплавним інструментом за температури 900 °С можливе *дифузне зношування* (хімічна спорідненість інструментального та оброблювального матеріалів);

- значно впливає на зношування інструмента ударне навантаження під час різання, особливо під час переривчастого різання твердосплавними й мінералокерамічними інструментами.

Зношування може бути: переважно по задній поверхні й частково по передній; переважно по передній і частково по задній поверхні; одночасно по передній і задній поверхнях; у результаті округлення леза. Зношування по задній поверхні є основною причиною затуплення інструменту. Критерієм зношування є розмір зношеного майданчика на задній поверхні інструмента.

Граничний розмір, за яким процес різання необхідно припинити, називається *допустимим зношуванням* або *нормою зношування*. На рис. 8.20 показано криву зношування інструменту одночасно за задньою і передньою поверхнями: ОА – початковий період; АВ – нормальний період; точка С – втрата ріжучої здатності інструменту.

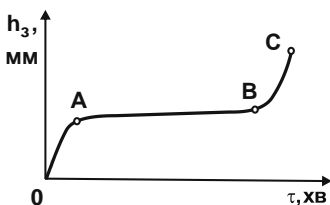


Рисунок 8.20 – Залежність зношування інструменту від часу обробки

Процес різання слід припинити у точці В та загострити інструмент.

Існує поняття – *стійкість інструменту* або *період стійкості інструменту*. Це час роботи інструменту між його загостреннями (за умови досягнення норми зношування). Сумарна стійкість інструменту дорівнює добутку стійкості на кількість загострень.

Час роботи інструменту, протягом якого забезпечуються задані розміри й чистота обробки, називається *розмірною стійкістю інструменту*. За критерій зношування приймається радіальне зношування інструменту.

Стійкість інструменту  $T$  (рис. 8.21) визначається швидкістю різання  $V$ :

$$V = \frac{A}{T^m}; \quad T = \frac{C}{V^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p}, \quad (8.41)$$

де  $A$  – постійна, залежна від всіх інших параметрів різання;  
 $m < 1$ .

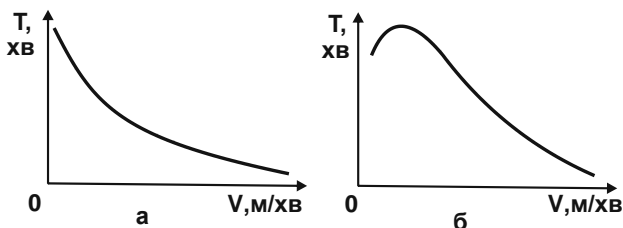


Рисунок 8.21 – Залежність стійкості інструменту від швидкості різання без утворення (а) та з утворенням (б) наросту на передній поверхні інструменту

За формулою (8.41) можна розрахувати швидкість різання  $V$  за умови заданого періоду стійкості інструменту  $T$  та параметрів режиму різання: глибини різання  $t$  та подачі  $S$ .

## Основні види обробки різанням, їх призначення та області застосування

**Точіння** – це найбільш поширений спосіб різання матеріалів. Верстати токарної групи складають приблизно половину всіх металорізальних верстатів. Способом точіння обробляють зовнішні, внутрішні й торцеві поверхні тіл обертання циліндричної, конічної та фасонної форми. При цьому:

- зовнішні поверхні обробляють прохідними різцями; внутрішні – розточувальними різцями; торцеві – підрізними різцями; зовнішні й внутрішні різьблення нарізають різьбовими різцями; розрізання заготовок на частини здійснюють відрізними різцями;

- залежно від напрямку подачі різці поділяють на праві та ліві;
- залежно від розташування робочої частини відносно корпусу, різці бувають прямі й вигнуті.

Розглянемо основні види обробки, що здійснюють на токарно-гвинторізних верстатах.

1. *Обробка циліндричних поверхонь, площин, прорізування канавок, відрізання.* Циліндричні поверхні обробляють шляхом поздовжнього переміщення супорта або різцевих ползків верстата. Зовнішні циліндричні поверхні обробляють прохідними різцями, а внутрішні – розточувальними.

Пристосування для закріплення заготовок вибирають залежно від її форми і розмірів. Заготовки типу валів залежно від відношення їх довжини до діаметра рекомендують кріпити так: за умови  $l/d < 4$  – у патроні, за умови  $4 \leq l/d < 40$  – у центрах, за умови  $l/d > 10 \dots 12$  – у центрах із додатковою опорою заготовки на кулачки рухомого або нерухомого люнета.

Площини обробляють прохідними прямими і відігнутими, а також підрізаними різцями із поперечною подачею (рис. 8.22). Прорізують канавки і відрізають заготовки також із поперечною подачею канавковими і відрізними різцями (рис. 8.22).

За умови відрізування деталі різцями із нахиленою кромкою не потрібна подальша обробка торця.

Внутрішні циліндричні поверхні обробляють центровими інструментами (свердлами, зенкерами, розвертками), які встановлюють в пінолі задньої бабки чи за допомогою державки в різцетримачі, або розточними різцями для наскрізних і глухих отворів (рис. 8.22).

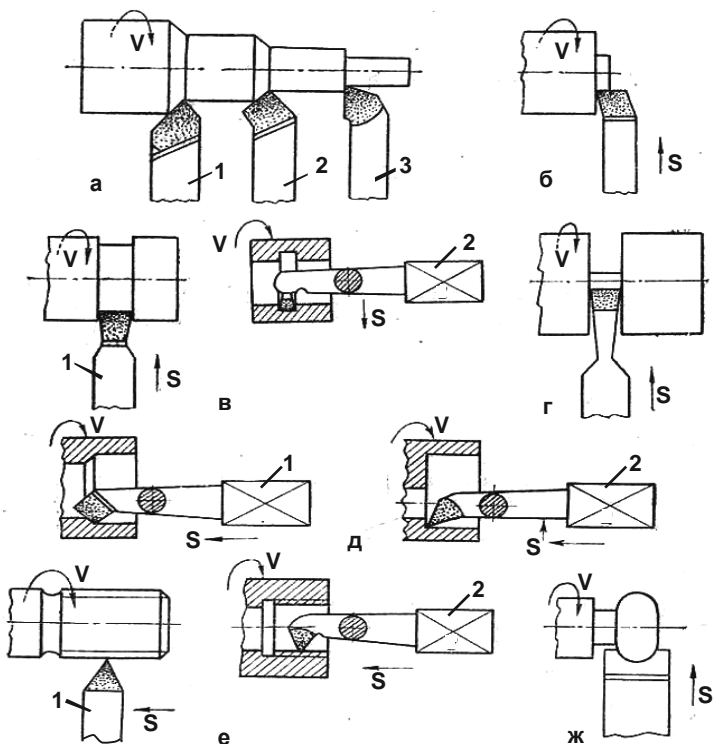


Рисунок 8.22 – Види токарних різців за призначенням:  
 а – прохідні: 1 – прямий, 2 – відігнутий, 3 – упорний;  
 б – підрізний; в – канавкові: 1 – для зовнішніх канавок;  
 2 – для внутрішніх канавок; г – відрізний; д – розточувальні:  
 1 – для наскрізних отворів, 2 – для глухих отворів; е – різьбові:  
 1 – для зовнішніх різьблень, 2 – для внутрішніх різьблень;  
 ж – фасонний

2. *Конічні поверхні* обробляють різними методами. Різцем із похило розташованою ріжучою кромкою обробляють зовнішні 1 і внутрішні 2 конічні поверхні, довжина яких не перевищує 20 ... 25 мм (рис. 8.23,а).

За допомогою повороту верхньої каретки супорта обробляють зовнішні і внутрішні конічні поверхні, довжина яких не перевищує довжини ходу різцевих полозків. Напрямні різцевих полозків встановлюють під

кутом  $l$  (рис. 8.23,б) до вісі обертання заготовки, який дорівнює половині кута при вершині оброблюваного конуса.

Методом зміщення задньої бабки обробляють тільки зовнішні конічні поверхні. У яких довжина твірної порівняно велика, а кут при вершині конуса не перевищує  $10 \dots 12^\circ$ . Заготовку в цьому випадку закріплюють у центрах, а корпус задньої бабки зміщують у поперечному напрямі на величину  $h = l \cdot \sin \varphi$  (рис. 8.23,в). Більш продуктивним і точним є метод обробки конусів за допомогою копіювальної конусної лінійки 1 (рис. 8.23,г), що кріпиться на кронштейні до станини. За автоматичної або ручної подачі супорта повзунок 2, тяга 3 і різець переміщуються.

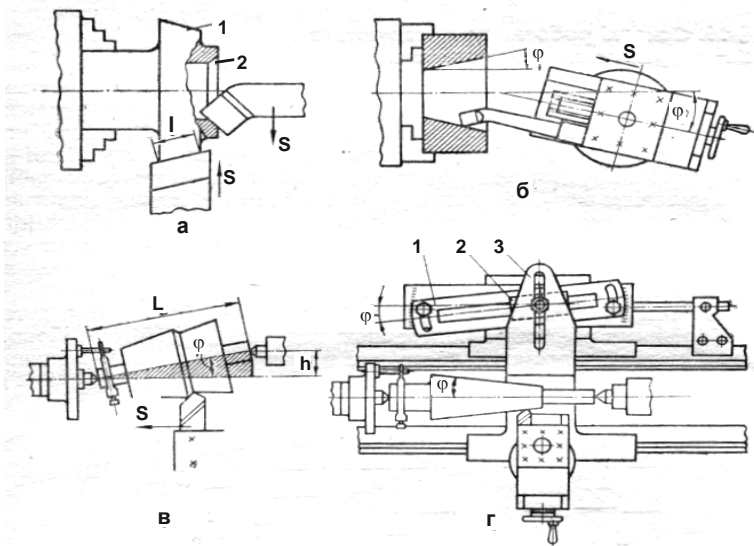


Рисунок 8.23 – Обробка конічних поверхонь на токарному верстаті

3. Фасонні поверхні 2 (рис. 8.24) незначної довжини обробляють на копірах за допомогою механічної, гідравлічної або електромеханічної слідкуючих систем.

У сучасних умовах все більшого поширення набуває обробка фасонних поверхонь на верстатах із ЧПУ за заздалегідь складеної програми.

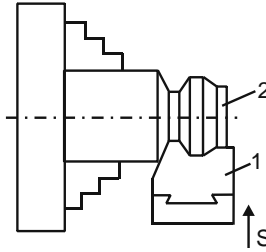


Рисунок 8.24 – Обробка фасонних поверхонь фасонним різцем

4. Нарізання різьблення на токарному верстаті можна здійснити плашками, мітчиками або різбовими різцями. Для нарізання різьблення кроком  $P_{н.р.}$  токарний верстат настроюють таким чином, щоб за кожний оберт шпинделя різець переміщувався на крок різьблення  $P_{н.р.}$ .

Правильність положень 1 і 3 (рис. 8.25,а) під час обробки перевіряють за допомогою шаблона 2. Різьблення нарізають за декілька проходів (рис. 8.25,б,в). Після кожного проходу різець відводять від заготовки і супорт повертають у вихідне положення.

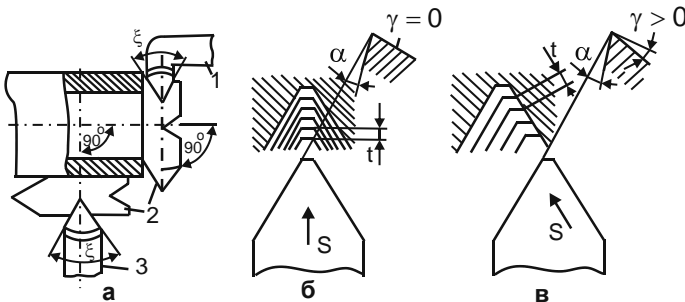


Рисунок 8.25 – Схеми нарізання різьблення різцями на токарному верстаті

Під час нарізання багатоходових різьблень після нарізання кожної гвинтової канавки перед наступною верстат зупиняють і здійснюють ділення (поворот заготовки на кут  $360/n$ ) або переміщують різець вздовж вісі за нерухомої заготовки на величину  $P_{н.р.}/n$ , де  $n$  – число заходів різьби.



**Свердління, зенкерування та розвертання.** За допомогою свердел, зенкерів і розверток здійснюють обробку отворів. Ці ріжучі інструменти відносяться до осевих ріжучих інструментів (рис. 8.26). Найбільш поширеними є гвинтові свердла, які призначено для свердління та розсвердлювання наскрізних і глухих отворів.

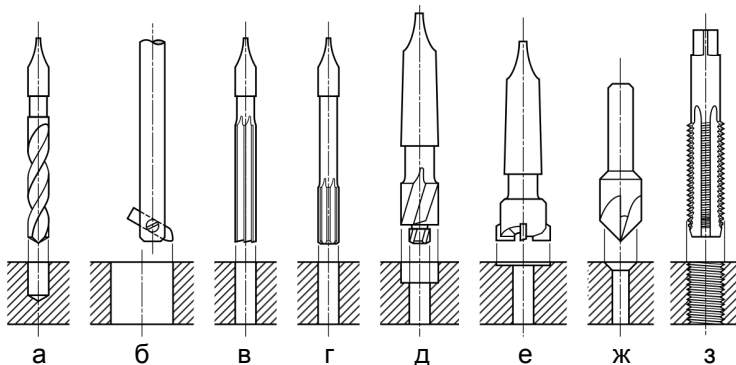


Рисунок 8.26 – Схеми обробки отворів: а – свердління; б – розточування на токарному верстаті (борштанга); в – зенкерування; г – розвертання; д, е – цекування; ж – зенкування; з – нарізання різьблення митчиком

Зенкером обробляють отвори, отримані після відливання, штампування або свердління.

Розвертки застосовують для остаточної обробки отворів.

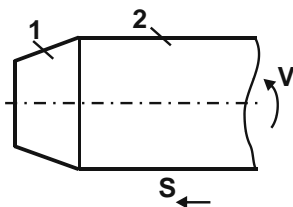


Рисунок 8.27 – Принципова схема конструкції розвертки

Свердло – більш складний інструмент порівняно із різцем. Глибина різання під час свердління дорівнює  $D/2$ , де  $D$  – діаметр отвору. Під час розвертання у процесі різання приймають участь більше зубів, ніж під час зенкерування, менше глибина різання. Розвертка має забірну 1 та калібруючу 2 частини (рис. 8.27).

Розглянемо більш детально ріжучі інструменти, що застосовують для обробки отворів на свердлильних верстатах.

На свердлильних верстатах здійснюють такі основні операції:

- свердління, розсвердлювання, зенкерування (рис. 8.28,а) – процеси обробки циліндричних літих, штампованих або попередньо просвердлених отворів зенкером для надання їм правильної геометричної форми, потрібних розмірів і необхідної шорсткості поверхні;
- розточування отворів (рис. 8.28,б) – процеси обробки отворів різцями у тих випадках, коли осі отворів повинні бути розташовані за точними координатами;
- розвертання отворів (рис. 8.28,в) – процеси точної обробки отворів із метою надання їм точних розмірів і малої шорсткості поверхні;
- зенкування отворів (рис. 8.28,г) – процеси утворення циліндричних або конічних заглиблень у попередньо просвердлених отворах під головки болтів, гвинтів та інших деталей за допомогою циліндричних і конічних зенкерів (зенківок);
- цекування – обробка торцевих поверхонь під гайки, шайби і кільця пластинками або торцевими зенкерами (рис. 8.28, д,е).

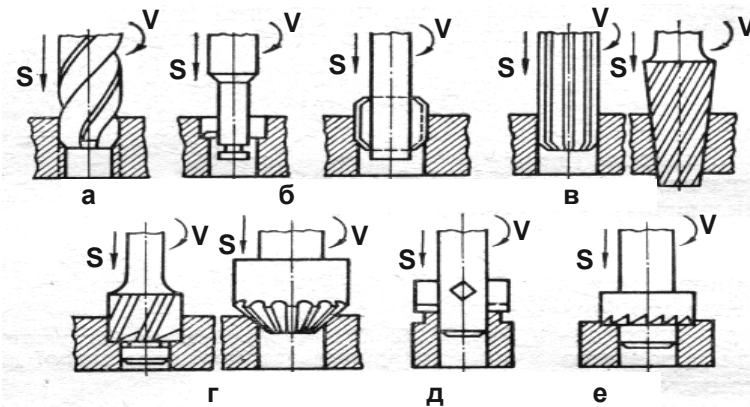


Рисунок 8.28 – Обробка отворів на свердлильних верстатах

Нарізання різьблення в отворах можна здійснити на свердлильних верстатах мітчиками. Під час свердління глибоких отворів ( $l/d > 5$ ) обертального руху надають заготовці (головний рух), а поступального руху – свердлу (рух подачі). При цьому відхилення вісі отвору вбік значно зменшується.

**Свердла.** Розрізняють такі основні типи свердел:

- перові свердла (рис. 8.29,а), що являють собою стержень або закріплювану в оправці пластинку з різальними кромками, заточеним під кутом  $2\lambda = 80 \dots 150^\circ$ . Застосовуються ці свердла в основному для свердління отворів у твердих поковках і виливках та для обробки ступінчастих отворів;
- спіральні свердла (рис. 8.29,б);
- свердла для глибокого свердління (рис. 8.29,в);
- центрувальні свердла (рис. 8.29,г), які призначено для утворення центрових отворів у заготовках, що обробляються у центрах;
- свердла для кільцевого свердління (рис. 8.29,д), які застосовують для свердління глибоких отворів, діаметр яких перевищує 75 мм.

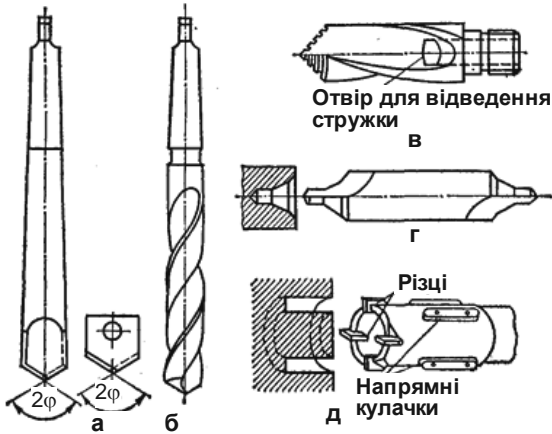


Рисунок 8.29 – Типи свердел

Спіральні свердла – найбільш поширений тип свердел. Виготовляють їх діаметром 0,1 ... 80 мм.

Спіральне свердло (рис. 8.30,а) складається із ріжучої частини 1, напрямної 2, шийки 3, хвостовика 4 і лапки 5. Ріжуча частина виконує основну роботу різання. Напрямна частина спрямовує свердло в отворі і забезпечує виготовлення отвору потрібного діаметру. Хвостовик може бути циліндричним або конічним. У свердел із циліндричним хвостовиком (рис. 8.30,б) поводок 5 запобігає провертанню свердла у патроні.

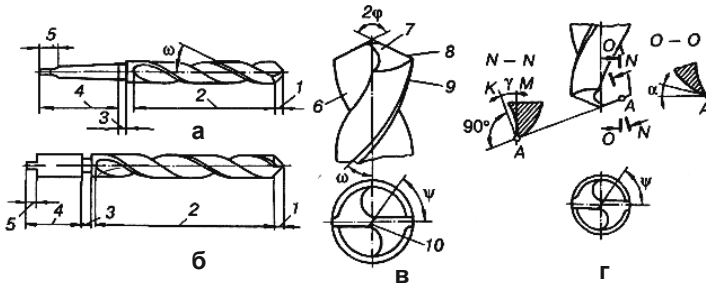


Рисунок 8.30 – Основні елементи і геометричні параметри спірального свердла

Ріжуча частина свердла включає передню 6 і задню 7 поверхні, головні 8 і допоміжні 9 ріжучі кромки, а також поперечну кромку 10. Передньою поверхнею 6 свердла (рис. 8.30,в) є гвинтова поверхня. Задня поверхня 7 – це поверхня, обернена до поверхні різання. Головні ріжучі кромки 8 свердла утворюються перетином передніх і задніх його поверхонь. Кут між ними у свердел для обробки сталі і чавуну дорівнює  $2\varphi = 118^\circ$ , для свердління м'яких і в'язких матеріалів (алюмінію, сілуміну) –  $2\varphi = 80 \dots 90^\circ$ , для свердління твердих і крихких матеріалів –  $2\varphi = 130 \dots 140^\circ$ .

Кут нахилу поперечної кромки (перемички) 10 свердла дорівнює  $\psi = 50 \dots 55^\circ$  (рис. 8.30,в,г). Працює поперечна кромка у важких умовах, оскільки на ній передній кут має від'ємне значення. Внаслідок цього під час свердління виникають значні зусилля, направлені вздовж свердла.

У головній січній площині N–N (рис. 8.30,г), нормальній до головної ріжучої кромки, свердло має форму різця із властивими для нього геометричними параметрами. Передній кут свердла  $\gamma$  вимірюється у цій площині. У міру наближення до вісі свердла передній кут зменшується, а задній кут, навпаки, збільшується. Передній кут поперечної кромки може набувати від'ємних значень.

Для зменшення тертя свердла об стінки отвору на напрямній частині його залишають дві вузькі гвинтові стрічки завширшки 0,2 ... 2,6 мм, а решту її роблять меншого діаметра. Із цією ж метою діаметр свердла зменшують у напрямі до хвостовика на 0,01 ... 0,1 мм на кожних 100 мм довжини. Глибина різання під час свердління дорівнює половині діаметра свердла.

**Зенкери.** Залежно від призначення розрізняють такі основні типи зенкерів:

- спіральні (рис. 8.31,а,б), що застосовують для обробки наскрізних циліндричних отворів;
- циліндричні з напрямною цапфою (рис. 8.31,в) призначено для обробки торцевих площин або отворів під циліндричні головки гвинтів;
- конічні (зенківки) (рис. 8.31,г) застосовуються для зенкування конічних заглиблень під головки гвинтів, центрових отворів, зняття фасок та ін.

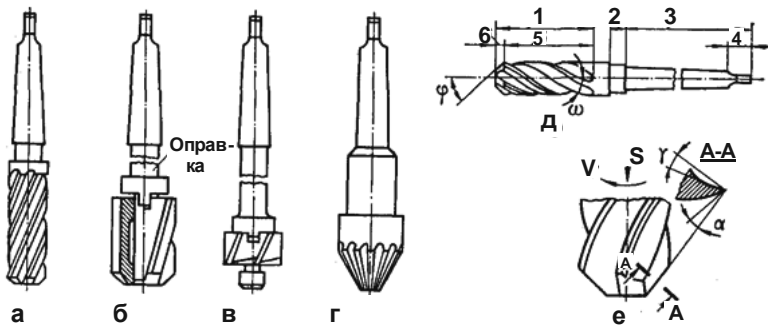


Рисунок 8.31 – Основні типи зенкерів

За способом кріплення розрізняють такі зенкери: хвостові (рис. 8.31,а,г) і насадні (рис. 8.31,б,в). Зенкери виготовляють суцільними, із напаяними пластинками із твердих сплавів і збірними із вставними ножами.

Розглянемо елементи і геометричні параметри зенкерів.

Спіральний хвостовий зенкер (рис. 8.31,д) складається із робочої частини 1, шийки 2, хвостовика 3, лапки 4. Робоча частина, в свою чергу, складається із ріжучої 6 і напрямної 5 частин. Ріжуча частина ріжучими кромками, що розташовані відносно вісі зенкера під кутом  $\varphi = 45 \dots 60^\circ$ , виконує основну роботу різання, а напрямна – спрямовує зенкер у отвір і забезпечує виготовлення отвору потрібного діаметра.

Спіральні зенкери виготовляють діаметром 10 ... 100 мм із числом зубів 3 ... 6. Передній кут зубів зенкера  $\gamma$  вимірюють у площині, нормальній до ріжучої кромки (рис. 8.31,е). Задній кут вимірюють у цій же

площині. Величина його змінна, і в міру наближення до осі зенкера  $\alpha$  збільшується. Напрямна частина зенкера, як і у свердел, має напрямні стрічки завширшки 0,8 ... 2 мм. Наявність більшої кількості зубців порівняно із свердлом підвищує стійкість і продуктивність зенкерів, а також точність оброблених отворів і якість їх поверхні.

**Розвертки.** Залежно від способу застосування розвертки поділяють на ручні і машинні. За конструктивними особливостями розвертки, як і зенкери, поділяють на хвостові і насадні, суцільні і з вставними ножами. За формою оброблюваного отвору розрізняють розвертки циліндричні, конічні та ступінчасті. Поряд із розвертками із швидкорізальних сталей (P9, P6M5) широко застосовують розвертки, оснащені твердими сплавами (BK6, T15K6).

Розвертка складається із робочої частини 1, шийки 2 і хвостовика 3 (рис. 8.32).

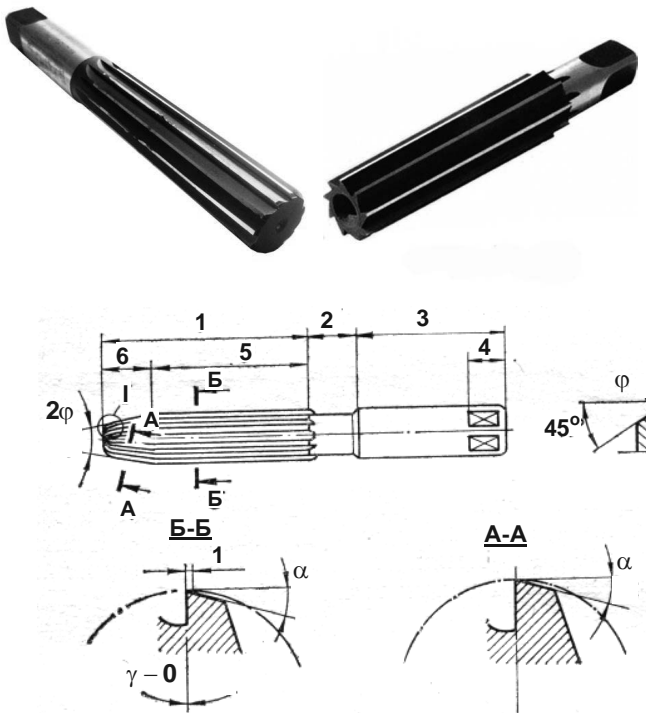


Рисунок 8.32 – Елементи і геометричні параметри розвертки

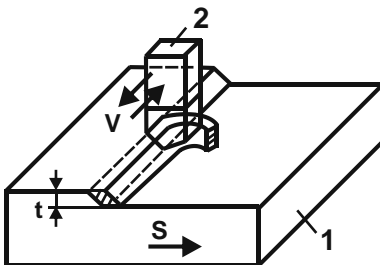
У робочу частину розвертки входять ріжуча 6 і калібрувальна 5 частини. Кут  $\Gamma$  у ручних розверток дорівнює  $1 \dots 2^\circ$ , а у машинних – для обробки крихких і твердих матеріалів  $\Gamma = 3 \dots 5^\circ$  і для в'язких матеріалів  $\Gamma = 12 \dots 15^\circ$ .

Передній і задній кути розверток вимірюють у площині, нормальній до ріжучої кромки. У чорнових розверток передній кут  $\gamma = 5 \dots 10^\circ$ , задній  $\alpha = 7 \dots 12^\circ$ , у чистових  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 3 \dots 5^\circ$ .

Калібрувальна частина напрямляє розвертку в отворі, надає йому потрібної точності і чистоти поверхні. На зубах калібрувальної частини залишають стрічку завширшки  $0,05 \dots 0,5$  мм, яка забезпечує напрям розвертки в отворі і "вигладжує" оброблену поверхню. Хвостовик призначено для кріплення машинних розверток у шпинделі верстата, а ручних – у воротку. Залежно від методу кріплення він може бути конічним або циліндричним із квадратом 4 під вороток на кінці. Розвертки хвостові виготовляють діаметром  $3 \dots 50$  мм, а насадні – до 100 мм.

Кількість зубів розверток для полегшення вимірювання їх діаметра парне і залежно від його величини становить близько  $6 \dots 12$ . Для зменшення огранки отворів розвертки мають нерівномірний крок зубів по обводу. Розвертками обробляють отвори 7 ... 10 квалітетів точності.

**Стругання** – це спосіб обробки плоских і фасонних лінійчастих



поверхонь, різних канавок в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва. Застосовують стругальні різці, конструкція яких подібна до конструкції токарних різців. Під час стругання здійснюють робочий і холостий (зворотний) хід різця або заготовки. Головний рух  $V$  – зворотно-поступальний прямолінійний, а рух подачі  $S$  – крокоподібний, спрямований перпендикулярно до напрямку головного руху

Рисунок 8.33 – Схема стругання:  
1 – заготовка; 2 – стругальний різець

(рис. 8.33). Параметри зрізу в процесі стругання аналогічні параметрам зрізу під час точіння.

Процес різання під час стругання має переривчастий характер, і зрізання стружки відбувається тільки за зустрічним відносним рухом

різця і заготовки. Під час зворотного (допоміжного) ходу різець роботу не виконує. Урізання різця у заготовку на початку кожного робочого ходу супроводжується ударом. За час холостого ходу різець остигає, тому під час стругання у більшості випадків не застосовують мастильно-охолоджуючі рідини. Ударні навантаження на ріжучі кромки і циклічний характер їх нагріву суттєво знижують стійкість різців порівняно із безперервним різанням, тому стругання здійснюють за помірних швидкостей різання. Головки та державки стругальних різців виготовляють більш масивними, ніж у токарних різців.

**Фрезерування.** Фрезерування застосовують для обробки площин, пазів, фасонних поверхонь, шліців, розрізання заготовок, виготовлення різьблення (рис. 8.34).

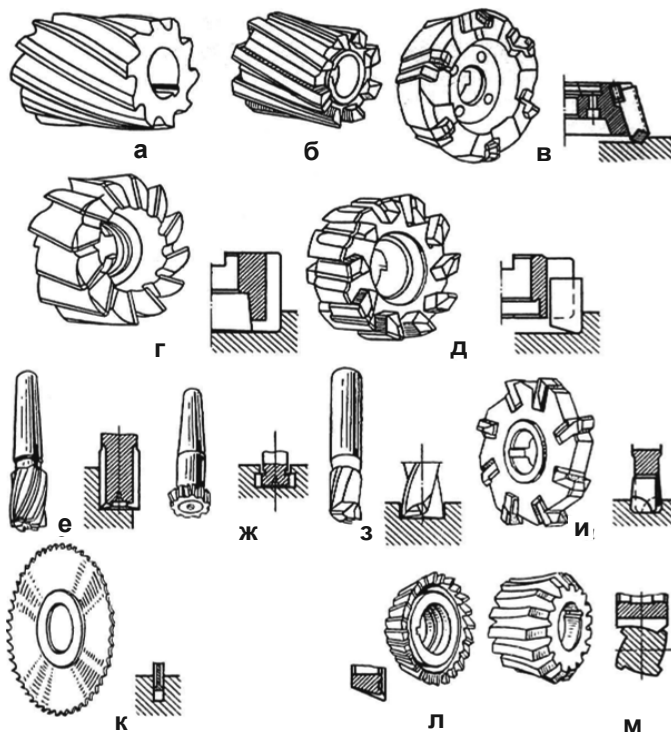


Рисунок 8.34 – Типи фрез: а, б – циліндричні; в, г, д – торцеві; е, ж – кінцеві; з – шпонкові; и – дискові; к – відрізні та прорізні; л – кутові; м – фасонні



Порівняно із точінням і струганням, цей спосіб різання більш продуктивний, оскільки одночасно у роботі приймають участь кілька лез. Фрези – це багатолезовий інструмент. Фрези бувають циліндричні, торцеві, кінцеві, дискові, кутові, фасонні та ін. (рис. 8.34). У циліндричних фрез леза розташовані на зовнішній циліндричній поверхні. У торцевих фрез на торці розташовано різці. У циліндричних фрез леза розташовані паралельно вісі фрези та під нахилом (вздовж гвинтової лінії). Тому ширина й товщина зрізу в процесі обробки змінні. Але за певних поєднань параметрів фрезерування можна отримати постійну площу зрізу одночасно працюючими зубами. Таке фрезерування називається *рівномірним*. Воно більш ефективно, ніж звичайне фрезерування.

**Різьбонарізання.** Різьбонарізання – одна із найпоширеніших технологічних операцій у машинобудуванні. Зовнішні та внутрішні різьблення найбільш просто виконувати на токарно-гвинторізному верстаті фасонними (різьбовими) різцями (рис. 8.35). Також нарізають *різьблення* за допомогою мітчиків, плашок, гребінок, фрез (рис. 8.35). Точні й дрібні різьблення нарізають шліфувальними кругами. Застосовують процес накочення різьблення, коли його профіль утворюється не різанням, а методом пластичного деформування металу (видавлюванням).

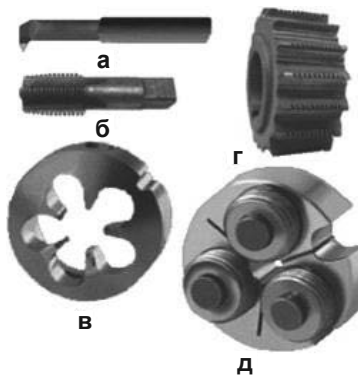


Рисунок 8.35 – Різьбонарізний інструмент:

- а – розточувальний різьбовий різець; б – мітчик; в – плашка;
- г – різьбова фреза; д – різьбонакатна головка

Внутрішні різьблення нарізають мітчиками, а зовнішні – плашками (рис. 8.36). Це достатньо складні процеси різання. Указані ріжучі ін-

струменти мають забірну й калібруючу частини. Забірна частина – зрізає метал, а калібруюча частина зачищає поверхню, тобто забезпечує її якість.



Рисунок 8.36 – Мітчики та плашка

Як зазначено раніше, різьбові різці мають профіль, що відповідає профілю різьби, що нарізується. Швидкість руху поздовжньої подачі повинна дорівнювати кроку різьблення. Нарізання різьблення здійснюється за кілька робочих ходів. Найчастіше різець встановлюють перпендикулярно вісі центрів верстата, і обидва його леза ріжуть одночасно і знімають симетричні стружки. Для зменшення числа чорнових ходів різець встановлюють під кутом  $60^\circ$  до осі центрів. У цьому випадку працює тільки одне лезо і можна знімати товстіші стружки. Для підвищення продуктивності нарізання зовнішніх різьблень застосовують охоплюючі головки – вихрове різання.

Плашка, за суттю, є гайка, в якій за допомогою отворів утворено ріжучі зуби. Також плашку можна розглядати як протяжку із ріжучими зубами, розташованими уздовж гвинтової поверхні.

Мітчик – це гвинт, із однією або декількома поздовжніми канавками, що утворюють ріжучі кромки і передні поверхні на його зубах. Отже, мітчик, як і плашку, можна розглядати як протяжку із ріжучими зубами, розташованими уздовж гвинтової поверхні.

**Протягання** застосовують для обробки наскрізних отворів і зовнішніх поверхонь різного профілю (рис. 8.1). Цей процес дозволяє у 2 – 3 рази збільшити продуктивність порівняно із процесами стругання, фрезерування та розвертання. Це пов'язано із тим, що у роботі приймає участь велика кількість лез та забезпечується більша сумарна площа зрізу металу. Протяжка – багатолезовий інструмент, який може

бути круглої, квадратної (рис. 8.37), прямокутної, шліцьової та інших форм. Існує профільна, генераторна, прогресивна схеми різання протяганням.

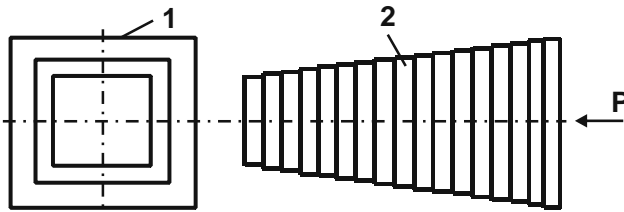


Рисунок 8.37 – Принципова схема протягання:  
1 – оброблюваний квадратний отвір; 2 – протяжка

**Зубоутворення.** Зубчасті передачі є поширеними елементами сучасних машин та механізмів. Виробництво зубчастих коліс, що входять в зубчасті передачі, є достатньо складним і трудомістким процесом, що вимагає високоточного обладнання, оптимально спроектованих технологічних процесів, заснованих на використанні положень теорій зубчастого зачеплення, матеріалознавства, різання металів та технології машинобудування [22].

Заготовки зубчастих коліс отримують литтям, штампуванням, накаткою у холодному і гарячому стані за допомогою накатного інструменту із подальшою їх обробкою на металорізальних верстатах із використанням спеціального зубообробного інструменту. У процесі нарізання зубчастих коліс здійснюється послідне видалення матеріалу, що заповнює западину між зубами, і утворення контуру бічних сторін двох суміжних зубів. У цьому процесі має велике значення забезпечення точності розмірів, форми та розташування зубів у колесі. Поняття точності елементів зубчастого колеса включає, у першу чергу, ступінь наближення реального профілю зуба, кроку зачеплення і центру діляльного кола до теоретичних їх значень. Указані значення визначають ступінь точності зубчастих зачіплень і повинні контролюватися під час виготовлення зубчастих коліс.

Нарізання зубчастих коліс здійснюють методом копіювання і методом обкатування (обгинання), які реалізують за допомогою фрезерування, стругання, довбання, шевінгування і шліфування.

Метод копіювання (рис. 8.38) засновано на застосуванні фасонного інструменту, зовнішній профіль ріжучої частини якого точно відповідає профілю западини між двома зубами оброблюваного зубчастого колеса. Реалізація методу копіювання здійснюється дисковими і пальцевими модульними фрезами, а також зубодовбальними головками, які під час різання поступово прорізають западину між зубами. Після прорізання однієї западини, заготовку повертають за допомогою ділильної головки на частину оберту, рівну  $1/z$  ( $z$  – число зубів зубчастого колеса), і цикл прорізання западини повторюють. Метод копіювання забезпечує невисоку точність зубчастого зачеплення, оскільки форма бокових поверхонь зубів залежить не тільки від модуля колеса, але і від числа зубів, тобто від зовнішнього діаметра зубчастого колеса. За одним модулем, але різним числом зубів, тобто за різним зовнішнім діаметром коліс, форма і розташування бокових сторін зубів відносно один одного буде змінюватися. У зв'язку із цим дискові модульні фрези випускають наборами, де кожна фреза певного модуля рекомендується для певного числа зубів. Залежно від модуля у набір може входити вісім, п'ятнадцять або двадцять шість номерів модульних дискових фрез.

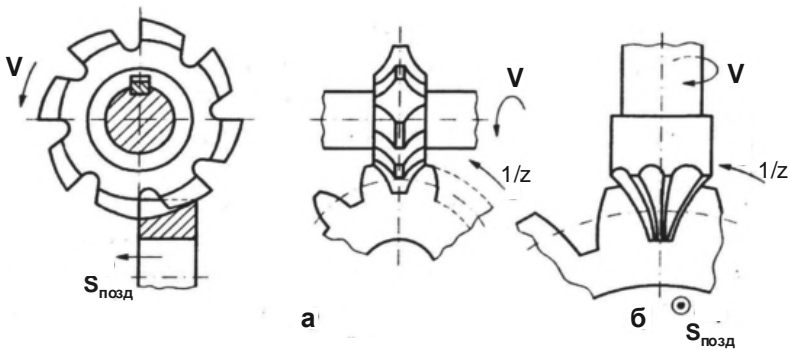


Рисунок 8.38 – Схеми фрезерування зубів зубчастих коліс методом копіювання: а – дисковою модульною фрезою; б – пальцевою модульною фрезою;  $S_{\text{позд}}$  – поздовжня подача;  $z$  – число зубів;  $1/z$  – частина оберту зубчастого колеса

Пальцеві модульні фрези застосовують у важкому машинобудуванні для фрезерування профілів зубів косозубих і прямозубих коліс великого модуля. Ці ж фрези застосовують також для виготовлення

шевронних зубчастих коліс, у яких половини одного і того ж зуба розташовують дзеркально під кутом один до одного. Одне шевронне колесо можна уподобити спареним двом косозубим шестірням.

Метод обкатування засновано на уподібненні заготовки зубчастого колеса та ріжучого інструменту зачепленню зубчастої пари. Як і шестірня у працюючій зубчастій парі заготовка обертається. Разом із заготовкою повертається ріжучий інструмент як частина спряженого із нею колеса. Але на відміну від зубчастої пари ріжучий інструмент здійснює зворотно-поступальні рухи різання уздовж вісі повороту. Ріжуче лезо послідовно займає ряд положень дотичної до бічної поверхні зуба на заготовці, яка формується як загальна сукупність цих положень від вершини до ніжки зуба (рис. 8.39). Метод обкатування забезпечує більш високу продуктивність і точність обробки порівняно із методом копіювання. Нарізання зубів методом обкатування здійснюють на зубофрезерних, зубодовбальних і зубостругальних верстатах.

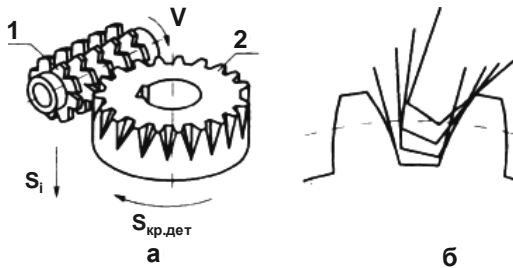


Рисунок 8.39 – Схеми фрезерування зубів зубчастих коліс методом обкатування (обгинання): а – початкова стадія зубофрезерування:

1 – черв'ячна модульна фреза; 2 – заготовка; б – послідовність положень леза фрези відносно бічної поверхні зуба

Таким чином, за методом копіювання профіль інструмента повинен бути таким як профіль западини на зубчастому колесі, а за методом обкатування (центроїдного або безцентроїдного обгинання) ці профілі не збігаються.

Для обробки западини застосовують дискові, пальцеві й черв'ячні фрези, довбачі, протяжки та інші інструменти. Зуборізний довбач має форму западини на зубчастому колесі із ріжучими лезами (це той же різець).

Черв'ячна фреза є черв'як, на якому перпендикулярно витками прорізано поздовжні канавки для формування ріжучих зубів.

**Шліфування** є завершальною чистою обробкою деталі, внаслідок якої отримують розміри із точністю обробки за 6 – 7-м квалітетом і шорсткістю поверхні  $R_a = 0,08 - 0,32$  мкм, а також обдирною обробкою для очищення литва, кованих виробів тощо. Процес шліфування протікає із великими швидкостями різання – 20 ... 40 м/с (рис. 8.40).

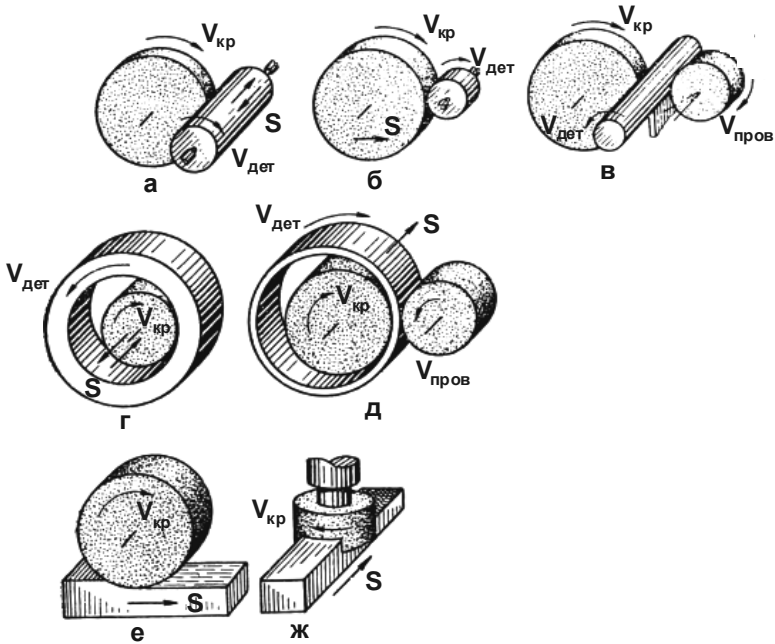


Рисунок 8.40 – Схеми шліфування

Шліфування здійснюють шліфувальними кругами, які складаються із безлічі абразивних зерен, зв'язаних між собою зв'язкою, та проміжків (пор) між ними. Залежно від вмісту абразивних зерен в об'ємі шліфувальних кругів їхня структура може бути щільною (62 – 56 %), середньою (54 – 46 %), відкритою (44 – 38 %) і дуже відкритою (36 – 22 %), що позначається відповідним номером: 0 – 3; 4 – 8; 9 – 12; 13 – 20.

Для виготовлення шліфувальних кругів (рис. 8.41) використовують такі штучні абразивні матеріали: електрокорунд (кристали оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  із домішками); нормальний корунд (12А, 13А, ..., 16А); білий корунд (22А, ..., 25А); хромистий корунд (із домішками сполук хрому;

32А, ..., 34А); монокорунд (кристали  $Al_2O_3$  правильної форми; 43А, ..., 45А); карбіди кремнію SiC (зелений КЗ і чорний КЧ, з'єднання кремнію із вуглецем) – чорний (53С, ..., 55С) і зелений (63С, 64С); алмази природні (А) і синтетичні (АС); нітрид бору (ельбор, ЛО і ЛП). Залежно від розмірів абразиви поділяють на такі групи: шліфувальні зерна (№200-16), шліфувальні порошки (№12-4), мікропорошки (М40 – М5).

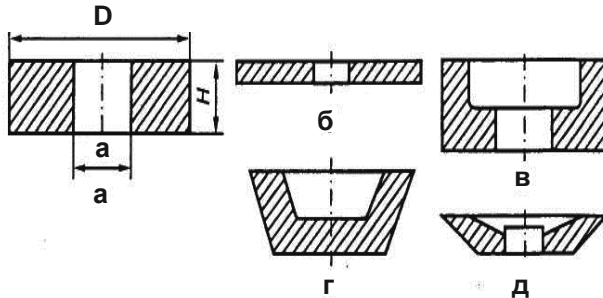


Рисунок 8.41 – Типові форми шліфувальних кругів:

а – плоский прямий (ПП); б – дисковий (Д); в – чашковий циліндричний (ЧЦ); г – чашковий конічний (ЧК); д – тарілчастий (Т)

Зв'язки шліфувальних кругів поділяють на неорганічні й органічні. Найбільш поширеною із неорганічних зв'язок є керамічна (К), яка складається із вогнетривкої глини, рідкого скла, польового шпату та інших компонентів, а із органічних – бакелітова (Б) і вулканітові (В), основу яких складають каучук і сірка.

Шліфувальні круги мають здатність частково або повністю самозагострюватися, тобто під дією сил різання видаляти абразивні зерна, що затупилися, й оголювати гострі грані зерен наступного ряду. Ця властивість шліфувальних кругів характеризується твердістю, під якою розуміють опір зерен вириванню їх зі зв'язки круга під дією сил різання.

За твердістю шліфувальні круги поділяються на м'які (М), середньої м'якості (СМ), середні (С), середньої твердості (СТ), тверді (Т), дуже тверді (ВТ) і надзвичайно тверді (ЧТ). Чим м'якший круг, тим легше вириваються зі зв'язки абразивні зерна. Для шліфування деталей із високою твердістю використовують м'які круги, і навпаки.

Таким чином, основним характеристиками шліфувального круга є твердість (тобто опір зерен вириванню їх зі зв'язки круга) і структура

(співвідношення обсягів зерен і зв'язки у крузі). Чим вище номер структури (від 1 до 12), тим більше відстань між зернами.

Марки алмазних зерен: AC2, AC4, ..., AC32 (характеристика їх міцності на роздавлювання).

Характеристики алмазних кругів:

- концентрація зерен – 50 %, 100 %, 150 %;
- зернистість кругів – 80/160, ..., 250/200 – це розмір алмазних зерен (у мкм).

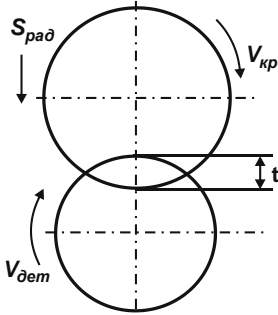


Рисунок 8.42 – Схема урізного шліфування

Схеми шліфування: кругле зовнішнє та внутрішнє, плоске, безцентрове, фасонне, зубошліфування і різбошліфування. Використовують три рухи: обертання круга, обертання або зворотно-поступальний рух деталі та рух подачі (круга або деталі).

Існують три схеми круглого зовнішнього шліфування: із поздовжньою подачею; глибинне шліфування (знімання припуску за один прохід круга зі збільшеною глибиною шліфування – до 10 мм і більше);

методом урізання (рис. 8.42).

Під час безцентрового шліфування обробляють зовнішні та внутрішні поверхні (рис. 8.43). Шліфування зовнішніх поверхонь здійснюють трьома методами: на прохід, в підрізання та в упор. На відміну від звичайного круглого зовнішнього шліфування, під час безцентрового шліфування використовують додатково провідний круг, який забезпечує обертання оброблюваної деталі за рахунок тертя.

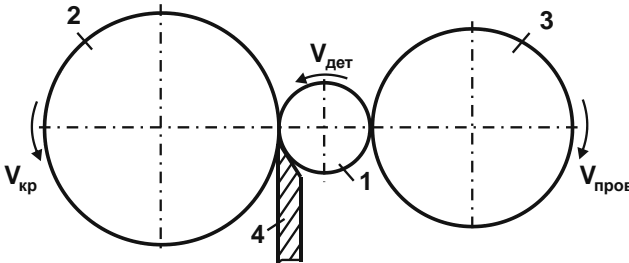


Рисунок 8.43 – Схема безцентрового шліфування:  
1 – круг; 2 – деталь; 3 – провідний круг; 4 – ніж



Під час шліфування на прохід оброблювану деталь 1 розташовують між шліфувальним 2 і провідним 3 кругами, спираючи її на "ніж" 4 (рис. 8.43). Шліфувальний круг обертається із швидкістю 30 ... 60 м/с, а провідний круг – із набагато меншою швидкістю – 0,2 ... 1,0 м/с. У результаті тертя, що виникає між кругом 3 і оброблюваною деталлю 1, відбувається обертання деталі, а завдяки встановленню провідного круга 3 під кутом деталь рухається у поздовжньому напрямі (вздовж "ножа").

Максимальна товщина зрізу окремим зерном круга  $a_{\max}$  є основним фізичним параметром шліфування. Вона визначається за залежністю, встановленою на основі розрахункової схеми урізного шліфування, зображеної на рис. 8.42:

$$a_{\max} = \frac{V_{\text{дет}}}{60 \cdot V_{\text{кр}} \pm 2 \cdot V_{\text{дет}}} \cdot l \cdot \frac{S}{B} \cdot \sqrt{t \cdot \left( \frac{1}{D_{\text{кр}}} + \frac{1}{D_{\text{дет}}} \right)}, \quad (8.42)$$

де  $l$  – середня відстань між зернами, м;

$S$  – ширина шліфування, м;

$B$  – висота круга, м.

У роботі [38] наведено уточнену аналітичну залежність для визначення максимальної (імовірнісної) товщини зрізу окремим зерном алмазного круга  $H_{\max}$  (рис. 8.44):

$$H_{\max} = \sqrt[3]{\frac{9 \cdot b}{\text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt[6]{\frac{2 \cdot \left( \frac{1}{R_{\text{дет}}} + \frac{1}{R_{\text{кр}}} \right) \cdot V_{\text{дет}} \cdot Q}{B}}}, \quad (8.43)$$

де  $2\gamma$  – кут у вершини зерна;

$k$  – поверхнева концентрація зерен на робочій поверхні круга, шт./м<sup>2</sup>;

$b$  – максимальна висота виступання зерен над рівнем зв'язки круга, м;

$R_{\text{дет}}$ ,  $R_{\text{кр}}$  – радіуси деталі та круга, м;

$B$  – ширина шліфування (висота круга), м;

$Q = B \cdot V_{\text{дет}} \cdot t$  – продуктивність обробки, м<sup>3</sup>/с;

$t$  – глибина шліфування, м.

Як витікає із залежності (8.43), досягти значного підвищення продуктивності обробки  $Q$  за заданим значенням параметра  $H_{\max}$  можна шляхом збільшення швидкості круга  $V_{\text{кр}}$  та глибини шліфування  $t$  за

одночасним зменшення швидкості деталі  $V_{дет}$ , тобто завдяки застосуванню швидкісного та глибинного шліфування із поздовжньою подачею  $B_1$ , приблизно рівною висоті круга  $B$ .

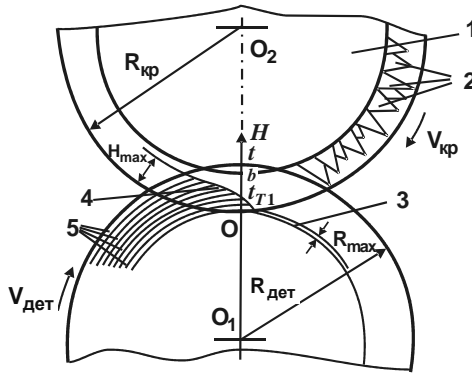


Рисунок 8.44 – Розрахункова схема параметрів круглого зовнішнього шліфування: 1 – круг; 2 – ріжучі зерна круга; 3 – шар залишкової шорсткості обробленої поверхні; 4 – лінія повного знімання матеріалу; 5 – елементарні циліндричні оболонки припуску

Максимальна висота мікронерівностей на обробленій поверхні (параметр шорсткості поверхні)  $R_{max}$  при цьому визначається [4]:

$$R_{max} = H_{max} \sqrt[5]{\frac{H_{max}}{4t} \cdot \frac{B}{B_1}} = \sqrt[5]{\frac{18 \cdot 10^4 \cdot \pi \cdot \bar{X}^6 \cdot V_{дет}^2 \cdot B \cdot \left( \frac{1}{R_{дет}} + \frac{1}{R_{кр}} \right)}{tg^2 \gamma \cdot m^2 \cdot V_{кр}^2 \cdot B_1}}, \quad (8.44)$$

де  $\bar{X}$  – зернистість круга, м;

$m$  – об'ємна концентрація зерен алмазного круга (100; 50; 25 тощо).

Як видно, зі зменшенням швидкості обертання деталі (в умовах глибинного шліфування) параметр шорсткості поверхні  $R_a$  зменшується, що дозволяє забезпечити високу якість обробки за одночасним збільшенням продуктивності алмазного шліфування (більш ніж у 2 рази) та зменшенням зношування алмазного круга.

Порівняно із обробкою матеріалів різанням лезовими інструментами, шліфування також забезпечує кращу якість оброблених поверхонь, що дозволяє розглядати його основним процесом фінішної обробки матеріалів різанням.

## Контрольні питання

1. Назвіть основні конструктивні та геометричні параметри ріжучих інструментів.
2. Назвіть елементи різання і параметри розмірів шару, що зрізається під час поздовжнього точіння.
3. Як визначити умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу під час різання?
4. Назвіть умови зниження та параметри силової напруженості процесу різання.
5. Що таке усадка стружки і які види стружок утворюються під час різання різних оброблюваних матеріалів?
6. Що таке баланс тепла в умовах різання та як можна визначити температуру різання?
7. Як впливає температура різання на продуктивність та якість обробки, стійкість інструменту?
8. Як можна визначити складові сили різання та як вони впливають на процес різання?
9. За якими ознаками класифікують мастильно-охолоджувальні рідини, що застосовують під час різання металів?
10. Які Ви знаєте основні види обробки матеріалів різанням?
11. Яке призначення процесів точіння, стругання та протягання?
12. Яке призначення процесів свердління, зенкерування та розвертання?
13. Яке призначення процесів фрезерування?
14. Яке призначення процесів зубонарізання та різьбонарізання?
15. Наведіть загальну характеристику процесів шліфування.
16. Які матеріали використовують для виготовлення ріжучих інструментів?
17. Які основні вимоги пред'являються до інструментальних матеріалів?
18. Які Ви знаєте групи металокерамічних твердих сплавів?
19. Які Ви знаєте синтетичні надтверді матеріали?
20. Яке значення має покриття робочих поверхонь інструментів?
21. Які є види та критерії зношування ріжучих інструментів?
22. Що таке стійкість ріжучих інструментів?
23. У чому полягає сутність встановлення емпіричної залежності для визначення стійкості ріжучих інструментів?

## Робота 9. Технологічні можливості механічної обробки на металорізальних верстатах

**Мета роботи** – ознайомити студентів із технологічними можливостями механічної обробки на металорізальних верстатах та їх кінематичними і конструктивними особливостями.

### **Загальні положення**

#### **Кінематика та конструкції металорізальних верстатів**

*Металорізальним верстатом* називається машина, яка призначена для обробки заготовки певної форми відповідно до робочого креслення деталі шляхом зняття стружки. Металорізальні верстати класифікують за різними ознаками.

За ступенем універсальності розрізняють верстати:

- універсальні, що застосовуються для виконання різних операцій на заготовках широкої номенклатури;
- спеціалізовані, що обробляють однотипні заготовки, подібні за конфігурацією, але мають різні розміри;
- спеціальні, що застосовуються для обробки заготовок одного типорозміру.

Спеціалізовані та спеціальні верстати використовують у великосерійному та масовому виробництві, а універсальні, як правило, – у одиничному та дрібносерійному виробництвах.

За будовою верстати розподіляють на автомати і напіваавтомати.

За ступенем точності розрізняють верстати 5-ти класів: нормальної Н, підвищеної П, високої В, особливо високої А точності й особливо точні С. Існують ще важкі верстати (масою понад 10 т), що відрізняються кількістю працюючих інструментів та ін.

За видом виконуваних робіт і ріжучих інструментів, що застосовуються, всі верстати, які серійно випускаються, діляться на 9 груп:

- 1) токарні;
- 2) свердлильні й розточувальні;
- 3) шліфувальні й доводочні;
- 4) комбіновані;
- 5) зубо- та різьбооброблювальні;

- 6) фрезерні;
- 7) строгальні, довбальні й протяжні;
- 8) розрізні;
- 9) різні.

Кожна група розподілена на дев'ять типів верстатів [14, 60].

У позначенні верстатів перша цифра вказує групу, друга – тип, третя й четверта – один із найважливіших розмірів верстата або деталі. Указують ще й модернізацію верстата та ін.

Наприклад, у позначенні вертикально-свердлильного верстату моделі 2Н150 цифра 2 означає, що верстат свердлильний, літера Н вказує на модернізацію верстата, 1 – вертикальний верстат, 50 – найбільший умовний діаметр свердління. Буква після цифр означає модифікацію або клас точності верстата. У моделях верстатів із програмним управлінням для позначення ступеня автоматизації додається буква Ф із цифрою:

Ф1 – верстати із цифровою індикацією та переднабором координат;

Ф2 – верстати із позиційними та прямокутними системами числового програмного управління (ЧПУ);

Ф3 – верстати із контурними системами ЧПУ;

Ф4 – верстати із універсальною системою ЧПУ для багатоопераційних верстатів.

**Група 1. Токарні верстати.** Токарні верстати поділяють на універсальні та спеціалізовані. За допомогою універсальних верстатів виконують: обробку зовнішніх і внутрішніх циліндричних, фасонних і торцевих поверхонь; нарізання зовнішніх і внутрішніх різьблень; відрізання, свердління, зенкування і розвертання отворів.

На спеціалізованих верстатах виконують менше операцій, наприклад, обточування східчастих валів та ін.

Універсальні верстати поділяють на токарно-гвинторізні та токарні. Токарні верстати призначено для виконання всіх токарних операцій крім нарізання різьблення різцями. Основними параметрами токарного верстата є найбільший діаметр оброблюваної заготовки над станиною і найбільша відстань між центрами (або найбільша довжина оброблюваної заготовки).

Токарно-гвинторізний верстат призначено для виконання різних токарних робіт, а також для нарізання різьблень: метричних, дюймових,

модульних, спеціальних. Верстат складається із станини, на якій зліва розміщено передню бабку (у ній є коробка швидкостей із шпинделем, на передньому кінці якого закріплено патрон). Справа на станині встановлено задню бабку (її можна переміщати уздовж напрямних станини). Ріжучий інструмент кріпиться у різцетримувачі супорта, який може переміщатися у поперечному і поздовжньому напрямках. Заготовку закріплюють у встановленому на шпинделі верстата патроні. Вона обертається, а закріплений у різцетримачі різець здійснює поступальний рух у поздовжньому  $S_{\text{позд}}$  і поперечному  $S_{\text{поп}}$  напрямках.

Токарно-гвинторізний верстат загального призначення зображено на рис. 9.1.

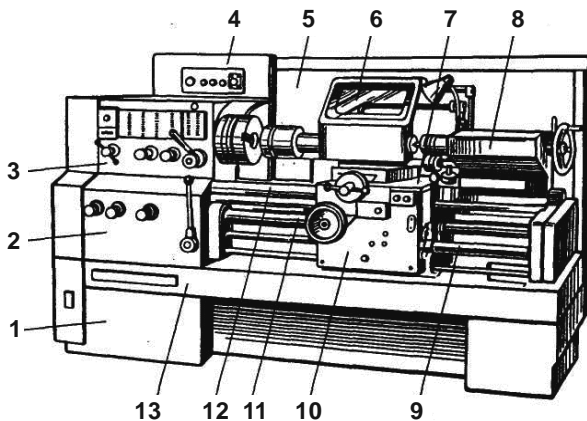


Рисунок 9.1 – Токарно-гвинторізний верстат: 1 – основа верстата; 2 – коробка передач; 3 – передня бабка; 4 – електрична шафа; 5 – екран; 6 – щиток; 7 – супорт; 8 – задня бабка; 9 – ходовий вал; 10 – фартух; 11 – ходовий гвинт; 12 – станина; 13 – корито для збирання стружки

На його основі 1 закріплено станину 12 і корито 13 для збирання стружки. На станині розміщено передню бабку 3 із коробкою швидкостей обертання заготовки і коробки передач 2 для переміщення ріжучого інструмента із подачами  $S_{\text{позд}}$  і  $S_{\text{поп}}$ . Уздовж напрямних станини переміщуються супорт 7 із закріпленим у різцетримачі різцем і фартухом 10, а також задня бабка 8, призначена для підтримання кінця дов-

гої заготовки. Привід верстата – електродвигун – встановлений в основі й закритий кожухом. Рух від коробки швидкостей передається механізмам фартуха через ходовий вал 9 (у процесі точіння) або через ходовий гвинт 11 (у процесі нарізання різьблення). На передніх стінках передньої бабки, коробки передач і фартуха розташовано рукоятки управління верстатом. Екран 5 і щиток 6 забезпечують безпечну роботу на верстаті. Електроустаткування верстата зосереджене в електричній шафі 4.

Токарні верстати поділяються на 9 типів:

- 1) автомати;
- 2) напівавтомати;
- 3) револьверні;
- 4) свердлильно-відрізні;
- 5) карусельні;
- 6) токарні й лобові (обробка коротких заготовок великого діаметру);
- 7) багаторізцові;
- 8) спеціалізовані;
- 9) різні токарні.

Верстатом-автоматом називають верстат, у якому автоматизовано всі основні та допоміжні рухи, що становлять цикл обробки заготовки, включаючи завантаження заготовки та видачу обробленої деталі. Оператор лише періодично контролює розміри та завантажує партію заготовок чи прутків. У верстатах-напівавтоматах також автоматизовано всі основні та допоміжні рухи, необхідні для обробки заготовки, але зняття готової деталі та встановлення нової, а також контроль її розмірів здійснює оператор.

Верстати-автомати застосовують у великосерійному та масовому виробництві, а напівавтомати – у середньо- та великосерійному виробництві. Застосування цих верстатів підвищує продуктивність праці, якість обробки, загальну культуру виробництва.

Токарні автомати та напівавтомати поділяють за ознаками:

- а) за видом заготовки – на патронні та пруткові;
- б) за призначенням – на універсальні та спеціалізовані;
- в) за розташуванням шпинделів – на горизонтальні та вертикальні;
- г) за кількістю шпинделів – на одно- та багатошпиндельні.

Токарно-копіювальні напівавтомати призначено для обробки деталей складної форми. Вони мають високу продуктивність завдяки оп-

тимальним режимам різання, скорочення часу налагодження та підналагодження. Різець, встановлений у копіювальному супорті, повторює у своєму русі профіль шаблону або копіра. Підрізування торців, проточку канавок виконують інструментом, встановленим в одному або двох поперечних супортах. Копіювальний супорт може забезпечуватися одно- або двохкоординатною відстежуючою системою.

Багатошпindelні токарні автомати та напівавтомати виготовляють у горизонтальному і вертикальному виконанні, використовують для обробки заготовок як штучних, так і з прутків. Багатошпindelна обробка може здійснюватися паралельним, послідовним або паралельно-послідовним методами.

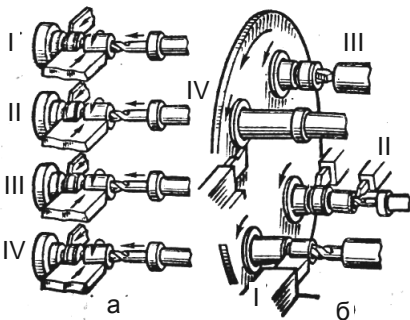


Рисунок 9.2 – Схеми багатошпindelної токарної обробки

Під час обробки заготовок методом паралельної дії (рис. 9.2) на кожному із шпindelів I – IV здійснюються однакові переходи згідно із технологічним процесом. Тому наприкінці циклу роботи із верстата знімають стільки готових деталей, скільки шпindelів у роботі. Ці верстата є високопродуктивними, але застосовують їх тільки для виготовлення простих деталей. У верстатах послідовної дії (рис. 9.2)

заготовка послідовно обробляється на позиціях I – IV, для цього шпindelний блок періодично повертається. У позиції IV готова деталь відрізається. Цим методом виготовляють складні деталі як із прутка, так і штучні. За паралельно-послідовним методом на верстаті послідовно обробляється одночасно кілька заготовок.

Токарно-револьверні верстата призначено для обробки у серійному виробництві деталей складної форми, коли згідно із технологічним процесом потрібне послідовне застосування багатьох інструментів. Інструмент кріплять у гніздах револьверної головки та у різцетримачі поперечного супорта (якщо він є у складі верстата). У токарно-револьверних верстатах машинний час зменшується внаслідок одночасної роботи інструментів револьверної головки та поперечного супорта, а також внаслідок використання багатоінструментальних державок.



Таким чином, револьверні верстати відрізняються від токарно-гвинторізних тим, що не мають задньої бабки й ходового гвинта, а мають поздовжній супорт, що утримує револьверну головку, в гніздах якої встановлюють різні інструменти.

Лобові токарні, а також карусельні верстати призначено для обробки коротких заготовок великих діаметрів типу шківів, вагонних коліс, маховиків та ін. На карусельних верстатах можна здійснювати майже всі токарні, а, за наявності спеціальних пристосувань, також фрезерні, шліфувальні й довбальні роботи на заготовках великого діаметру та невеликої висоти. Основними параметрами токарно-карусельних верстатів є найбільший діаметр та висота оброблюваної заготовки. Так, одностійковий карусельний верстат 1512 (рис. 9.3) призначено для обточування та розточування циліндричних і конічних поверхонь, свердління, зенкерування, розвертання, прорізування канавок, відрізування й обточування плоских торцевих поверхонь, а за наявності спеціальних пристосувань – для нарізування різьблення та обробки за копіром.

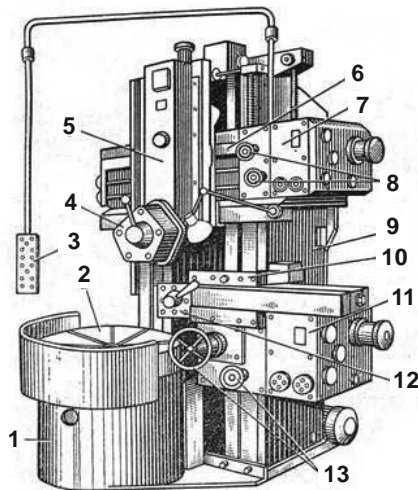


Рисунок 9.3 – Токарно-карусельний верстат моделі 1512

Станина верстата 1 жорстко скріплена із стійкою 9, що має вертикальні напрямні для переміщення по них траверси 6 і бічного супорту 10 із чотиримісним резцеутримувачем 12. На станині на кругових напрямних розташовано планшайбу 2 для установлення на ній оброб-

люваних деталей або пристроїв. Коробка швидкостей розміщена у середині станини. На горизонтальних направляючих траверси може переміщатися вертикальний револьверний супорт 5 із п'ятипозиційною револьверною головкою 4. Привід подач револьверного супорта і бічного супорта 10 здійснюється від коробок подач 7 і 11. Переміщення револьверного супорта вручну здійснюють маховичками 8, а бічного супорта – маховичками 13. Управління верстатом здійснюється від пульта 3.

**Група 2. Свердлильні й розточувальні верстати.** До групи 2 верстатів відносять свердлильні й розточувальні верстати. Свердлильні верстати призначено для свердління глухих та наскрізних отворів, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, розточування та нарізування різьблення.

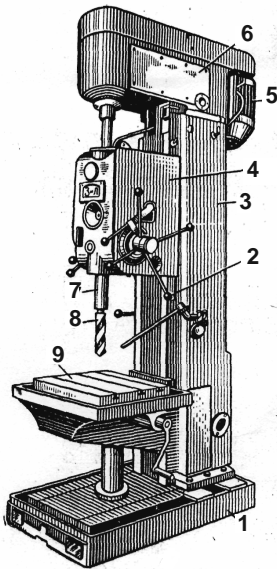


Рисунок 9.4 – Вертикально-свердлильний верстат:  
 1 – плита; 2 – штурвал ручної подачі шпинделя; 3 – станина;  
 4 – шпиндельна бабка;  
 5 – електродвигун; 6 – шпиндельна головка; 7 – шпиндель;  
 8 – свердло; 9 – стіл

Групу 2 верстатів розподіляють на 9 типів:

- 1) вертикально-свердлильні;
- 2) і 3) напівавтомати;
- 4) координатно-розточувальні;
- 5) радіально-свердлильні;
- 6) розточувальні;
- 7) алмазно-розточувальні;
- 8) горизонтально-свердлильні;
- 9) різні свердлильні.

Обробку отворів, як правило, виконують на вертикально- і радіально-свердлильних верстатах із вертикальним розташуванням шпинделя.

Вертикально-свердлильний верстат складається із змонтованої на фундаментній плиті 1 станини 3 (рис. 9.4). Вгорі станини знаходиться шпиндельна головка 6, на якій встановлено електродвигун 5 і шпиндель 7 із ріжучим інструментом (свердлом 8). На вертикальних напрямних колони встановлено шпиндельну бабку 4, усередині якої встановлено ко-

робку подач і механізм подачі шпинделя, який пов'язано із штурвалом ручної подачі шпинделя 2. Заготовка кріпиться на столі 9.

Радіально-свердлильні верстати призначено для обробки важких і великогабаритних заготовок, які складно або неможливо обробити на вертикально-свердлильних верстатах.

Радіально-свердлильні верстати відрізняються від вертикально-свердлильних верстатів можливістю переміщення шпинделя відносно деталі у горизонтальному напрямі вздовж траверси, оскільки переміщення у площині столу великогабаритних і важких деталей викликає великі незручності та втрату часу (рис. 9.5).

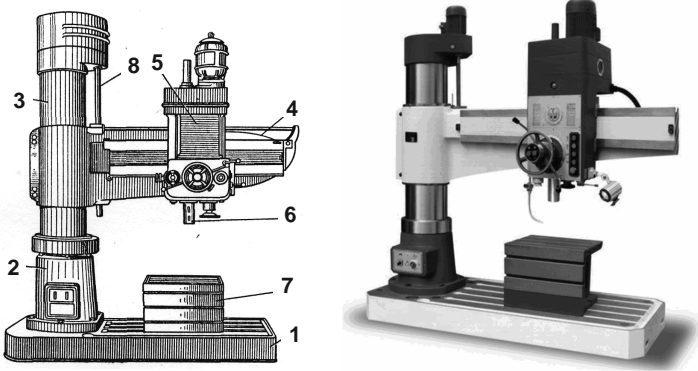


Рисунок 9.5 – Радіально-свердлильний верстат

На фундаментній плиті такого верстата 1 встановлено тумбу 2 із нерухомою колоною, на яку надіто гільзу 3, що повертається навколо колони на  $360^\circ$ . На гільзі змонтовано траверсу 4, яка має горизонтальні напрямні для переміщення свердлильної головки 5. Усередині головки розміщено коробки швидкостей та подач і вузол шпинделя 6. На передній кришці розміщено органи управління.

Оброблювані деталі встановлюють на столі 7 або безпосередньо на верхній поверхні фундаментної плити. Шпиндель 6 із свердлильною головкою може переміщатися у горизонтальному напрямі та разом із траверсою 4 і гільзою 3 повертатися навколо вісі нерухомої колони. Ці два рухи забезпечують встановлення інструменту за будь-якими координатами. За допомогою гвинта 8 траверса піднімається або опускається уздовж гільзи та закріплюється на будь-якій висоті. Гільза може

бути затиснута на колоні, а свердлильна головка – на траверсі. Перед свердлінням отвору гільзу і свердлильну головку фіксують, а після закінчення обробки звільняють. Механізми затиску розміщені у нижній частині гільзи, над тумбою 2 і у свердлильній головці 5.

Розточувальні верстати (група 2) призначено для обробки деталей в умовах одиничного і серійного виробництва. Це – широкоуніверсальні верстати, на яких можна здійснювати чорнове та чистове розточування отворів, обточування зовнішніх циліндричних поверхонь і торців отворів, свердління, зенкерування і розвертання отворів, фрезерування площин, нарізання різьблення та інші операції. Велика різноманітність різних видів обробки, що здійснюється на верстатах, дозволяє у ряді випадків виконувати повну обробку деталі без переставлення її на інші верстати, що особливо актуально для важкого машинобудування.

Характерною особливістю розточувальних верстатів є наявність горизонтального (або вертикального) шпинделя, який здійснює рух осьової подачі. У шпинделі кріпиться ріжучий інструмент – борштанга із різцями, свердло, зенкер, фреза, мітчик та ін. Останнім часом широкого застосування отримали розточувальні верстати із програмним управлінням, які скорочують час на переналагодження верстата, підвищують продуктивність праці та покращують якість обробки.

Залежно від характеру виконуваних операцій, призначення та конструктивних особливостей розточувальні верстати можна розподілити на універсальні та спеціалізовані. Також, універсальні верстати розподіляють на горизонтально-розточувальні, координатно-розточувальні та оздоблювально-розточувальні верстати. Для всіх видів верстатів найбільш суттєвим параметром, що визначає всі основні параметри верстата, є розточувальний діаметр шпинделя (рис. 9.6). Формоутворюючими рухами у верстатах є: обертання шпинделя  $V_1$  і рух подачі. Подачу здійснюють інструмент або заготовка залежно від умов обробки. Допоміжними рухами є: осьова подача шпинделя  $S_2$ ; радіальна подача розточувального супорта планшайби  $S_3$ , поздовжня та поперечна подачі столу ( $S_4$ ;  $S_5$ ), вертикальна подача шпиндельної бабки  $S_6$ , поперечна та поздовжня подачі столу ( $S_7$ ;  $S_8$ ) тощо.

Координатно-розточувальні верстати призначено для обробки отворів у кондукторах, пристосуваннях та деталях, для яких потрібна висока точність взаємного розташування отворів. Поряд із розточуванням, на верстатах можуть виконуватися свердлильні операції, чистове

фрезерування, розмітка та перевірка лінійних розмірів, зокрема між-центрових відстаней. Застосування поворотних столів, що постав-ляються із верстатом, та іншого оснащення, дозволяє, крім того, оброб-ляти отвори, задані у полярній системі координат, похилі та взаємопер-пендикулярні отвори і проточувати торцеві поверхні.

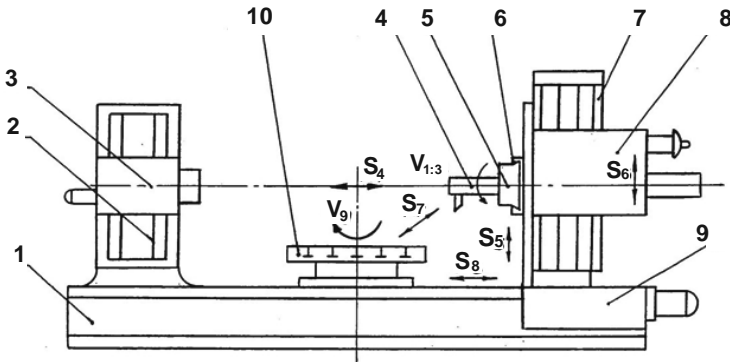


Рисунок 9.6 – Універсальний горизонтально-розточувальний верстат:  
 1 – станина; 2 – задня стійка; 3 – люнет; 4 – розточувальний шпиндель;  
 5 – радіальний супорт; 6 – планшайба; 7 – передня стійка;  
 8 – шпиндельна бабка; 9 – привід; 10 – стіл

Оздоблювально-розточувальні верстати призначено для фінішної обробки отворів. Тонке розточування забезпечує високу точність геометричної форми отворів і високий клас шорсткості поверхні. Ці вер-стати застосовують для розточування корпусних деталей верстатів, ци-ліндрів авіаційних і автомобільних двигунів та інших деталей. Залежно від розташування вісі обертання шпинделя оздоблювально-розточу-вальні верстати розподіляють на вертикальні та горизонтальні, за кіль-кістю шпинделів – на одношпиндельні та багатшпиндельні.

**Група 3. Шліфувальні й доводочні верстати.** Верстати шлі-фувальної групи розподіляють на круглошліфувальні та безцентрові, внутрішшліфувальні, плоскі.

Існують також спеціальні верстати шліфувальної групи – різьбо-шліфувальні, зубошліфувальні та ін.

*Круглошліфувальні напівавтомати* характеризуються найбіль-шим діаметром оброблюваної деталі та її довжиною: 100 – 160 мм та 150 – 1250 мм.

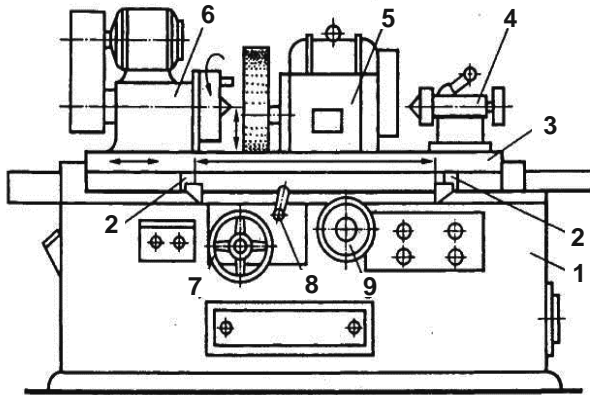


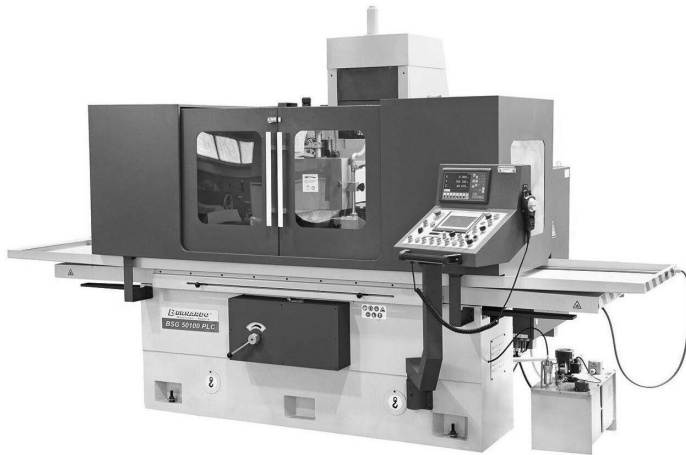
Рисунок 9.7 – Круглошліфувальний верстат: 1 – станина; 2 – кулачки; 3 – стіл; 4 – задня бабка; 5 – шліфувальна бабка; 6 – передня бабка; 7, 9 – маховики; 8 – важіль

Круглошліфувальний верстат реалізує схему круглого шліфування (рис. 9.7). Уздовж напрямних станини 1 зворотно-поступально переміщується стіл 3 із передньою 6 і задньою 4 бабками, між центрами яких розміщується оброблювана деталь, що набуває обертального руху від приводу передньої бабки. Обертальний рух деталі разом з її зворотно-поступальним переміщенням забезпечує обробку циліндричної поверхні кругом, що обертається, установленим на шліфувальній бабці 5. Шліфувальна бабка розміщена на поперечних полозках, які за допомогою маховика 9 переміщуються у поперечному відносно деталі напрямі для встановлення заданої глибини шліфування. Автоматичне реверсування поступального переміщення стола 3 забезпечується кулачками 2, які взаємодіють із важелем 8 керування верстатом. Ручне переміщення стола здійснюється маховиком 7. Для шліфування конічних деталей стіл повертається на відповідний кут у горизонтальній площині.

*Плоскошліфувальний верстат* (рис. 9.8) складається із станини, вздовж поздовжніх напрямних якої рухається робочий стіл (зворотно-поступальні рухи). Вздовж вертикальних напрямних стійки переміщається шліфувальна бабка із шліфувальним кругом. Верстат не має передньої й задньої бабок, як круглошліфувальний верстат.

У *внутрішшліфувальному верстаті* (рис. 9.9) на станині розташовано бабку виробу, в патроні шпинделя якої затискають оброблювану де-

таль. На поздовжніх напрямних кочення встановлено стіл. На поперечних напрямних столу розміщено шліфувальну бабку із шліфувальним кругом. На верстаті встановлено ще торцешліфувальне пристосування.



а



б

Рисунок 9.8 – Плоскошліфувальний верстат Bernardo BSG 50160 PLC (05-1452XL) (а) і зона обробки в умовах плоского шліфування (б)



Рисунок 9.9 – Зона обробки в умовах внутрішнього шліфування

Універсально-загострювальний верстат 3В642 призначено для загострювання ріжучих лезових інструментів. На ньому можна виконувати: кругле зовнішнє, внутрішнє та плоске шліфування за допомогою різних пристосувань (рис. 9.10).



Рисунок 9.10 – Універсально-загострювальний верстат 3В642

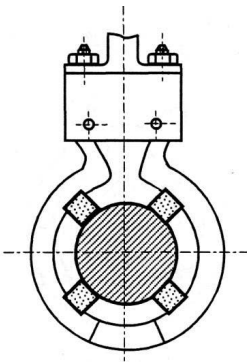


Рисунок 9.11–  
Схема хонінгування  
циліндричної  
поверхні

До групи 3 верстатів також відносять доводочні верстати (хонінгувальні, для суперфінішування, притирання тощо) [60].

Хонінгування валів здійснюють на спеціальних верстатах, оснащених пристроями із двома півкільцями (рис. 9.11). На внутрішній стороні півкільця закріплено шліфувальні бруски. Оброблювана деталь, охоплювана двома півкільцями, одержує обертальний і поступальний рух. Швидкість різання під час хонінгування коливається від 60 до 200 м/хв, а тиск абразивних брусків – від 0,3 до 1,35 МПа. Після двох – трьох хвилин хонінгування верстат автоматично відключається і деталь звільняється.

Процес суперфінішування схожий на процес хонінгування, оскільки як обробний інструмент також застосовують дрібнозернисті абразивні бруски.



Відмінність суперфінішування від хонінгування полягає у тому, що під час суперфінішування поряд із обертливим і поступальним подовжніми рухами заготовка здійснює ще й коливання, яке у даному випадку вважається головним робочим рухом (рис. 9.12).

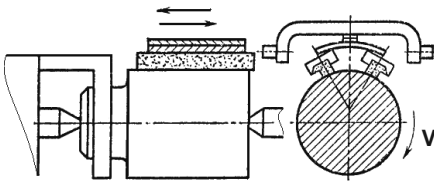


Рисунок 9.12 – Схема суперфінішування

Колівальний рух спрямовано уздовж брусків, має хід 2 – 6 мм і частоту коливань 1000 ходів/хв. У процесі суперфінішування товщина шару, який зрізується, знаходиться у межах від 0,005 мм до 0,02 мм, тривалість обробки 0,2 – 0,5 хв. Шорсткість поверхні  $R_z = 0,04$  мкм.

Мастильною рідиною використовують суміш олії із керосином у співвідношенні 1:10. На початку процесу мікронерівності на поверхні розривають масляну плівку. Гребінці мікронерівностей, які виступають, зрізуються абразивними брусками. У міру зрізання гребінців мікронерівність згладжується і після того, як масляна плівка стане суцільною і не буде мати розривів від зерен, що виступають, процес різання припиняється.

Під час суперфінішування висувається дуже жорстка вимога до чистоти рідини, що змазує робочу зону, оскільки наявність дрібних металевих або абразивних часточок може викликати появу рисок на поверхні. Суперфінішуванню передують операція шліфування або тонкого точіння, що забезпечує висоту шорсткості поверхні не більше  $R_a = 0,32$  мкм. Суперфінішування не виправляє дефектів форми і розмірів, отриманих від попередніх операцій.

*Притирання* – це оздоблювальна операція, що виконується інструментами-притирами.

Притири виготовляють із чавуну або бронзи, і на їхню поверхню наноситься абразивна суспензія (мікропорошок із машинною олією). Відносне переміщення деталі і притира повинне забезпечувати рух зерен за новими, не повторюваними траєкторіями. Для забезпечення цієї умови оброблювана деталь одержує обертання від шпинделя верстака, а зворотно-поступальне повздовжнє переміщення здійснюється вручну. Як абразиви застосовують окис хрому ( $Cr_2O_3$ ), окис заліза ( $Fe_2O_3$ ) або крокус і віденське вапно. За твердістю, ріжучими власти-

востями і продуктивністю окис хрому посідає перше місце. Найбільш чисту поверхню забезпечує віденське вапно (вуглекислий кальцій із домішками магнію і заліза). Як мастильний матеріал використовують суміш машинної олії із керосином. У процесі використання віденського вапна застосовують спирт, а в ході використання крокусу – вазелін. Для доводочних робіт широко використовують пасти "ГОІ" (за іменем власника – Державного оптичного інституту). Пасти "ГОІ" містять термічно оброблений (прожарений) окис хрому, жири та органічні поверхнево-активні кислоти (олеїнову або стеаринову). Пасти "ГОІ" поділяють на грубі (40 мкм), середні (16 мкм) і тонкі (7 мкм). Цифри указують товщину знятого шару із сталевий загартованій плитці у результаті 100 обернено-поступальних рухів притиру. Притирання зовнішніх ци-ліндричних поверхонь здійснюють на токарних верстатах із використанням спеціальних пристроїв. Швидкість притирання 15 – 40 м/хв. Притирання забезпечує точність деталей до 5-го квалітету із шорсткістю поверхні  $R_z = 0,32 - 0,05$  мкм. Припуск для попереднього притирання дорівнює 0,010 – 0,015 мм, а для остаточного – 0,005 мм.

**Група 4. Комбіновані верстати.** До групи 4 верстатів відносять комбіновані верстати, які призначено для електрофізичних і електрохімічних методів обробки. Слід зазначити, що ці методи обробки виникли порівняно недавно. Вони почали інтенсивно розвиватися у зв'язку із створенням сучасних галузей промисловості (космічної, атомної, електронної), стрімким зростанням приладобудування, енергетичного та хімічного машинобудування, інструментальної промисловості та ін. Із розвитком цих галузей постійно створюються нові висококоміцні матеріали, які важко піддаються класичним методам обробки різанням. Інтенсивне впровадження у промисловість обробки тиском, точного лиття, пластмас збільшило потребу у штампах, ливарних формах, пресформах та інших виробках складної конфігурації. У зв'язку із створенням нових конструкцій машин і приладів, тенденцій до мініатюризації в електроніці та приладобудуванні виникла необхідність здійснювати унікальні технологічні операції, які стали нездійсненними або важкодійсненними звичайними методами обробки різанням. Для багатьох із цих галузей суттєвою проблемою стало створення високопродуктивних методів різання та розкрою листового матеріалу за мінімальної кількості відходів. А у зв'язку із постійно зростаючими вимогами до підвищення якості, надійності та довговічності виготовляємих виробів все більшої

актуальності набуло створення нових методів зміцнюючої технології для підвищення зносостійкості, корозійної стійкості, жароміцності та інших експлуатаційних характеристик деталей та інструментів.

Вирішенням багатьох проблем розвитку сучасного виробництва стало створення, розроблення та вдосконалення електрофізичних та електрохімічних методів обробки матеріалів. Основу цих методів складає використання різних фізико-хімічних процесів енергетичного впливу на заготовку для формування деталі (табл. 9.1).

Таблиця 9.1 – Класифікація електрофізичних та електрохімічних методів обробки матеріалів

Електрофізичні та електрохімічні методи обробки	Електророзрядні	Електроерозійний
		Електроконтактний
		Абразивно-ерозійний
	Електрохімічні	Електрохіміко-гідравлічний
		Електрохіміко-механічний
	Ультразвукові	Розмірна ультразвукова обробка
		Накладання ультразвукових коливань на ріжучий інструмент
	Променеві	Лазерний
		Електронно-променевий
		Плазмовий
	Комбіновані	Анодно-механічний
		Електроерозійно-хімічний
		Ультразвуковий електрохімічний
Електролазерний		

Таким чином, електрофізичні методи обробки засновано на різних процесах енергетичної дії на тверде тіло. У цьому випадку твердість оброблюваного матеріалу не є обмежуючим чинником обробки.

Під час електророзрядної обробки використовують енергію електричних розрядів, що збуджуються між електроодом-інструментом та електроодом-заготовкою. Залежно від способу генерування розрядів розрізняють електроерозійну, електроконтактну та абразивно-ерозійну обробку.

1. *Електроерозійні верстати.* Електроерозійна обробка заснована на тепловій дії імпульсних електричних розрядів, що виникають між електрод-інструментом і заготовкою, у результаті чого відбувається термічне руйнування оброблюваного матеріалу. Залежно від виду застосовуваних електричних розрядів верстати розподіляють на 3 види: електроіскрові, електроімпульсні та анодно-механічні.

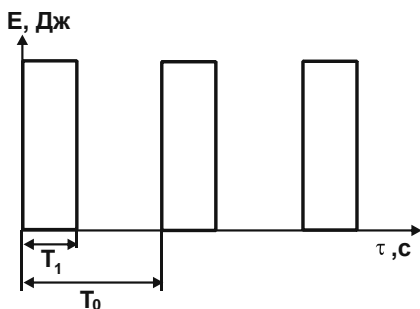


Рисунок 9.13 – Характер зміни енергії імпульсного струму в часі

Електроіскрові верстати засновано на застосуванні іскрових розрядів малої тривалості (кілька сотих мікросекунди), які слідуєть із великою скважністю (рис. 9.13), що дорівнює відношенню  $T_0/T_1$ , наприклад, 10 і більше. Електричний розряд створює на поверхні оброблюваного матеріалу температуру 4000 – 5000 °С. Це призводить до розплавлення металу (рис. 9.14). Електричний струм рухається від полюса "+" до полюса "-". Потужність генератора імпульсів (ГІ) – 1 ... 1,5 кВт, енергія імпульсів – 4 ... 5 Дж.

Електроіскрові верстати засновано на застосуванні іскрових розрядів малої тривалості (кілька сотих мікросекунди), які слідуєть із великою скважністю (рис. 9.13), що дорівнює відношенню  $T_0/T_1$ , наприклад, 10 і більше. Електричний розряд створює на поверхні оброблюваного матеріалу температуру 4000 – 5000 °С. Це призводить до розплавлення металу (рис. 9.14). Електричний струм рухається від полюса "+" до полюса "-". Потужність генератора імпульсів (ГІ) – 1 ... 1,5 кВт, енергія імпульсів – 4 ... 5 Дж.

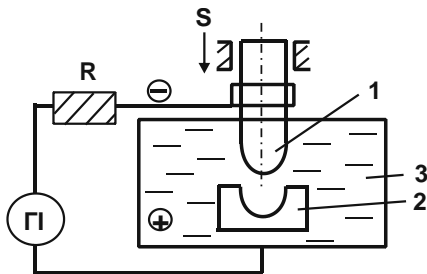


Рисунок 9.14 – Схема електроіскрової обробки:

1 – електрод-інструмент; 2 – оброблювана деталь; 3 – рідке середовище, яке не проводить електричний струм (трансформаторне масло); ГІ – генератор імпульсів; R – опір; S – подача

У електроімпульсних верстатів принцип роботи такий самий, що й у електро-іскрових верстатах. Застосовують розряди малої скважності, але різної енергії та частоти. Під час чорнової обробки застосовують розряди великої енергії та низької частоти, а під час чистової обробки – розряди малої енергії та високої частоти. Оброблювану деталь підключають до полюсу "-", а інструмент – до полюсу "+". Електрод-інструмент виготовляють із матеріалів із високою теплопровідністю (мідь, алюміній, спеціальні графітні матеріали), які повинні бути ерозійностійкими.

Найбільш поширений електроерозійний копіювально-прошивальний координатний верстат високої точності моделі 4Д722В призначено для обробки фасонних поверхонь і отворів у деталях, виготовлених із струмопровідних матеріалів (твердих сплавів, міцних сталей та ін.). Верстат укомплектовано генератором імпульсів типу ШГ1-63-440.

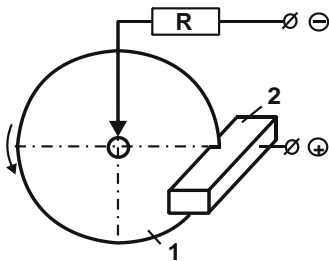


Рисунок 9.15 – Схема анодно-механічної обробки: 1 – інструмент; 2 – деталь

*Верстати для анодно-механічної обробки.* Отримав практичне застосування комбінований процес анодного розчинення та електроерозійної дії на оброблювану деталь (рис. 9.15). Електроліт, що подається у зону обробки, розчиняє під дією електричного струму метал (за рахунок хімічної реакції). Утворена на поверхні металу тонка плівка легко видаляється інструментом. У якості електролітів використовують водний розчин солей, кислот і лугів. Одночасно відбувається електроерозійний процес, виникають електричні розряди.

Верстати застосовують для розрізання заготовок (рис. 9.15), для шліфування твёрдосплавних заготовок.

Таким чином, електрохімічна обробка заснована на анодному розчиненні металів завдяки пропусканню постійного електричного струму через електрод-інструмент та електрод-заготовку у середовищі електроліту. Залежно від способу видалення продуктів розчинення обробку розподіляють на електрохіміко-гідравлічну та електрохіміко-механічну. Основним недоліком електрохімічної обробки металів (рис. 9.16) є застосування складного обладнання та верстатів, які виконано із корозійностійких металів та сплавів, кислотостійких, лужностійких, гальванічних покриттів, обмазок, пластмас. Тому впровадження електрохі-

мічної обробки виправдано серед інших способів лише наявністю відповідних техніко-економічних показників або неможливістю обробки деталей іншими способами. Необхідно враховувати також і те, що такий спосіб обробки пов'язаний із впливом шкідливих чинників на людину й навколишнє середовище, наскільки б не були досконалі обладнання й технологія.

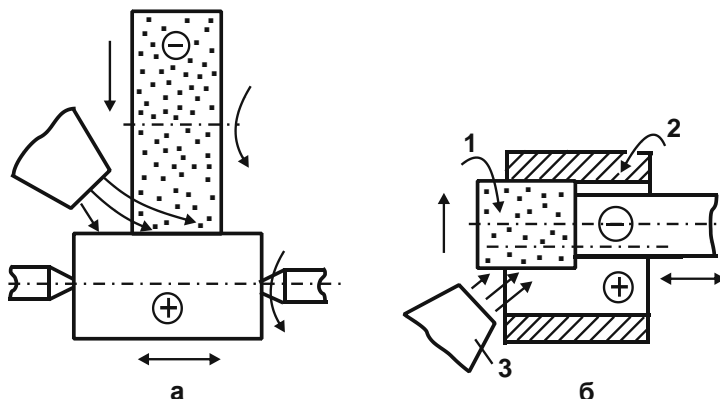


Рисунок 9.16 – Схеми електрохімічного круглого шліфування зовнішніх (а) і внутрішніх (б) поверхонь:  
1 – абразивний круг-катод; 2 – заготовка; 3 – сопло

Слід зазначити, що у результаті тривалих досліджень процесів шліфування та електричного розряду в газах і рідинах розроблено ефективний метод алмазно-іскрового шліфування, який застосовують під час фінішної обробки деталей, виготовлених із важкооброблюваних матеріалів. Обробку здійснюють алмазними (рис. 9.17), кубонітовими кругами, або абразивними шліфувальними кругами на металевій зв'язці. Стабільність процесу різання досягається завдяки усуненню за-сальювання шліфувального круга, оскільки електроерозія, що формується електричними іскрами, руйнує стружки (які утворюються під



Рисунок 9.17 – Алмазні круги

обробку здійснюють алмазними (рис. 9.17), кубонітовими кругами, або абразивними шліфувальними кругами на металевій зв'язці. Стабільність процесу різання досягається завдяки усуненню за-сальювання шліфувального круга, оскільки електроерозія, що формується електричними іскрами, руйнує стружки (які утворюються під

дією алмазних зерен), а також забезпечує передруйнування оброблюваного матеріалу в зоні різання. Це знижує енергоємність процесу шліфування та забезпечує підвищення продуктивності та якості обробки [2, 71].

Залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, зв'язки та зернистості круга, а також вимог шорсткості оброблюваної поверхні, інтенсивність електроіскрового процесу алмазно-іскрового шліфування регулюється характеристиками електричної енергії, що подається у зону обробки.

Таким чином, процес алмазно-іскрового шліфування є яскравим прикладом використання наукомістких технологій поряд із традиційними технологіями обробки різанням. Причому, виник він у результаті фундаментальних досліджень в області нових інструментальних матеріалів та інновацій у металообробці.

Під час *ультразвукової обробки* матеріал знімається внаслідок дії на заготовку інструменту, який коливається із ультразвуковою частотою. Розмірна ультразвукова обробка здійснюється спеціальним інструментом у середовищі абразивної суспензії.

Фундаментальні дослідження в галузі квантової оптики призвели до створення лазерної техніки, яку успішно застосовують у процесі різання, зміцнення та зварювання металів, отримання отворів малого діаметра у надтвердих матеріалах. Лазерний промінь і промінь, що має іншу природу, породили також ряд нових напрямів науково-технічного розвитку в медицині, біології та військовій справі [15].

Одним із прикладів лазерної обробки є *лазерне зварювання*. За характером впливу випромінювання на матеріал лазерне зварювання може бути імпульсним і безперервним. Лазерне зварювання виявилось ефективним для з'єднання сталеві спіральної пружини (волоска) в колodці осі балансу годинникового механізму замість механічного кріплення. Завдяки малій тривалості імпульсу випромінювання в маленьку ділянку термічної дії, виходить якісне з'єднання і підвищується точність відліку часу годинником. Лазерне зварювання дозволяє отримувати шви глибиною від декількох міліметрів до десятих часток міліметра.

*Лазер* (оптичний квантовий генератор) є джерелом потужного світлового монохроматичного випромінювання. Пристрій лазера здатний фокусувати промінь світлової та електромагнітної енергії до таких розмірів, які забезпечують концентрацію значної енергії в мікрообсязі. Чітко спрямована дія такого променя може бути короткочасною, тобто у

вигляді імпульсів, які тривають частки секунди або безперервно. Робочими тілами в лазерних пристроях можуть бути монокристали рубіна, газу (суміш вуглекислого газу з азотом), напівпровідники й рідини. У технологічних процесах в основному використовуються найбільш потужні твердотільні або газові лазери (рис. 9.18).



Рисунок 9.18 – Обробка лазером

У променевих методах обробки використовують енергію пучків частинок або високоенергетичні струмені. До групи променевих методів входять такі види обробки: лазерна, електронно-променева і плазмовим струменем.

Прикладом обробки плазмовим струменем є метод *плазменно-механічної обробки* металів, суть якого полягає в обробці різанням матеріалів, попередньо знеміцнених струменем плазми із плазмотрона, закріпленого у зоні різця. За таким знеміцненням оброблюваної поверхні навантаження на різець знижується майже у 2 рази, а стійкість різця підвищується у декілька разів. Застосування цієї технології також у декілька разів підвищує продуктивність праці та поліпшує якість оброблюваної поверхні.

Цей метод є також яскравим прикладом комбінованих технологій обробки матеріалів, які засновано на використанні поєднань різних процесів у одному процесі. Розрізняють наступні види обробки: анодно-механічну, електроерозійнохімічну, ультразвукову, електрохімічну та електролазерну. Так, під час ультразвукової обробки матеріал знімається внаслідок дії на заготовку інструменту, який коливається із ультразвуковою частотою. Розмірна ультразвукова обробка здійснюється спеціальним інструментом у середовищі абразивної суспензії.



Усі перелічені методи комбінованих технологій обробки матеріалів мають спільні переваги:

- можна обробляти матеріали із будь-якими фізико-хімічними властивостями за практичної незалежності режимів обробки від властивостей матеріалу;
- можна здійснювати обробку, яка нездійсненна або важкоздійсненна звичайними механічними методами;
- відсутня силова дія на заготовку під час обробки, а для деяких методів обробки відсутній механічний контакт між інструментом і заготовкою;
- можна використовувати інструмент меншої твердості і міцності, ніж оброблюваний матеріал;
- більше продуктивність обробки за порівняно високої точності отримання розмірів;
- можна легко автоматизувати і механізувати процеси обробки.

Важливо зазначити, що нові методи обробки суттєво змінюють технологію виготовлення деталей. Так, із застосуванням променевих методів технологічний процес обробки алмазних волок, рубінових підшипників та інших подібних деталей скорочується на 2 – 3 операції. Використання одного електроерозійного верстата для обробки кувальних штампів вивільняє до трьох-чотирьох фрезерних верстатів.

Нові методи змінюють і конструкцію деталей, що сприяє створенню нових машин та приладів. Електроерозійним або електрохімічним методом криволінійний отвір можна виготовити всього за одну операцію. Електронно-променева та лазерна обробки дозволяють створювати в електронній промисловості абсолютно нові конструкції – інтегральні схеми. Однак нові електрофізичні та електрохімічні методи обробки не можуть повністю замінити існуючі методи обробки різанням. Вони їх доповнюють, а у необхідних випадках замінюють. Не всі нові методи можуть забезпечити високу точність обробленої поверхні за високої продуктивності обробки. Крім того, енергоємність нових методів обробки (витрати енергії на одиницю об'єму матеріалу, що видаляється під час обробки) у деяких випадках набагато вище за енергоємність звичайних методів. Тому технолог-машинобудівник, обираючи метод обробки деталі, повинен враховувати весь комплекс чинників, пов'язаних із ефективністю застосування того чи іншого методу.

**Група 5. Зубо- та різьбооброблювальні верстати.** Зубооброблювальні та різьбооброблювальні верстати застосовують під час виготовлення зубчастих коліс та нарізання різьблення. Як зазначено раніше, для виготовлення зубчастих коліс використовують два методи: копіювання профілю ріжучого інструменту (рис. 9.19) та обкатування (обгинання) (рис. 9.20). Нарізання зубчастих коліс за методом копіювання здійснюється фрезеруванням, струганням, шліфуванням і протяганням. Профіль зуба відповідає профілю інструменту. Після прорізання однієї западини заготовка повертається у вихідне положення, обертається на величину кутового кроку і процес повторюється.

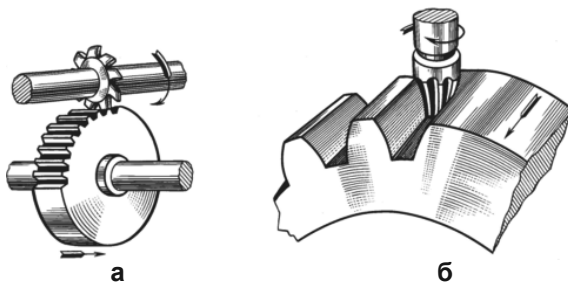


Рисунок 9.19 – Нарізування зубів методом копіювання:  
а – дисковою фрезею; б – кінцевою фрезею

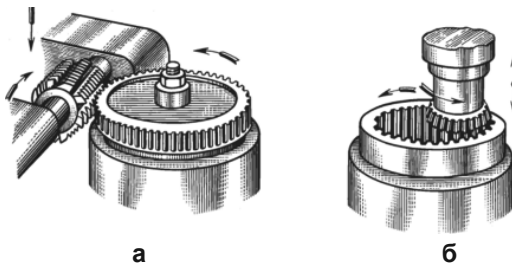


Рисунок 9.20 – Нарізання зубів методом обкатування:  
а – черв'ячною фрезею; б – довбачом

Метод обкатування (обгинання) є дуже точним, високопродуктивним, універсальним та найбільш поширеним методом нарізання зубів на зубообробних верстатах. Він уподіблюється процесу зачеплення

пари зубчастих коліс або колеса із рейкою, коли одне із коліс або рейка забезпечені ріжучими елементами і перетворені, таким чином, на ріжучий інструмент, що називається *утворюючим колесом*. Зубчасте зачеплення утворюючого колеса із оброблюваним зубчастим колесом називається *верстатним зачепленням*. На рис. 9.20 показано основні види верстатних зачеплень і відповідні рухи інструмента і заготовки: а – нарізання зубів зуборізним довбачем на зубодовбальному верстаті; б – нарізання зубів черв'ячною модульною фрезою на зубофрезерному верстаті.

Черв'ячна фреза має в осьовому перетині форму інструментальної рейки. Під час нарізання зубів заготовка та фреза обертаються навколо своїх вісей та забезпечують безперервність процесу.

Нарізання зубів *черв'ячними фрезами* широко застосовують для виготовлення *циліндричних коліс із зовнішнім розташуванням зубів*.

Для нарізання коліс із *внутрішнім розташуванням зубів* застосовують *довбачі*.

*Гребінками* нарізають прямозубі та косозубі колеса із *великим модулем зачеплення*.

Нарізання зубів *конічних коліс* методом обкатування здійснюють *струганням* (рис. 9.21,а) і *фрезеруванням* (рис. 9.21,б).

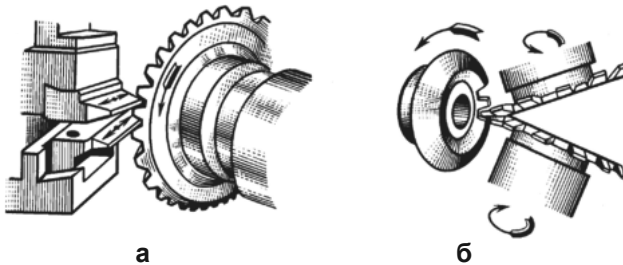


Рисунок 9.21 – Нарізання зубів конічних коліс методом обкатування:  
а – струганням; б – фрезеруванням

Спирально-конічні зубчасті колеса обробляють за методом обкатування уявного колеса по заготовці. На рис. 9.22 наведено схему роботи верстата для нарізання конічних зубів із профілем по дузі кола різцевою головкою. На планшайбі зуборізного верстата 1 встановлено обертову різцеву головку 4, що відтворює криволінійний зуб уявного

плоского спірально-конічного колеса. Заготовка зубчастого колеса наприкінці циклу обробки виходить із зачеплення із різцевою головкою й обертається для нарізання наступного зубця.

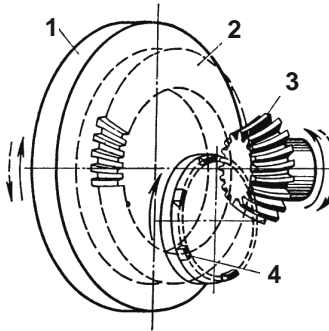


Рисунок 9.22 – Нарізання конічних коліс із криволінійними зубами:  
1 – інструментальний барабан; 2 – уявлюване утворююче колесо; 3 – зубчасте колесо, яке нарізається; 4 – зуборізна головка із різцями

Зуборізний інструмент профілюють на основі стандартних вихідних контурів. Одним і тим же інструментом можна нарізати колеса даного модуля із різним числом зубів, що є дуже суттєвою перевагою методу обкатування. На зубодовбальних верстатах довбачом обробляють колеса як із зовнішніми, так і внутрішніми зубами. Черв'ячними фрезами на зубофрезерних верстатах можна нарізати прямозубі, косо-зубі та шевронні колеса із доріжкою посередині (для виходу ріжучого інструменту); шевронні колеса без доріжки нарізають спеціальними косо-зубими довбачами або гребінками. Найбільш продуктивним способом нарізання зубів є фрезерування черв'ячною фрезою. Як правило, зуборізні верстати є напівавтоматами.

Серед різних зубообробних верстатів найпоширенішими є зубофрезерні верстати, що працюють черв'ячною фрезою. До таких верстатів відносять верстат 5М324А, конструктивні особливості якого багато в чому характерні для верстатів зубофрезерної групи. Верстат призначено для нарізання циліндричних і черв'ячних зубчастих коліс в умовах великосерійного та серійного виробництва. Верстат 5М324А (рис. 9.23) складається із станини 1, на якій жорстко закріплена стійка 8 і переміщається стіл 17, із контрпідтримкою 15. Уздовж напрямних стій-

ки у вертикальному напрямі переміщується каретка 11 із супортом 13, що утримує інструмент. У станині 1 розміщено коробки 2 зі змінними зубчастими колесами гітари головного руху.

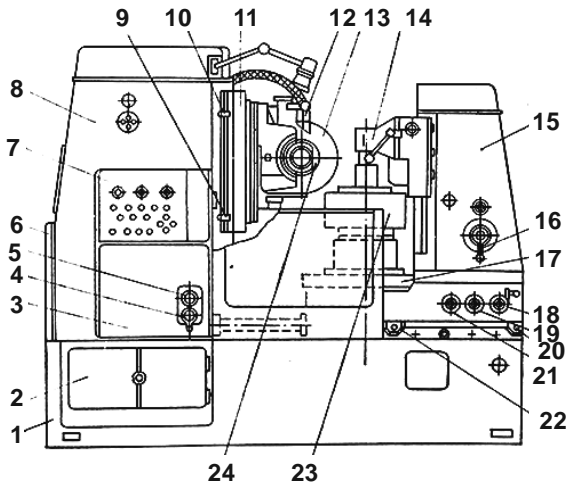


Рисунок 9.23 – Зубофрезерний верстат 5М324А: 1 – станина; 2 – коробка швидкостей; 3 – розподільна коробка; 4 – валик ручного переміщення каретки; 5 – рукоятка автоматичного переміщення каретки; 6 – коробка поділу; 7 – пульт управління; 8 – стійка; 9, 10 – упори регулювання ходу каретки; 11 – каретка; 12 – кран охолодження; 13 – супорт; 14 – кронштейн; 15 – контрпідтримка; 16 – кран переміщення кронштейну; 17 – стіл; 18 – рукоятка встановлення упорів; 19 – гвинт переміщення столу; 20, 22 – упори підведення столу; 21 – рукоятка змащення столу; 23 – заготовка; 24 – черв'ячна фреза

Головний електродвигун, який приводить у обертання стіл із зубчастим колесом 23, що нарізається, та інструментальний шпиндель із черв'ячною фрезою 24, знаходиться із задньої сторони станини. У станині розміщено транспортер стружки, що приводиться у обертання від окремого електродвигуна. Резервуар для змащувально-охолоджувальної рідини знаходиться у станині, звідки її насосом подають у зону обробки, а кількість регулюється краном 12. Стійка 8 служить для розміщення коробки 3 із механізмами переміщення каретки 11, яку можна

переміщати вручну за квадрат 5 або автоматично, повертаючи рукоятку 4 у положення включення автоматичного подавання. Під кришкою знаходяться змінні зубчасті колеса гітари поділу і змінні зубчасті колеса гітари диференціала. На передній стінці стійки укріплено пульт управління 7. Каретка 11 забезпечена упорами 9 і 10, що пересуваються, які регулюють величину ходу каретки. Упори діють на розташовані у стійці кінцеві вимикачі, що відключають електродвигун вертикального переміщення каретки. У корпусі столу 17 знаходиться шпindel, на якому встановлюють зубчасте колесо 23, що нарізається. Зверху корпусу столу 17 жорстко закріплена контрпідтримка 15 із поворотним кронштейном 14, який служить для центрування оправки із заготовкою. Кронштейн піднімається і опускається гідроциліндром, керованим вручну краном 16. Корпус столу 17 можна переміщати вручну, обертаючи гвинт із квадратом 19. Рукояткою 18 встановлюють у певне положення упори столу. Обертанням вручну валика 21 здійснюють змащення механізмів, розташованих у столі. На корпусі столу розміщені упори 20 і 22, які натискають на кінцеві вимикачі, що дають команду на прискорене підведення столу. За точністю верстат відповідає класу Н (нормальна точність) і має високий рівень автоматизації.

На рис. 9.24 наведено фото сучасного зубофрезерного станка та зони обробки зубчастого колеса.

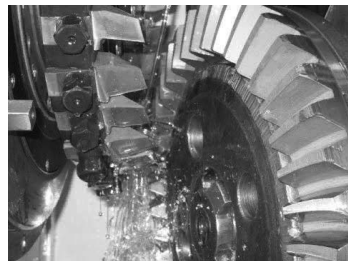
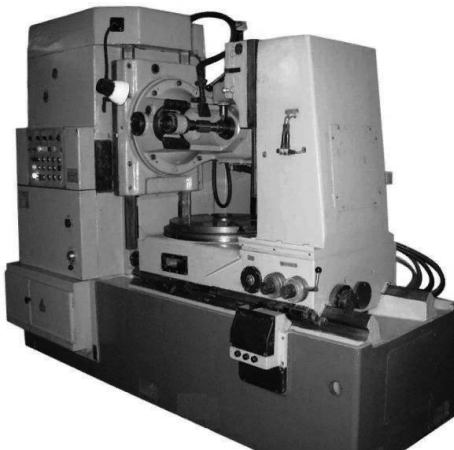


Рисунок 9.24 – Зубофрезерний верстат і зона обробки зубчастого колеса

*Чистова обробка зубчастих коліс.* Зі збільшенням швидкохідності машин виникла нагальна потреба в зубчастих колесах, які безшумно працюють. Шум, викликаний зубчастими колесами, пов'язаний, в основному, із точністю виготовлення елементів зубчастих коліс. Підвищення точності зубчастих коліс, яке сприяє поліпшенню динамічних характеристик зачеплення і зменшенню шуму, досягається застосуванням раціональних способів чистової обробки зубів і спеціальних високоміцних сталей і неметалічних матеріалів (пластмас, текстоліту та ін.).

Кінцева чистова обробка зубчастих вінців шестірень залежить від їхньої форми, твердості матеріалу та необхідної точності. Для обробки зубів на машинобудівних заводах застосовують: обкатування, шевінгування, шліфування і притирання.

Обкатуванням називають процес одержання гладенької поверхні зубів незагартованого зубчастого колеса шляхом обкатування його між трьома обертовими загартованими зубчастими колесами (еталонами), точність яких перебуває у межах  $\pm 5$  мкм.



Рисунок 9.25 – Процес шевінгування

Шевінгуванням (бриючим різанням) називається процес чистової обробки зубів незагартованого зубчастого колеса ( $HRC < 40$ ), що полягає у видаленні дуже тонких стружок спеціальним інструментом – шевером (рис. 9.25). Шевер – це зубчасте колесо або рейка із прорізаними на бічних сторонах кожного зуба поперечними канавками глибиною 0,8 мм. Ці канавки утворюють різучі кромки, які зіскрібають волосоподібні стружки. Оправку із оброблюваним зубчастим колесом (рис. 9.26) закріплюють у центрах верстата. Шевер розташовують над зубчастим колесом під кутом  $15^\circ$ , утворюючи із колесом ніби гвинтову пару із перехресними осями. Шевер обертає оброблюване зубчасте колесо, яке здійснює осьове зворотньо-поступальне переміщення, що називається позадвжньою подачею ( $S_{\text{позд}} = 0,15 - 0,3$  мм на один оберт зубчастого колеса).

Для видалення стружки шевер виконує вертикальне переміщення (подачу на врізання  $S_B = 0,025 - 0,04$  мм на один хід столу). Припуск на шевінгування на сторону коливається у межах 0,04 – 0,06 мм.

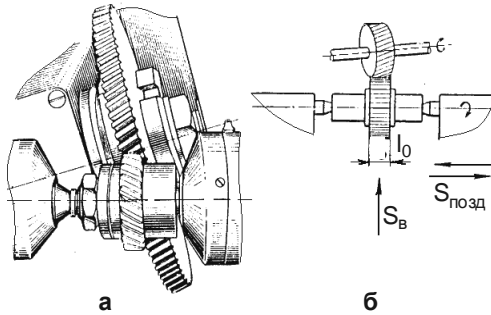


Рисунок 9.26 – Шевінгування циліндричного зубчастого колеса дисковим шевером: а – загальний вигляд (подача поздовжня); б – схема шевінгування із вертикальним переміщенням столу верстата

На рис. 9.27 наведено схему шевінгування циліндричних зубчастих коліс шевером-рейкою (а) та дисковим шевером (б).

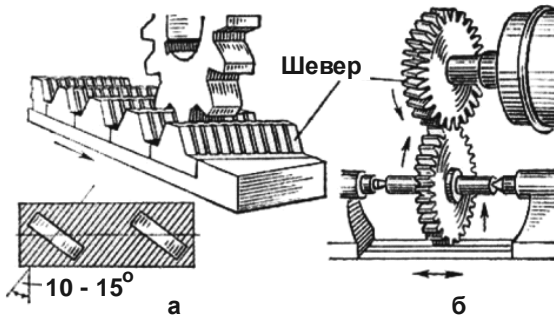


Рисунок 9.27– Схема шевінгування циліндричних зубчастих коліс: а – шевером-рейкою; б – дисковим шевером

Для підвищення якості та точності обробки зуба зубчастого колеса застосовують *зубошліфувальні верстати*. Шліфування зовнішніх і внутрішніх зубчастих вінців із прямими і спіральними зубами здійснюють методами копіювання та обкочування. В основному шліфують зубчасті колеса, піддані загартуванню, цементації і загартуванню та азотуванню.

Верстати, що працюють за методом копіювання, здійснюють шліфування кругом, профіль якого відповідає западині зубів, аналогічно до дискової модульної фрези. Круг заправляють трьома алмазами із



використанням спеціального механізму – пантографа (рис. 9.28,а). Метод копіювання забезпечує високу продуктивність порівняно із методом обкатування, але має низьку точність.

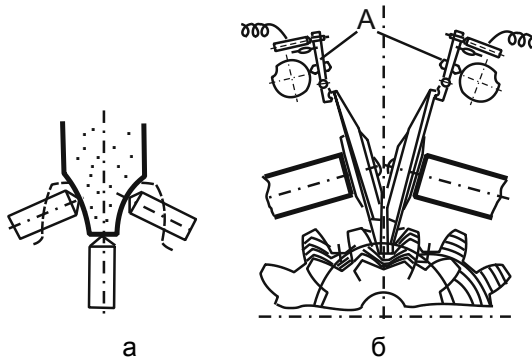


Рисунок 9.28 – Шліфування зубів: а – заправлення круга трьома алмазами; б – обробка двома тарілчастими кругами

У процесі шліфування зубчастих коліс із великою кількістю зубів за методом копіювання має місце значне спрацьовування шліфувального круга. Якщо шліфування зубів здійснювати послідовно, то між першим і останнім зубами виникає значна похибка. Для запобігання цього рекомендується розподіл здійснювати на кратне число зубів. Наприклад, якщо зубчасте колесо має 100 зубів, то потрібно розподіл роботи не на  $1/z$ , а на  $5/z$ , тобто на  $1/20$  або  $10/z$ , тобто  $1/10$  і т. д. За цих умов спрацьовування круга не буде викликати появу великих похибок.

Шліцефрезерні верстати застосовують для фрезерування шліців на валах. Обробку шліців здійснюють черв'ячними шліцьовими фрезами за методом обкатування, аналогічно нарізання зубів на зубофрезерних верстатах.

Нарізання різьблення здійснюють на різьбофрезерних, різьбошліфувальних і різьбонакатних верстатах.

**Група 6. Фрезерні верстати.** Фрезерні верстати призначено для обробки плоских і фасонних поверхонь, пазів, канавок, виступів, зубчастих коліс, зовнішнього і внутрішнього різьблення.

Фрезерування здійснюють ріжучим інструментом – фрезою, що є тілом обертання, на зовнішній поверхні і торці якого розташовані ріжучі

зубці. Головний рух під час фрезерування – обертання фрези; рух подачі здійснює заготовка (іноді фреза).

Фрези (рис. 9.29) можуть бути найрізноманітніших конструкцій, із яких найбільш поширеними є циліндричні, дискові, кінцеві, торцеві та фасонні.

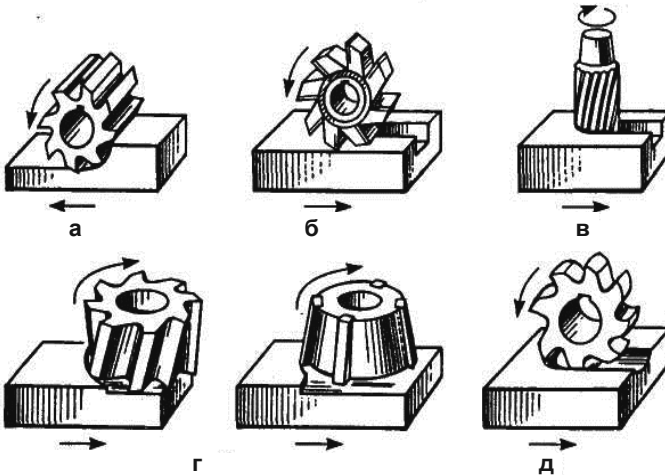


Рисунок 9.29 – Основні види фрез: циліндрична (а), дискова (б), кінцева (в), торцева (г), фасонна (д)

Існує 9 типів фрезерних верстатів: 1) вертикально-фрезерні консольні; 2) фрезерні безперервної дії; 3) та 4) копіювальні й гравірувальні; 5) вертикальні безконсольні; 6) поздовжні; 7) широкоуніверсальні; 8) горизонтальні консольні; 9) різні.

Розрізняють універсальні та спеціалізовані фрезерні верстати. До універсальних верстатів відносять: 1) горизонтально-фрезерні; вертикально-фрезерні; поздовжньо-фрезерні; 2) шпонково-фрезерні; шлице-фрезерні та ін. Горизонтально-фрезерні верстати відрізняються від вертикально-фрезерних верстатів розташуванням шпинделя.

У горизонтально-фрезерному верстаті (рис. 9.30) шпиндель 5 розташовано горизонтально. На станині 2 розміщено хобот 6, що несе підтримувальну сергу 8, прикріплену до поворотної плити 7. Фрезу (або набір фрез) закріплюють у оправі, один кінець якої встановлюють у шпиндель 5, а другий – у отвір серги. Консоль 1 переміщують у вертикальному напрямі уздовж станини. Уздовж напрямних консолі 1 пе-

реміщують полозки 3 із столом 4, на якому закріплюють оброблювану заготовку.

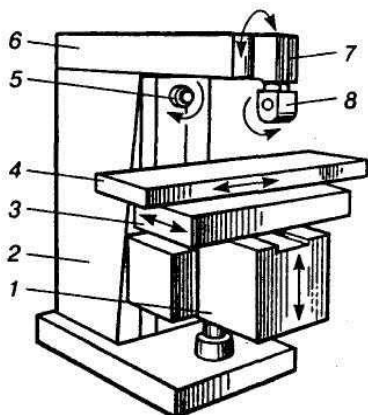


Рисунок 9.30 – Горизонтально-фрезерний верстат: 1 – консоль;  
2 – станина; 3 – полозки; 4 – стіл; 5 – шпиндель; 6 – хобот;  
7 – поворотна плита; 8 – серга

Вертикально-фрезерний верстат має вертикально розташовану шпиндельну головку, яка під час обробки похилих поверхонь може повертатися у вертикальній площині (рис. 9.31).

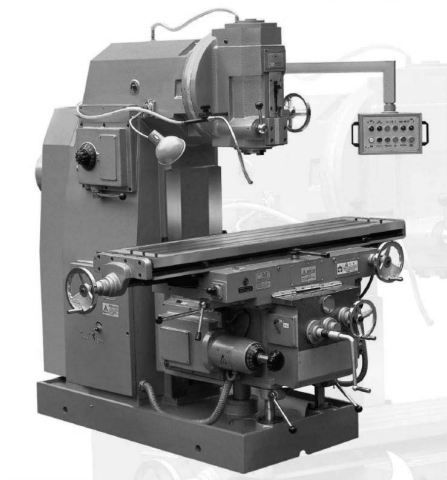


Рисунок 9.31 – Вертикально-фрезерний верстат

Поздовжньо-фрезерні верстати призначено для обробки площин великогабаритних деталей. На них встановлено дві фрезерні головки із горизонтальною віссю шпинделя та дві фрезерні головки із вертикальною віссю шпинделя. Шпонково-фрезерні верстати призначено для фрезерування шпонкових валів.

**Група 7. Стругальні, довбальні й протяжні верстати.** Стругальні верстати призначено для обробки різцями площин і фасонних поверхонь. Верстати розподіляють на поперечно-стругальні та довбальні. Перші застосовують під час виготовлення дрібних і середніх за розмірами деталей, другі – для обробки великих деталей або одночасно декількох деталей середнього розміру. Довбальні верстати використовують для обробки шпонкових пазів, канавок, фасонних поверхонь невеликої довжини. У поперечно-стругальних верстатів несуча частина верстата – повзун – разом із супортом (та інструментом) здійснює прямолінійний зворотно-поступальний рух горизонтальними напрямними станини. Поперечна подача здійснюється столом.

Основним вузлом поперечно-стругального верстата моделі 736 із кривошипно-кулісним механізмом (рис. 9.32) є станина 8, по верхніх горизонтальних напрямним 7 якої переміщається повзун 6 із встановленим на ньому супортом 5.

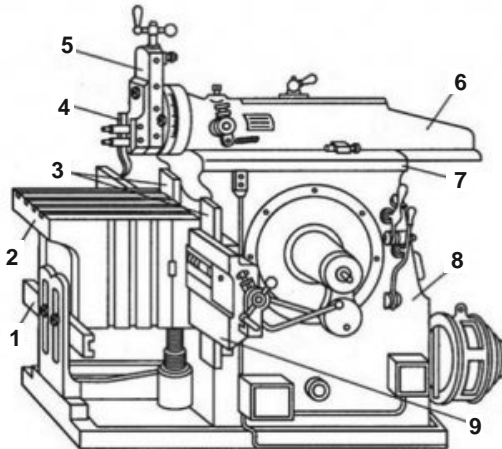


Рисунок 9.32 – Поперечно-стругальний верстат моделі 736:  
1 – упор; 2 – стіл; 3 – вертикальні напрямні; 4 – різцеутримувач;  
5 – супорт; 6 – повзун; 7 – горизонтальні напрямні; 8 – станина;  
9 – поперечина

По вертикальних напрямних 3 станини переміщається поперечина 9, із напрямними, на яких встановлено стіл 2, що має можливість у результаті цього переміщатися вправо та вліво щодо повзуна. Для збільшення жорсткості стіл підтримується стійкою. На горизонтальній і вертикальній поверхнях столу виконано Т-подібні пази, які призначено для встановлення і кріплення заготовок та технологічного оснащення.

У поздовжньо-стругального верстата рухомою частиною є стіл із закріпленою на ньому заготовкою. Різці кріпляться у двох супортах (зверху і збоку) для обробки верхніх і бічних поверхонь. Розмірною характеристикою цих верстатів є найбільші розміри оброблюваної заготовки (ширина × довжина × висота), наприклад, 5000×12500×4500 мм.

Протяжні верстати відрізняються більш високою продуктивністю, оскільки обробка здійснюється багатолезовим інструментом – протяжкою (рис. 9.33).

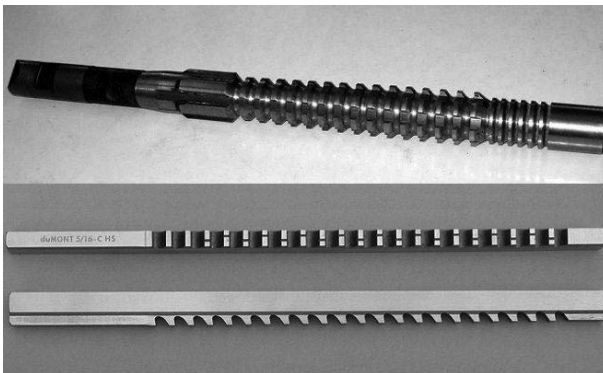


Рисунок 9.33 – Робочі поверхні протяжок

На протяжних верстатах обробляють внутрішні та зовнішні поверхні різноманітної форми (рис. 9.34). За конструкцією ці верстати поділяють на горизонтальні та вертикальні, за характером роботи їх поділяють на верстати для внутрішнього та зовнішнього протягування. Верстати можуть бути універсальними і спеціальними.

На горизонтально-протяжних верстатах (модель 7A540 та ін.) протяжка закріплена горизонтально; деталь упирається у нерухомий

корпус станини. Верстати призначено переважно для обробки внутрішніх поверхонь.

Вертикально-протяжні верстати (модель 774 та ін.) займають меншу площу. Протяжку закріплюють вертикально на робочому повзуні, деталь встановлюють на горизонтальному столі, що здійснює коливальні рухи: після робочого ходу протяжки (вниз) стіл відходить від неї, а після холостого ходу (вгору) повертається у вихідне положення.

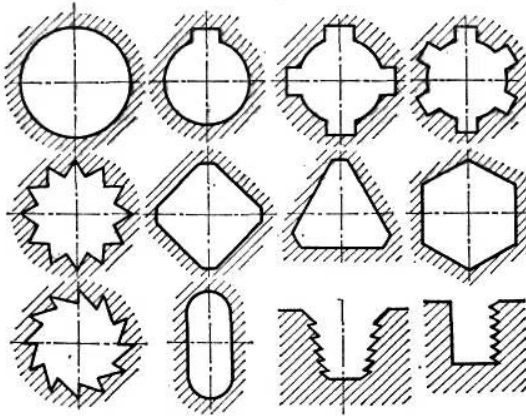


Рисунок 9.34 – Приклади протяжних робіт внутрішнього протягання

Схему процесу протягання показано на рис. 9.35. Хвостовик протяжки 5 пропускають через отвір оброблюваної деталі 7 і втулку 8 пристосування 6, встановленого в опорній плиті 9. Лівий кінець протяжки закріплюють в автоматичному патроні, що складається із корпусу 4, спеціальної втулки 10 із внутрішнім діаметром, відповідним протяжці, і двох сухарів 3. У показаному положенні пружина 2, розпираючи деталь 1, пов'язану із штоком силового циліндра, і корпус 4, зсуває сухарі 3, внаслідок чого останні захоплюють хвостовик протяжки. Коли протяжка переміщається вліво, відбувається обробка отвору. Під час холостого ходу протяжка повертається у вихідне положення. Корпус 4, підійшовши до пристрою 6, упирається у нього і зупиняється. Шток поршня і муфта 1, продовжуючи рух і стискаючи пружину 2, зсувають втулку 10 вправо, сухарі 3 потрапляють у виточення а і рух припиняється. Тепер хвостовик протяжки можна вільно витягнути із отвору 10 втулки, вставити у наступну деталь і знову починати обробку.

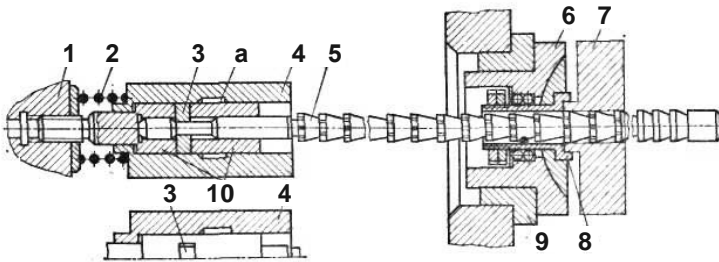


Рисунок 9.35 – Схема процесу протягання

Горизонтальні протяжні верстати випускають із найбільшою тяговою силою 25-980 кН за найбільшим перебігом каретки 1 – 2 м.

У порожній частині зварної станини 1 (рис. 9.36) коробчатої форми горизонтального протяжного верстата змонтовані основні агрегати гідравлічного приводу, що є головним для цього виду верстатів. Зліва розташовано силовий циліндр 2. Шток поршня пов'язаний із робочими санчатами, які, переміщаючись у напрямних вздовж вісі верстата, служать додатковою опорою. На кінці штока насаджено втулку із патроном для закріплення лівого кінця протяжки 3; правий кінець її затиснутий у допоміжному патроні 4. Пристрій для установки деталі та сама деталь упираються у нерухомий корпус станини 5.

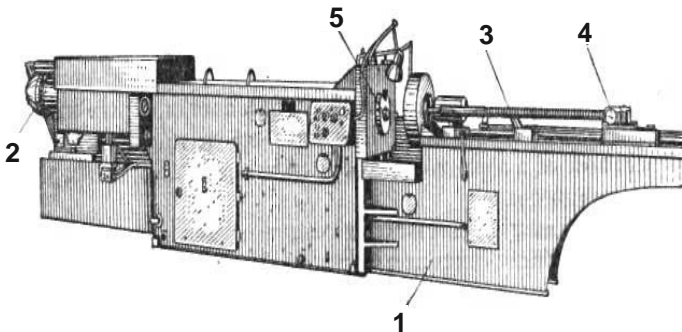


Рисунок 9.36 – Горизонтальний протяжний верстат

Права частина станини є приставною, її призначено для монтажу вузлів автоматичного підведення та відведення протяжки. Необхідні рухи здійснюються допоміжним силовим циліндром, змонтованим у

правій частині верстата. Так, під час робочого ходу вліво санчата допоміжного патрона 4 супроводжують протяжку до тих пір, доки не торкнуться жорсткого упору. При цьому зв'язок між протяжкою і патроном переривається за допомогою пружного кулачка. Після цього відбувається робочий хід, що здійснюється силовим циліндром 2. Під час зворотного ходу задній хвостовик протяжки знову входить до допоміжного патрона і штовхає його вправо у вихідне положення. Верстат працює із повним та простим циклом.

Під час повного циклу прямого ходу здійснюється підведення протяжки, уповільнений робочий хід; налаштований робочий хід – уповільнений робочий хід під час роботи калібруючих зубів та стоп. Під час зворотного ходу здійснюється уповільнений хід та відведення протяжки. Простий цикл відрізняється від повного відсутністю підведення та відведення протяжки.

**Верстати із програмним управлінням.** Значні успіхи, досягнуті у галузі створення електронно-обчислювальних машин та мікропроцесорної техніки, стали важливим етапом у розвитку верстатобудування та автоматизації виробничих процесів. На зміну металорізальним верстатам із ручним управлінням та коштовним верстатам-автоматам у 1970 – 1980-ті роки стали надходити економічні високопродуктивні верстати із числовим програмним управлінням (ЧПУ), які дозволяли здійснювати обробку різних за конструкційним виконанням заготовок із одного установу без попереднього налагодження у автоматичному режимі. Це відкрило широкі перспективи інтенсифікації серійного, дрібносерійного і одиничного виробництва, які характеризуються великими витратами робочого часу на виконання допоміжних операцій.

У разі автоматичного управління верстат працює за заданою програмою без участі людини. Верстати із ЧПУ мають таке саме компонування, як і розглянуті верстати із ручним управлінням.

Багатоопераційний верстат із ЧПУ (рис. 9.37) призначено для обробки призматичних та корпусних деталей і виконання операцій свердління, зенкерування, розточування, нарізання різьблення, фрезерування, підрізування торців та ін.

Стояк 8 переміщується уздовж горизонтальних напрямних станини у напрямі, паралельному до вісі шпинделя 1. Стіл верстата виконано із двох частин: нижня частина 10 переміщується уздовж горизонтальних напрямних станини у напрямі, перпендикулярному до вісі



шпинделя 1, верхня частина 11 виконана зворотною. Шпиндельна бабка 2 переміщується у вертикальному напрямі уздовж напрямних стояка 3. Виконаний у вигляді нескінченної стрічки інструментальний магазин 5 має гнізда, в яких розміщуються оправки із різними інструментами.

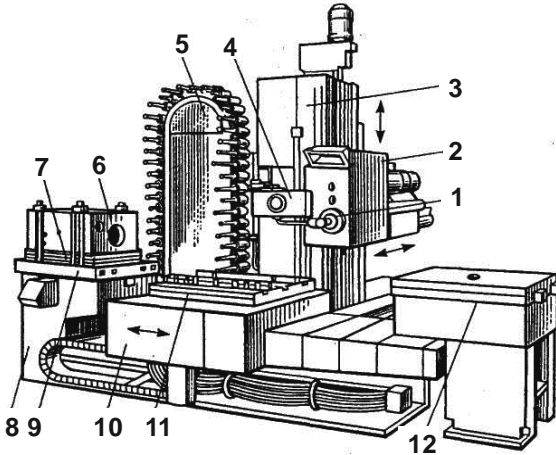


Рисунок 9.37– Багатоопераційний верстат із числовим програмним управлінням: 1 – шпиндель; 2 – шпиндельна бабка; 3, 8 – стояки; 4 – автооператор; 5 – магазин інструменту; 6 – заготовка; 7 – пристрій-супутник; 9, 12 – додаткові столи; 10 – нижня частина стола; 11 – верхня частина стола

Автоматична зміна ріжучого інструмента здійснюється автооператором 4, який за командою системи ЧПУ верстата витягує із відповідного гнізда магазину потрібний ріжучий інструмент, переміщує його до шпинделя і закріплює там. Пристрій-супутник 7 із закріпленою на ньому заготовкою 6 розміщується на додатковому столі 9. На початку циклу обробки пристрій-супутник із заготовкою переміщується по додатковому столу в напрямі встановленого у положення завантаження стола 10. Потім пристрій-супутник із заготовкою розміщується на поворотній частині стола 11 і фіксується відносно нього. Стіл переміщується у зону обробки, і заготовка обробляється із усіх боків. Під час обробки заготовки на додатковому столі 12 готується до обробки наступна заготовка. Після обробки деталь повертається на додатковий стіл 9, а заготовка із стола 12 переміщується у зону різання.

Таким чином, завдяки застосуванню верстатів із ЧПУ, з'явилася можливість, по-перше, ефективної обробки дуже складних за конфігурацією заготовок, виготовлення яких вимагало коштовних верстатів, технологічного оснащення, ріжучих інструментів та виконання ручних розмічувальних і слюсарних робіт. По-друге, обробки малих партій заготовок (15 – 25 штук) звичайних машинобудівних деталей, виготовлення яких на універсальних металорізальних верстатах, як правило, було економічно недоцільно і не забезпечувало необхідної точності, однорідності форми та розмірів оброблюваних заготовок. У результаті продуктивність праці зростає у 2 – 4 рази.

При цьому забезпечується автоматизація управління циклом обробки, з'являється можливість багатOVERстатного обслуговування, зменшується виробничий цикл, збільшується частка машинного часу в основному технологічному часі, підвищується точність обробки внаслідок скорочення кількості переустановок та застосування пристроїв для відліку переміщень, збільшується стабільність точності обробки деталей, скорочується час на виконання вимірювань розмірів оброблюваних деталей та підналагодження інструменту, проведення контрольних операцій. Зводяться до мінімуму помилки оператора, зменшуються виробничі площі. Широке впровадження верстатів із ЧПУ також сприяє покращенню організації та умов праці, підвищенню культури виробництва у механічних цехах (рис. 9.38) [14].



Рисунок 9.38 – Сучасний токарний верстат із ЧПУ – PUMA GT2100

Обробка на верстатах із ЧПУ не вимагає застосування складних і коштовних у виготовленні кулачків, копирів та упорів. Управління виконавчими органами верстата здійснюється автоматично за попередньо розробленою програмою, записаною на програмоносії. Підготовка верстата до роботи полягає, головним чином, у розробленні управляючої програми на обробку конкретної заготовки, що включає розрахунок програми, її фіксацію на програмоносії та контроль. Управляюча програма, за суттю, виконує функцію технологічного оснащення та є основною технічною документацією на обробку заготовки.

Управляюча програма є сукупністю команд мовою програмування, що відповідає заданому алгоритму функціонування верстата під час обробки конкретної заготовки. Управляюча програма складається із кадрів. Кожен кадр реалізує щонайменше одну команду. Інформація, що міститься в кадрах управляючої програми, включає дані щодо значення переміщень інструменту за осями координат, швидкості обертання шпинделя, величини подачі, ріжучого інструменту, введенні корекції, подачі охолодження та інших командах, що забезпечують повний технологічний цикл обробки заготовки на верстаті. Всі ці дані встановлюють на основі відповідних геометричних і технологічних розрахунків, виходячи із креслення оброблюваної заготовки, технологічної карти і схеми руху інструменту.

Найбільш складною і трудомісткою операцією визначення геометричних і технологічних параметрів обробки є операція, пов'язана із розрахунком координат опорних точок траєкторії руху інструменту під час контурної обробки на токарних і фрезерних верстатах із ЧПУ. Достатньо зазначити, що трудомісткість геометричних обчислень у спільній трудомісткості розрахунків УП становить 80 – 90 %. Опорні точки – це точки, що з'єднують різні ділянки контуру оброблюваної заготовки, утворені відрізками прямих, дугами кола та інших кривих вищого порядку, якими умовно представлено креслення оброблюваної заготовки. Координати опорних точок визначаються за умови перетину двох прямих, розташованих під кутом, або за умови перетину (спряження) прямої та кола або двох кіл тощо. Враховуючи, що у процесі токарної обробки контур оброблюваної заготовки безперервно змінюється, а під час фрезерної обробки формотворчим контуром є складніший контур еквідистанти, визначення координат опорних точок вимагає дуже великої кількості математичних обчислень.

Розглянемо схему обробки кінцевою фрезою плоскої деталі на верстаті із ЧПУ. Траєкторію руху кінцевої фрези у площині наведено на рис. 9.39. Для розроблення управляючої програми необхідно математично розрахувати опорні точки за кресленням заготовки. Трудомісткість геометричних обчислень під час розроблення управляючої програми для складних креслень може складати до 90 %.

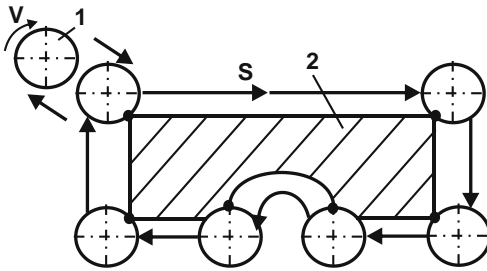


Рисунок 9.39 – Схема обробки кінцевою фрезою 1 плоскої деталі 2 на верстаті з ЧПУ

Висока трудомісткість геометричних обчислень під час розроблення управляючої програми іноді є основною причиною, що стримує перехід від обробки на звичайних верстатах до обробки на верстатах із ЧПУ. Особливо це стосується об'ємної обробки складних конструкцій штампів, прес-форм тощо, які, як і раніше, виготовляються на малопродуктивних копіювальних верстатах із подальшою трудомісткою слюсарною доробкою. У цих умовах одним із найважливіших чинників ефективного застосування верстатів із ЧПУ є можливість розроблення складних управляючих програм у найкоротші терміни шляхом автоматизації розроблення управляючої програми із урахуванням використання обчислювальної техніки. Автоматизоване розроблення управляючої програми включає: розрахунок координат опорних точок траєкторій руху інструменту, формування управляючої програми відповідно до технологічного циклу обробки заготовки та запис її на перфоровану або магнітну стрічку. При цьому завдання технолога-програміста зводиться до підготовки та координування вихідної геометричної та технологічної інформації щодо процесу обробки конкретної заготовки. Це дає змогу значно прискорити розроблення управляючої програми. У середньому тривалість розроблення управляючої програми скорочується у 5 разів, а під час обробки заготовок зі складними поверхнями – у 10 разів і більше.

Автоматизоване розроблення управляючої програми УП здійснюється за допомогою системи автоматизованого програмування управляючої програми (САП УП), що є програмним забезпеченням для

вирішення геометричних і технологічних завдань і реалізованої на базі комплексу технічних засобів, що включають базову електронно-обчислювальну машину (ЕОМ) і додаткові пристрої. Система САП УП містить проблемно-орієнтовану мову, яку призначено для запису та введення в ЕОМ вихідної інформації. *Процесор* – це основний обчислювальний блок, що забезпечує вирішення загальних геометричних та технологічних завдань. *Постпроцесори* – це обчислювальні блоки, які забезпечують формування управляючої програми у кодах конкретної системи ЧПУ. Така побудова системи САП УП дозволяє підготувати управляючу програму для будь-якої комбінації "модель верстата – система ЧПУ". Для цього слід застосовувати бібліотеку постпроцесорів для існуючих систем ЧПУ.

У блоці "постпроцесор" відбувається перетворення системи координат оброблюваної заготовки у систему координат верстата, формування елементарних переміщень, перераховуються величини переміщень у кількість дискрет, а також виконуються інші математичні перетворення. Крім того, блок "постпроцесор" забезпечує видачу супровідної документації, що включає роздруківку управляючої програми, відомості щодо тривалості роботи верстата тощо.

Існують такі види програмного управління:

- ПУ – програмне управління;
- ЦПУ – цифрове програмне управління (спрощене без застосування управляючої програми – переміщення обмежені упорами);
- NC (ЧПУ) – управління за програмою в алфавітно-цифровому коді;
- HNC – різновид ЧПУ із ручним завданням програми із пульта пристрою (клавіші та ін.);
- SNC – має пам'ять для зберігання всієї програми;
- CNC – автономне управління верстатом із ЧПУ, містить електронно-обчислювальну машину (ЕОМ) або процесор;
- DNC – управління групою верстатів від загальної ЕОМ.

Пристрої ЧПУ розподіляють на позиційні, контурні (прямокутні й криволінійні), комбіновані. Позиційні пристрої застосовують для верстатів свердлильно-розточувальної групи (оскільки потрібна точність позиціонування). Комбіновані пристрої застосовують частіше для управління багатоопераційними верстатами.

У позначенні моделей верстатів із ЧПУ у кінці шифру указують літеру Ф, а після неї, відповідно, цифру Ф1, Ф2, Ф ...

До основних вимог, які висувають до різців для обробки на верстатах із ЧПУ, відносять такі: забезпечення високої зносостійкості; універсальність, тобто можливість одним інструментом виконати велику кількість переходів; швидкозмінність та стабільність положення робочих вершин і ріжучих кромок. Цим вимогам відповідають різці, у яких твердосплавна ріжуча пластина не напаюється, а закріплюється на державці різця механічно.

**Промислові роботи й роботизовані технологічні комплекси.** Верстат із числовим програмним управлінням є напівавтоматом, оскільки робочий цикл обробки деталі здійснюється автоматично за певною програмою. Участь людини у роботі верстата із ЧПУ зводиться, в основному, до переміщення деталі в зону її закріплення і після автоматичної обробки – до її розкріплення й переміщення із зони обробки. Дії робітника на верстаті із ЧПУ нині успішно замінюють діями автоматичної машини – промислового робота [21, 28].

*Промисловий робот* – це автоматична машина, що замінює функції людини в переміщенні предметів виробництва і технологічного оснащення.

Промислові роботи дозволяють підвищити продуктивність праці, комплексно автоматизувати виробництво та звільнити людину від монотонних, важких, небезпечних і шкідливих робіт. Важливою перевагою промислових роботів є можливість швидкого переналадження їх в умовах частої зміни об'єктів виробництва, тобто в умовах серійного та дрібно-серійного виробництва, в комплексі із верстатами із ЧПУ. Вони називаються *роботизовано технологічними комплексами*.

Роботизовано технологічний комплекс складається із верстата із ЧПУ, промислового робота і тактового стола, який призначено для збереження запасу заготовок і подавання їх у зону захоплення промислового робота.

**Гнучкі виробничі системи.** Будь-який виріб, що використовується в господарстві, морально старіє, тобто перестає відповідати належному рівню розвитку науки і техніки. Такий виріб має бути замінений на досконаліший. Крім того, кожне підприємство, як правило, виготовляє номенклатуру виробів, для випуску яких потрібно в певний календарний термін переходити із виготовлення одного виробу на

інший. Для здійснення такого переходу починають широко використовувати гнучкі виробничі системи.

**Гнучка виробнича система (ГВС)** – це сукупність декількох або окремої одиниці технологічного устаткування та системи забезпечення її функціонування в автоматичному режимі, яка має властивість автоматизованого переналагодження під час випуску виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їхніх характеристик.

ГВС – це комплекс, який складається із ЕОМ, декількох верстатів із ЧПУ, пристроїв транспортування, завантаження заготовок і розвантаження деталей, контрольно-вимірювальної системи та системи заміни ріжучого інструменту.

ГВС є засобом удосконалення виробництва і має високу продуктивність, низьку собівартість масового виробництва та мобільність дрібносерійного виробництва, забезпечує роботу технологічного устаткування у режимі "безлюдної технології", підвищує якість продукції і зменшує кількість робітників, зайнятих у виробництві.

### **Контрольні питання**

1. Які кінематичні рухи використовують для формування поверхонь деталей у процесі різання?
2. Які ріжучі інструменти застосовують для обробки різних за конфігурацією поверхонь?
3. Які існують металорізальні верстати?
4. Яке призначення та сутність конструкції токарних верстатів?
5. Яке призначення та сутність конструкції свердлильних верстатів?
6. Яке призначення та сутність конструкції шліфувальних верстатів?
7. Які Ви знаєте комбіновані (електрофізичні та електрохімічні) методи обробки? У чому полягають їх переваги та недоліки?
8. Яка основна відмінність методів обробки матеріалів різанням від електрофізичних та електрохімічних методів обробки?
9. Яке призначення та сутність конструкції фрезерних верстатів?
10. Яке призначення та сутність конструкцій стругальних і протяжних верстатів?
11. Якими особливостями характеризується робота верстатів із числовим програмним управлінням?

## **Робота 10. Методика розрахунку раціональних параметрів механічної обробки деталей машин**

**Мета роботи** – навчити студентів розраховувати раціональні параметри режимів різання та здійснювати вибір ріжучих інструментів і обладнання для основних методів механічної обробки деталей машин. Також навчити студентів розроблювати високопродуктивні технологічні процеси механічної обробки деталей машин.

### ***Загальні відомості***

#### **1. Аналітичний розрахунок раціональних параметрів механічної обробки деталей машин під час точіння**

Аналітичний розрахунок можна застосовувати у масовому виробництві під час обробки заготовок на автоматичних лініях, а також в інших випадках, коли необхідно достатньо точно задати умови обробки. Розрахунок здійснюють за обмежуючими чинниками, пов'язаними із міцністю інструменту, міцністю та силовими можливостями робочих органів верстатів, точністю обробки тощо. Аналітичний розрахунок передбачає глибоке розуміння фізичних основ теорії різання матеріалів. Тому у даній роботі наведено методичні рекомендації щодо аналітичного розрахунку параметрів режимів різання на прикладі чорнового точіння. Варіанти завдань наведено на рис. 10.1.

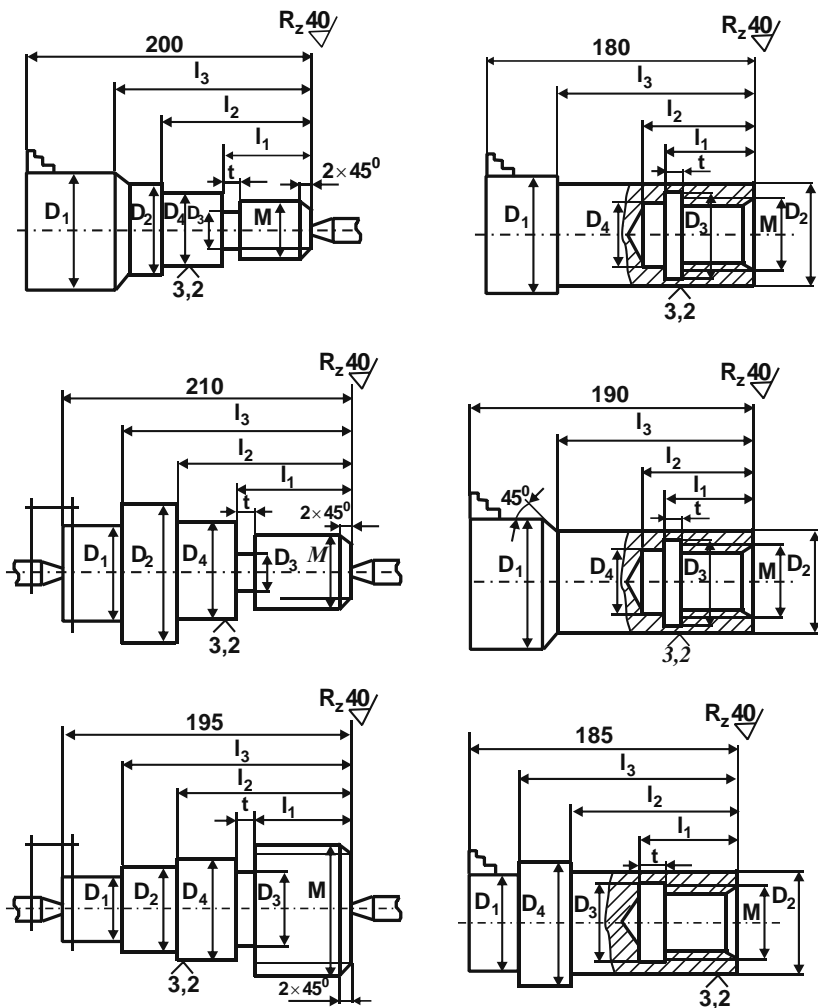
*Послідовність обробки поверхонь деталей.* Перед розрахунком студент складає маршрутну технологію обробки деталі, у якій має бути відображено послідовність всіх переходів, наприклад: точити поверхню  $D_1$  на довжину  $l_1$ ; свердлити отвір  $D_2$  на довжину  $l_2$ ; зняти фаску  $2 \times 45^\circ$  та ін.

Слід мати на увазі, що поверхні чистової обробки (6–7 класу шорсткості) необхідно обробляти послідовно за декілька проходів, наприклад, чорнова і чистова; напівчистова і чистова обробки. Це потрібно для отримання заданої точності та високої якості обробленої поверхні.

Аналітичним методом рекомендується розраховувати параметри режимів різання для чорнового проходу, оскільки він найбільш енергонапружений. Для обробки на кожному переході вибирають відповідний інструмент.



1.1. *Вибір обладнання.* Вибір типу та моделі верстата для обробки деталі виконують за роботою [59, табл. 9, с. 15 – 17]. Тип верстата вибирають залежно від виду обробки і типу виробництва, а модель верстата вибирають залежно від габаритів оброблюваної деталі. Для індивідуального, дрібносерійного та середньoserійного типів виробництва рекомендується вибирати універсальне обладнання; для великосерійного та масового – верстати-автомати та напівавтомати, агрегатні, багаторізцеві, а також спеціальні верстати.



Продовження рис. 10.1

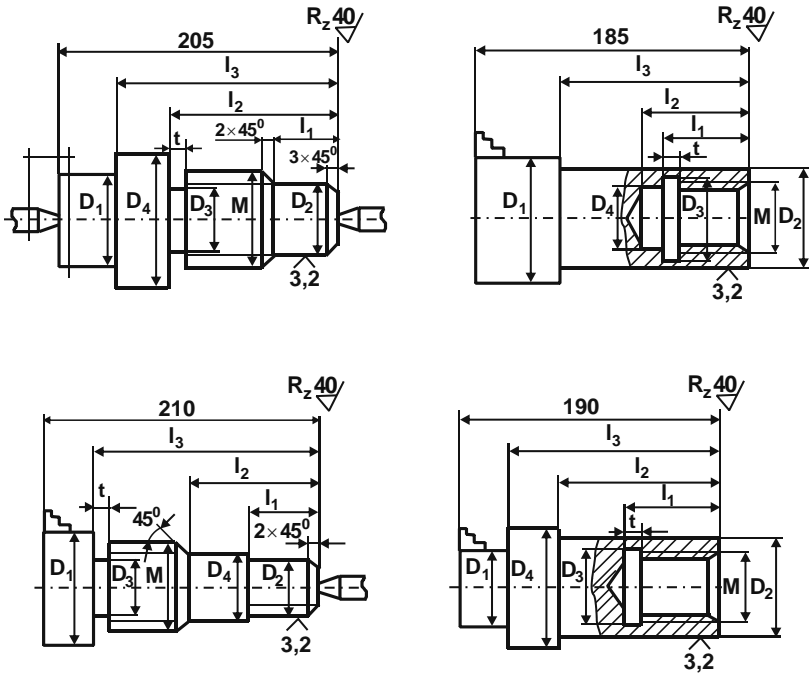


Рис. 10.1 – Варіанти завдань

Для обробки заданої деталі можна прийняти токарно-гвинторізний верстат моделі 16K20 або будь-який інший. У пояснювальній записці необхідно навести короткі технічні характеристики верстата:

- максимальний діаметр оброблюваної деталі над супортом;
- відстань між центрами;
- розміри перетину державки різця  $V \times H$ ;
- межі регулювання частоти обертання шпинделя;
- межі регулювання величини поздовжньої і поперечної подач;
- потужність електродвигуна приводу головного руху.

1.2. *Вибір ріжучого інструменту.* Вибір марки інструментального матеріалу здійснюють згідно роботи [59, табл. 2, табл. 3, с. 115-118] залежно від виду і характеру обробки та також матеріалу заготовки і стану її поверхневого шару. Тип різця та розміри державки також вибирають згідно роботи [59, табл. 4 – табл. 39, с. 119–136] залежно від виду оброблюваної поверхні та матеріалу ріжучої частини різця. Необхід-

но вибрати відповідні ріжучі інструменти для кожного переходу та навести ескізи. Для виготовлення державки різця застосовують конструкційні сталі марок 45 і 40X, що мають допустиме напруження на вигин  $[\epsilon_B] = 200$  МПа. Розміри державки вибирають відповідно до паспортних даних верстата.

Форму передньої поверхні різця призначають згідно табл. 10.1. Визначальними чинниками є: міцність оброблюваного матеріалу  $\epsilon_B$ , жорсткість і вібростійкість заготовки, а також матеріал ріжучої частини інструменту. Призначену форму передньої поверхні різця слід навести на ескізах вибраних раніше інструментів як перетин у статичній головній січній площині.

Таблиця 10.1 – Форма передньої поверхні різців

Позначення, найменування	Ескіз передньої поверхні	Умови застосування	
		а – для різців із швидко-різальної сталі	б – для різців із пластинами із твердих сплавів
I. Плоска	<p>а б</p>	Обробка чавунів і сталей ( $S \leq 0,2$ мм/об.) для фасонних різців складного контуру	Обробка сталі із $\epsilon_B > 800$ МПа за достатньої жорсткості та вібростійкості заготовки. Необхідний стружколомач
II. Плоска із фаскою	<p>а б</p>	Обробка сталі із $S > 0,2$ мм/об.	Обробка сірого і ковкого чавунів та сталей ( $\epsilon_B > 800$ МПа) за достатньої жорсткості та вібростійкості заготовки. Необхідний стружколомач
III. Радіусна із фаскою	<p>а б</p>	Обробка сталі із забезпеченням стружколомання	Обробка сталі із $\epsilon_B \leq 800$ МПа за умови $t = 1 \dots 6$ мм. Стружколомання забезпечується лункою

Чисельні значення основних геометричних параметрів різців (передній кут фаски  $\gamma_f$ ; передній кут  $\gamma$ ; кут нахилу головної ріжучої кромки  $\lambda$  і радіус у вершини різця у плані  $z$ ) приймають за табл. 10.2 залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Прийняті значення кутів наносять на ескіз інструмента.

Таблиця 10.2 – Кути робочої частини різців

Оброблюваний матеріал	Інструментальний матеріал. Форма передньої поверхні	Геометричні параметри			
		$\gamma_f^0$	$\gamma^0$	$\alpha^0$	$\lambda^0$
Сталь, сталеве лиття, HB<340; $\epsilon_B \leq 1200$ МПа Чавун сірий та ковкий HB $\leq 220$	ШС, Па, IIIa,	0	25 ... 35	8 ... 12	0
	ШС, Ia, IIa, IIIa	0	12 ... 18	8 ... 12	-4 ... +4
Сталь, сталеве лиття, $\epsilon_B \leq 1000$ МПа; $\epsilon_B > 1000$ МПа	ТС, IIб, IIIб,	-3 ... -5	15	12	-
	ТС, Iб, IIб	-10	$\pm 10$	12	-
Чавун сірий HB $\leq 220$ HB $> 220$	ТС, IIб, IIIб	-3 ... -5	12	6 ... 10	-
		-3 ... -5	8	6 ... 10	-

\* ШС – швидкорізальна сталь; ТС – твердий сплав

Для підвищення продуктивності, точності та якості обробки найбільш прогресивні різці та їх параметри можна вибрати за даними, наведеними у роботі [50].

1.3. *Глибина різання.* Глибину різання визначають залежно від значень припусків на обробку, а також якості та точності обробленої поверхні.

Під час чорнової обробки ( $R_z > 40$  мкм) глибину різання за можливість слід приймати рівною значенню припуску на обробку  $t = \Delta$ .

Під час чорнової та подальшої напівчистої обробки за умови  $R_z < 40$  мкм (але  $R_a > 2,5$  мкм) та припуску на радіус  $\Delta > 2$  мм обробку здійснюють за 2 проходи:  $t_1 = (0,65 \dots 0,75) \cdot \Delta$ ;  $t_2 = (0,25 \dots 0,35) \cdot \Delta$ .

Під час чистої обробки за умови  $R_a \leq 2,5$  мкм зняття припуску здійснюють за два, а іноді і за три проходи:

$$t_1 = 0,65 \cdot \Delta; \quad t_2 = 0,25 \cdot \Delta; \quad t_3 = 0,1 \cdot \Delta.$$

Подальший аналітичний розрахунок параметрів режимів різання здійснюють лише для чорнового проходу.

1.4. *Розрахунок подачі за обмежувачими чинниками.* Під час чорнового точіння, коли діють значні сили різання, величину подачі розраховують за такими обмежувачими чинниками:

1.4.1. *За міцністю пластинки твердого сплаву  $S_1$ .* Значення подачі  $S_1$  вибирають за роботою [59, табл. 13, с. 268].

1.4.2. *За шорсткістю обробленої поверхні  $S_2$ .* Значення подачі  $S_2$  вибирають за роботою [59, табл. 11, табл. 12, табл. 14 – табл. 16, с. 266 – 269].

1.4.3. *За міцністю державки різця  $S_3$ .* Значення подачі  $S_3$  визначають за допустимою тангенціальною складовою сили різання  $[P_z]$ , яку може витримати державка різця в умовах деформації на вигин, якщо її розглядати як консольно-защемлену балку (рис. 10.2):

$$[P_z] = \frac{W \cdot [\sigma_B]}{l} \cdot 10, \text{ Н}, \quad (10.1)$$

де  $W = \frac{B \cdot H^2}{6}$  – момент опору вигину державки різця із поперечним перетином  $B \times H$ , мм<sup>3</sup>;

$l$  – виліт різця, який приймають залежно від висоти державки  $H$  та умов обробки під час зовнішнього точіння  $l = (1,5 \dots 2) \cdot H$  мм, розточування  $l = l_0 + (5 \dots 10)$  мм, відрізання  $l = 0,5 \cdot D + (5 \dots 10)$  мм;

$[\sigma_B] = 200$  МПа – допустиме напруження на вигин для конструкційних сталей.

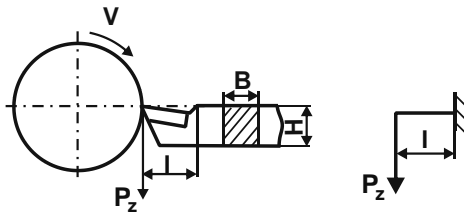


Рисунок 10.2 – Розрахункова схема тангенціальної складової сили різання  $P_z$

Із іншого боку, тангенціальну складову сили різання  $P_z$  (у Н) можна визначити, виходячи із емпіричної залежності:

$$P_z = 10 \cdot c_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot S^{y_{P_z}} \cdot V^{n_{P_z}} \cdot K_{P_z}, \quad (10.2)$$

де  $c_{P_z}$  – коефіцієнт, що залежить від усіх постійних умов еталонної обробки;

$t$ ,  $S$ ,  $V$  – параметри режиму різання, відповідно, глибина, подача та швидкість різання;

$x$ ,  $y$ ,  $n$  – показники ступеня для параметрів режиму різання  $t$ ,  $S$ ,  $V$ , що указують на всі умови реальної обробки, відмінні від еталонної.

Коефіцієнт і показники ступеня приймають, виходячи із роботи [59, табл. 22, с. 273 – 274]. Поправочний коефіцієнт розраховують за залежністю:

$$K_{P_z} = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\alpha p} \cdot K_{z p},$$

де  $R_{mp}$  – коефіцієнт, що враховує вплив відмінностей якості заданого оброблюваного матеріалу від еталонного оброблюваного матеріалу на силові залежності [59, табл. 9, с. 275].

Із залежності (10.2) визначають значення подачі (мм/об.), яке допустиме міцністю державки різця:

$$S_3 \leq y_{P_z} \sqrt{\frac{[P_z]}{10 c_{P_z} \cdot t^{K_{P_z}} \cdot V^{n_{P_z}} \cdot K_{P_z}}}. \quad (10.3)$$

У залежності (10.3) невідомою є величина допустимої швидкості різання  $V$  (у м/хв), яку можна визначити приблизно із умов обробки за емпіричною залежністю:

$$V = \frac{c_V}{T^m \cdot t^{x_V} \cdot S^{y_V}} \cdot K_V, \quad (10.4)$$

де  $c_V$  – коефіцієнт, що залежить від постійних умов еталонної обробки;

$T$  – період стійкості різця, для одноінструментної обробки призначають  $T = 60$  хв і коригують залежно від технологічних умов за роботою [59, табл. 7, табл. 8, с. 264 – 265] та за залежностями (10.2) і (10.3);

$m$  – показник відносної стійкості;

$x_V$ ,  $y_V$  – показники ступеня для параметрів  $t$  і  $S$ , що указують на ступінь впливу цих параметрів на допустиму швидкість різання;

$K_V$  – поправочний коефіцієнт, що ураховує всі умови реальної обробки, які відмінні від еталонної обробки.

Показники ступеня  $x_V$ ,  $y_V$ ,  $m$  і коефіцієнт  $c_V$  приймають, виходячи із роботи [59, табл. 17, с. 269 – 270]. Поправочний коефіцієнт  $K_V$  розраховують за залежністю:

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{BV} \cdot K_{NV} \cdot K_{\phi V} \cdot K_{\phi_1 V} \cdot K_{ZV},$$

де  $K_{MV}$  – коефіцієнт, що ураховує вплив відмінностей фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу від еталонної швидкості різання [59, табл. 1 – табл. 4, с. 261 – 263];

$K_{NV}$  – коефіцієнт, що ураховує вплив відмінностей стану поверхні заготовки [59, табл. 5, с. 263];

$K_{BV}$  – коефіцієнт, що ураховує вплив відмінностей інструментального матеріалу [59, табл. 6, с. 263];

$K_{\phi V} \cdot K_{\phi_1 V} \cdot K_{ZV}$  – коефіцієнти, що ураховують вплив відмінностей геометрії різця у плані [59, табл. 18, с. 271].

У залежність (10.4) необхідно підставити мінімальне значення подачі із двох обраних раніше значень  $S_1$  і  $S_2$ . Отже, за залежністю (10.3) визначають значення допустимої подачі за міцністю державки різця.

1.4.4. *За жорсткістю оброблюваної поверхні, виходячи із точності обробки  $S_4$ .* Необхідно знайти допустиме значення радіальної складової сили різання  $P_y$ , виходячи із умов закріплення деталі на верстаті (рис. 10.3) та умов допустимої величини прогину деталі, що визначає точність обробки.

За умови встановлення заготовки у центрах (рис. 10.3,а):

$$[P_y] = [f] \cdot \frac{70 \cdot E \cdot J}{l^3} \cdot 10, \text{ Н}, \quad (10.5)$$

де  $[f] = (0,25 - 0,3) \cdot \delta$  – допустимий прогин деталі (у мм) залежно від допуску  $\delta$  на виконавчий розмір, який для цього завдання може знаходитися у межах: для чорнової обробки  $\delta = 0,4 - 0,5$  мм; для напівчистої обробки  $\delta = 0,1 - 0,15$  мм; для чистої обробки  $\delta = 0,02 - 0,07$  мм;

$E = 2,1 \cdot 10^2$  – модуль пружності першого роду матеріалу, ГПа;

$J = 0,05 \cdot D^4$  – осьовий момент інерції круглого перетину деталі діаметром  $D$ , мм;

$l$  – довжина оброблюваної деталі, мм.

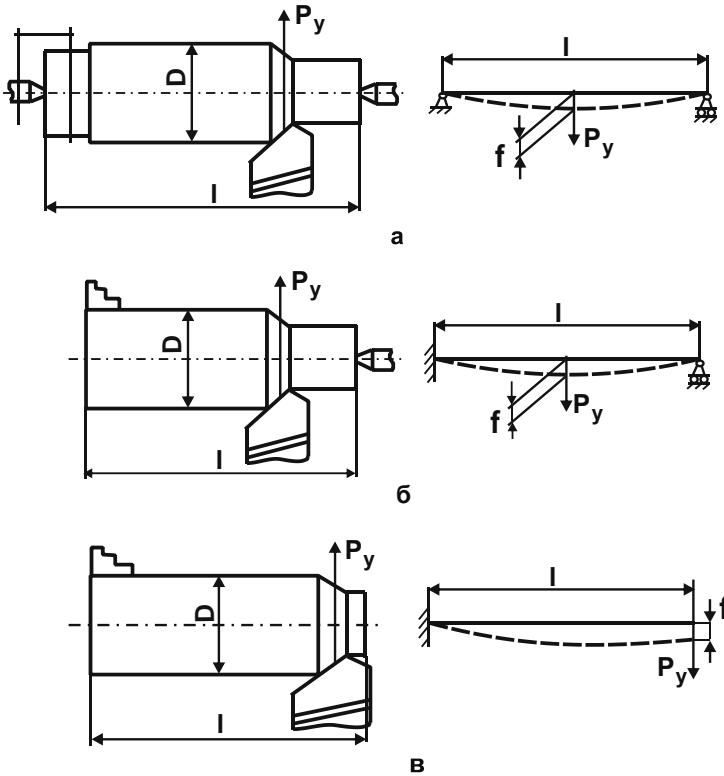


Рисунок 10.3 – Розрахункові схеми радіальної складової сили різання  $P_y$ , виходячи із умов закріплення деталі на верстаті

За умов закріплення заготовки у патроні верстата із підтиском заднім центром (рис. 10.3,б):

$$[P_y] = [f] \cdot \frac{130 \cdot E \cdot J}{l^3} \cdot 10, \text{ Н.} \quad (10.6)$$

За умов закріплення деталі лише у патроні верстата (рис. 10.3,в):

$$[P_y] = [f] \cdot \frac{3 \cdot E \cdot J}{l^3} \cdot 10, \text{ Н.} \quad (10.7)$$

Із іншого боку, виходячи із умов різання, встановлено залежність для визначення радіальної складової сили різання, Н:

$$P_y = 10 \cdot c_{Py} \cdot t^{x_{py}} \cdot S^{y_{py}} \cdot V^{n_{py}} \cdot K_{Py}, \quad (10.8)$$



із якої можна визначити величину подачі (мм/об.), обмежену точністю обробки:

$$S_4 = \sqrt{\frac{[P_y]}{10c_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot V^{n_{py}} \cdot K_{py}}}, \quad (10.9)$$

де значення коефіцієнтів  $c_{py}$ ,  $K_{py}$  і показників ступенів визначають за тими ж нормативними матеріалами, що і у залежності (10.2).

1.4.5. *За міцністю механізму поздовжньої подачі верстату  $S_5$ .* Допустима осьова складова сили різання  $[P_x]$ , яку може розвивати механізм поздовжньої подачі токарного верстата моделі 16K20, дорівнює  $[P_x]=600 \cdot 10$  Н.

Із іншого боку, виходячи із умов різання для осьової складової сили різання  $[P_x]$  (у Н), отримано залежність :

$$P_x = 10 \cdot c_{px} \cdot t^{x_{px}} \cdot S^{y_{px}} \cdot V^{n_{px}} \cdot K_{px}, \quad (10.10)$$

за якої можна визначити величину подачі (у мм/об.), обмежену міцністю механізму подачі:

$$S_5 \leq y_{px} \sqrt{\frac{[P_x]}{10 \cdot c_{px} \cdot t^{x_{px}} \cdot V^{n_{px}} \cdot K_{px}}}, \quad (10.11)$$

де значення коефіцієнтів  $c_{px}$ ,  $K_{px}$  і показників ступенів  $y_{px}$ ,  $x_{px}$ ,  $n_{px}$  визначають за тими ж нормативними матеріалами, що й раніше.

1.4.6. *Вибір технологічної подачі  $S_{\text{техн}}$ .* За технологічну подачу приймають найменше значення із усіх обмежуючих подач, які будуть розраховані далі у пп. 1.5.1. – 1.5.5.

Вибрану технологічну подачу коригують за паспортом верстата, приймаючи найближче значення. Якщо паспортні дані відсутні, необхідно заокруглювати значення до другого знаку після коми.

1.5. *Швидкість різання.* Допустиму швидкість різання  $V$  (у м/хв), що відповідає скоригованому значенню технологічної подачі, визначають за залежністю:

$$V = \frac{c_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_{\text{техн}}^{y_v}} \cdot K_v, \quad (10.12)$$

де коефіцієнти  $c_v$ ,  $K_v$  і показники  $m$ ,  $x_v$ ,  $y_v$  приймають як у залежності (10.4).

За встановленою швидкістю різання  $V$  та діаметром оброблюваної поверхні  $D$  (у мм) визначають частоту обертання шпинделя (у об./хв):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}.$$

Далі необхідно коригувати отриману величину  $n$  за паспортом верстата, приймаючи найближче менше значення  $n_{об}$ , за яким і розраховують дійсну швидкість різання (у м/хв):

$$V_{об} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{об}}{1000}. \quad (10.13)$$

1.6. *Ефективна потужність різання.* Потужність різання розраховують за дійсною величиною швидкості різання, яку визначають за залежністю (10.13) та дійсною тангенціальною складовою силою різання  $P_{z_{об}}$  (у Н), що визначається залежністю:

$$P_{z_{об}} = 10 \cdot c_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot S_{техн}^{n_{P_z}} \cdot V^{n_{P_z}} \cdot K_{P_z}, \quad (10.14)$$

де коефіцієнти та показники ступеня приймають як у залежності (10.2).

Тоді ефективна потужність різання  $N_e$  (у кВт) визначиться:

$$N_e = \frac{P_{z_{об}} \cdot V_{об}}{60 \cdot 120}. \quad (10.15)$$

Далі визначають коефіцієнт завантаження верстата за потужністю

$$K_{зав} = \frac{N_e}{N_{e\partial} \cdot \eta},$$

де  $N_{e\partial}$  – потужність електродвигуна приводу головного руху верстата (у кВт) вибирають за [59, табл. 9, с. 15 – 17];

$\eta = 0,75-0,85$  – к. к. д. верстата.

У випадку, якщо коефіцієнт завантаження буде більше одиниці й перезавантаження перевищить 5 %, коригують режим різання шляхом зменшення швидкості різання (у м/хв), яку визначають залежністю:

$$V = \frac{60 \cdot 1020 \cdot N_{e\partial} \cdot \eta}{P_z}. \quad (10.16)$$

1.7. *Основний технологічний час.* Для поздовжнього точіння основний технологічний час (у хв) визначають за залежністю:

$$T_o = \frac{L}{n_{\partial} \cdot S_{техн}}, \quad (10.17)$$

де  $L = l + y + \Delta$  – шлях інструмента у напрямі подачі, мм;

$l$  – осьовий розмір обробленої поверхні, мм;

$u$  – величина урізання інструмента, мм;

$\Delta = (1 \dots 2)$  мм – перебіг (вихід) інструменту, мм.

Встановлення залежностей для визначення основного технологічного часу  $T_0$  для різних видів точіння, а також розрахунок або призначення величини урізання у наведено у роботі [50].

1.8. *Призначення режимів різання для чистового проходу.* Методику призначення глибини різання наведено у п. 1.3. Значення подачі чистового проходу визначають за роботою [59, табл. 14, с. 268 або табл. 28, с. 238] залежно від шорсткості обробленої поверхні. За встановленою швидкістю різання розраховують частоту обертання залежно від діаметра заготовки, яку потім коригують за паспортом верстата. За дійсною частотою обертання заготовки розраховують дійсну швидкість різання.

Методику розрахунку основного технологічного часу наведено у п. 1.8.

1.9. *Призначення режимів різання для всіх інших переходів під час обробки різцями.* Вибір режиму різання під час обробки різцями здійснюють за наступною послідовністю:

- вибирають відповідний ріжучий інструмент (п. 1.3), наводять ескіз різця;
- призначають глибину різання (п. 1.4);
- призначають подачу та швидкість різання (п. 1.9);
- розраховують ефективну потужність різання (п. 1.7);
- визначають основний технологічний час (п. 1.8).

## **2. Розрахунок елементів режимів різання під час свердління і розсвердлювання**

Свердління є одним із найпоширеніших методів отримання отворів за 11 – 12 квалітетами точності. Ріжучим інструментом є свердло, за допомогою якого свердлять отвір у суцільному матеріалі або збільшують діаметр отвору розсвердлюванням.

Головний рух різання під час свердління – обертальний, рух подачі – поступальний. Процес здійснюють на верстатах токарної або свердлильно-розточувальної групи та ін. Ріжучу частину свердла виготовляють із швидкорізальних сталей або оснащують твердим сплавом.

Елементи режиму різання під час свердління та розсвердлювання для конкретних умов обробки (оброблюваний матеріал, матеріал і геометричні параметри інструментів; вимоги до оброблюваної поверхні; верстат тощо) повинні бути обрані такими, щоб процес різання був найбільш продуктивним і економічним (рис. 10.4).

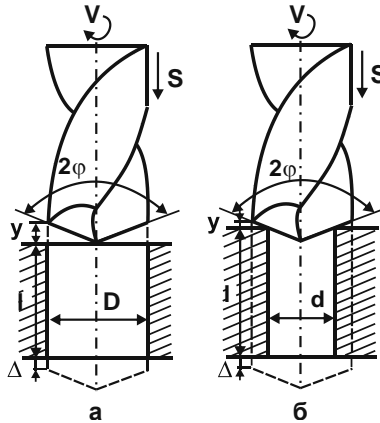


Рисунок 10.4 – Схеми свердління (а) та розсвердлювання (б) отворів

2.1. *Послідовність обробки отворів.* Під час обробки отворів, що вимагають вищого класу точності або отворів під різьблення рекомендується застосувати наступну послідовність переходів:

- висвердлити торець центрувальним свердлом;
- свердлити отвір діаметром 20 – 30 мм на задану довжину;
- розсвердлити отвір, залишивши припуск 4 – 6 мм на діаметр для чистової обробки;
- зенкерувати отвір (під різьблення остаточний розмір отвору можна прийняти рівним різниці мінімального розміру різьблення та його кроку, наприклад, для внутрішнього різьблення M70×2 остаточний діаметр отвору  $D = 70 - 2 = 68$  мм);
- здійснити розвертання отвору.

Вибір обладнання провадиться так само, як і в п. 1.2.

2.2. *Вибір ріжучого інструменту.* Вибір інструментального матеріалу ріжучої частини свердла слід здійснювати за роботою [59, табл. 2 і табл. 3, с. 115 – 118] залежно від властивостей оброблюваного мате-

ріалу. Для свердління неглибоких отворів у вуглецевих та легованих конструкційних сталях як інструментальний матеріал рекомендується застосовувати металокераміку Т5К10, Т15К6, а також швидкорізальні сталі нормальної теплостійкості Р6М5 та ін.; для чавунних заготовок – твердий сплав ВК6, ВК8.

Розміри свердла вибирають за роботою [59, табл. 42, с. 146 – 150].

Вибір форми загострювання та геометричних параметрів робочої частини свердла здійснюють згідно роботи [59, рис. 17, табл. 43 – табл. 45, с. 150 – 152].

У звіті необхідно навести ескіз робочої частини свердла із зазначенням конкретних конструктивних розмірів і геометричних параметрів.

2.3. *Глибина різання.* Під час свердління отвору у суцільному матеріалі глибина різання дорівнює половині діаметра обробленого отвору  $t = 0,5 \cdot D$ , а під час розсвердлювання отвору:

$$t = \frac{D - d}{2},$$

де  $D$  – діаметр обробленого отвору, мм;

$d$  – діаметр оброблюваного отвору, мм.

2.4. *Подача.* Подачу вибирають залежно від технологічних і механічних чинників (якості обробленої поверхні, характеру обробки, міцності свердла, виду та розміру отвору) за роботою [59, табл. 25, с. 277] і коригують за кінематичними даними верстата (приймають найближчу меншу подачу).

2.5. *Швидкість різання.* Розрахунок швидкості різання (м/хв) залежно від умов обробки здійснюють за залежностями:

- для свердління отвору:  $V = \frac{c_V \cdot D^{q_V}}{T^m \cdot S^{y_V}};$

- для розсвердлювання отвору:  $V = \frac{c_V \cdot D^{q_V}}{T^m \cdot t^{x_V} \cdot S^{y_V}} \cdot K_V.$

Період стійкості інструменту  $T$  призначають за роботою [59, табл. 30, с. 279] залежно від властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів.

Коефіцієнт  $c_V$  та показники ступеня  $q_V$ ,  $m$ ,  $x_V$ ,  $y_V$  призначають за роботою [59, табл. 28 і табл. 29, с. 278 – 280] залежно від властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів, а також виду обробки.

Поправочний коефіцієнт, що враховує відмінність дійсних умов різання від еталонних, визначають добутком коефіцієнтів

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{BV} \cdot K_{EV},$$

де  $K_{MV}$  – коефіцієнт, що враховує вплив відмінності механічних властивостей оброблюваного матеріалу, визначають за роботою [59, табл. 1, табл. 2, с. 261 – 262];

$K_{BV}$  – коефіцієнт, що враховує вплив відмінності матеріалу ріжучої частини інструменту, визначають за роботою [59, табл. 6, с. 263];

$K_{EV}$  – коефіцієнт, що враховує вплив глибини оброблюваного отвору, приймають за роботою [59, табл. 31, с. 280].

Далі за допустимим значенням швидкості різання розраховують частоту обертання заготовки (свердла) та коригують її за паспортними даними верстата у бік зменшення. За дійсною частотою обертання заготовки розраховують дійсне значення швидкості різання.

2.6. *Крутний момент і осьова сила.* Крутний момент  $M_{кр}$  (у Н·м) та осьову силу  $P_0$  (у Н) розраховують за залежностями:

- під час свердління отвору:

$$M_{кр} = 10 \cdot c_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad P_0 = 10 \cdot c_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p;$$

- під час розсвердлювання отвору:

$$M_{кр} = 10 \cdot c_M \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p.$$

Коефіцієнти  $c_M$ ,  $c_p$  і показники ступеня  $q$ ,  $x$ ,  $y$  призначають за роботою [59, табл. 32, с. 281] залежно від властивостей інструментального та оброблюваного матеріалів.

Поправочний коефіцієнт  $K_p$  на осьову силу різання і крутний момент, що враховує фактичні умови обробки, у даному випадку залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки:  $K_p = K_{MP} = K_{MM}$ , його визначають за роботою [59, табл. 9, с. 264].

2.7. *Перевірка режимів різання.* За міцністю механізму поздовжньої подачі свердлильного верстата або за умови, що задня бабка токарного верстата може переміщатися спільно із поздовжнім супортом, наприклад, як у верстатів моделі 1K62; 16K20 тощо маємо:

$$P_0 \leq [P_x],$$

де  $[P_x]$  – допустима осьова сила поздовжньої подачі, вибирається за паспортними даними верстата, Н.

За потужністю приводу головного руху ефективну потужність різання (у кВт) розраховують за залежністю:

$$N_{\partial} = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750}, \text{ де } n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об./хв.}$$

Ефективна потужність електродвигуна (кВт):

$$N_{е.дв} = \frac{N_{\partial}}{\eta},$$

де  $\eta=0,85$  – коефіцієнт корисної дії (к. к. д.) приводу головного руху.

Далі ефективну потужність електродвигуна порівнюють із номінальною потужністю, взятою із паспорту верстата, яка має бути:

$$N_{е.дв} \leq N_{дв}.$$

Якщо не дотримується умова щодо міцності механізму поздовжньої подачі, то необхідно коригувати режими різання у бік зменшення подачі, а якщо за потужністю – то зменшувати швидкість різання.

2.8. *Основний технологічний час.* Основний технологічний час  $T_o$  (у хв) розраховують за залежністю:

$$T_o = \frac{y + c + \Delta}{\eta \cdot S_0},$$

де  $y = 0,5 \cdot D \cdot \text{ctg}\varphi$  – величина урізання під час свердління отвору, мм (рис. 10.3,а);

$y = 0,5 \cdot (D - d) \cdot \text{ctg}\varphi$  – величина урізання під час розсвердлювання отвору, мм (рис. 10.3,б);

$l$  – глибина оброблюваного отвору, мм;

$\Delta = 0,5 \dots 1$  мм – величина перебігу інструмента;

$n$  – частота обертання інструмента, об./хв;

$S_0$  – подача за один оберт інструмента, мм/об.

### 3. Розрахунок режимів різання під час зенкерування і розвертання

Для отримання більш точних отворів за 8–9 квалітетами точності із шорсткістю до  $R_a=2,5$  мкм застосовують процес зенкерування, який здійснюється зенкером. Зенкер призначено для подальшої обробки отворів, одержаних після лиття, штампування та попереднього свердління. Зенкерування отворів може бути або остаточною або напівчисловою обробкою перед розвертанням.

Процес зенкерування подібний до розсвердлювання отворів. Відмінність полягає у тому, що зенкер має більшу кількість ріжучих зубів (три-чотири), якими знімається припуск 1 – 4 мм на радіус залежно від діаметра попередньо обробленого отвору. Це дозволяє конструктивно виконати більш дрібні стружкові канавки на інструменті і, таким чином, збільшити його осьову жорсткість завдяки збільшенню діаметра зенкера. Перераховані особливості зенкерування дозволяють більш точно оброблювати отвори, ніж під час свердління.

Розвертання дозволяє отримувати ще більш точні отвори – за 6–7 квалітетами точності із параметром шорсткості обробленої поверхні у межах  $R_a = 1,2 \dots 0,2$  мм. Процес здійснюють розверткою, яка багато в чому нагадує зенкер: основна її відмінність полягає у тому, що вона дозволяє знімати значно менший припуск (0,05 – 0,3 мм на радіус залежно від діаметра оброблюваного отвору) і має більшу кількість зубів – від 6 до 12, а це дозволяє більш якісно обробляти отвори, ніж під час зенкерування.

Розвертка, як правило, має прямиий зуб, проте під час роботи у важких умовах, наприклад, під час розвертання переривчастих отворів (із шпонковим пазом та ін.) застосовують так звані котельні або мостові розвертки, які мають гвинтовий зуб. Це дозволяє плавно урізатися у переривчасту поверхню і, тим самим, покращує умови різання.

Зенкери та розвертки виготовляють як із інструментальних швидкорізальних сталей Р6М5, Р9, так і з твердих сплавів із пластинами (Т15К6 під час обробки сталей; ВК8, ВК6 під час обробки чавунів та інших силіцидних матеріалів); ручні розвертки виготовляють із сталей 9ХС і У12А.

Розрахунок режимів різання під час зенкерування і розвертання є логічним продовженням розрахунків, наведених у п. 2. Крім того, технологічно зручно ці процеси здійснювати послідовно свердлінням і розсвердлюванням, використовуючи те саме обладнання.

3.1. *Вибір ріжучого інструменту.* Вибір інструментального матеріалу ріжучої частини зенкера і розвертки здійснюють за роботою [59, табл. 2, табл. 3, с. 115 – 118] залежно від властивостей оброблюваного матеріалу.

За роботою [59] вибирають: розміри та типи стандартних зенкерів [59, табл. 47, с. 153 – 154], геометричні параметри загострювання [59, табл. 48, с. 154 – 155]. Також у роботі [59, с. 155] наведено більш



детальні та конкретні рекомендації щодо вибору матеріалу для ріжучої частини зенкера. Крім того, залежно від допуску на виконавчий діаметр отвору розрізняють зенкери № 1 і № 2.

Зенкер № 1 рекомендують для обробки отвору під подальше розвертання, а зенкер № 2 – під остаточну обробку отвору із полем допуску Н9 – Н11.

За роботою [59] вибирають: розміри і типи стандартних розверток [59, табл. 49, с. 156 – 157], елементи лез і форми загострювання розверток [59, табл. 50 – табл. 51, с. 158 – 159], геометричні параметри і кути елементів лез розверток [59, табл. 52, табл. 53, с. 160].

У звіті необхідно навести ескізи робочих частин зенкерів і розверток із зазначенням конкретних конструктивних розмірів та геометричних параметрів.

3.2. *Глибина різання.* Під час зенкерування і розвертання глибину різання визначають так само, як і під час розсвердлювання (п. 2.3).

3.3. *Подача.* Подачу під час зенкерування за інших рівних умов допускається приймати більшою, ніж під час розсвердлювання. Це пояснюється тим, що, маючи більш сприятливі умови роботи (відсутність поперечної ріжучої кромки, раціональнішу геометрію уздовж головної ріжучої кромки, меншу глибину різання), зенкер має більшу кількість ріжучих зубів. Тому за однаковою подачею на зуб зворотну подачу можна, відповідно, приймати більшою.

Під час розвертання оборотну подачу із тих самих причин приймають більшою, ніж під час зенкерування.

Залежно від властивостей оброблюваного матеріалу та інших умов обирають подачу для зенкерування [59, табл. 26, с. 277] та розвертання [59, табл. 27, с. 278].

3.4. *Швидкість різання та інші елементи.* Швидкість різання під час зенкерування і розвертання розраховують як і під час розсвердлювання (п. 2.5).

Силові залежності під час зенкерування перевіряють як і під час розсвердлювання (п. 2.6). Під час розвертання, внаслідок незначних величин моменту, осьової сили і потужності, що витрачається на різання, елементи режиму різання за міцністю і потужністю верстата, зазвичай, не перевіряють.

Основний технологічний час розраховують як і під час розсвердлювання (п. 2.8).

#### 4. Розрахунок режимів різання під час різьбонарізання

Різьблення обробляють такими основними способами:

- нарізанням лезовим інструментом, виготовленим із швидкорізальних сталей та твердих сплавів (різці, гребінки, мітчики, плашки, різьбонарізні головки, різьбові фрези та ін.);
- шліфуванням дрібнозернистими різьбошліфувальними кругами – односторонніми та багаторізними;
- накатанням (метод пластичної деформації) накатними роликками або плашками.

Процес різьбонарізання має свої особливості:

- протікає в умовах невеликого різання за значною довжиною контакту ріжучої кромки, що суттєво ускладнює тепловідведення;
- можуть зрізатися великі перетини за один прохід;
- може бути збільшена подача, що дорівнює кроку різьблення, яке нарізається;
- несприятливі кути ріжучого клина інструменту ( $\gamma=0$ ) та ін.

Все це обумовлює відносно невеликі швидкості різання у процесі різьблення, особливо під час роботи однотипними інструментами.

Технологічний процес нарізання різьблення, як правило, поділяють на чорнові та чистові переходи або операції. Під час чорнового нарізання із великими перетинами зрізу відбувається інтенсивне нагрівання заготовки. Тому чистове нарізання доцільно здійснювати із меншими перетинами зрізу для забезпечення точного кроку і профілю різьблення.

4.1. *Вибір ріжучого інструменту.* Тип, конструкція, геометричні параметри різьбонарізних інструментів вибирають залежно від виду та конструкції виробу, в якому передбачається нарізання різьблення, від точності та розмірів різьблення, від типу виробництва та інших умов.

У роботі [59] наведено дані для вибору спеціальних різьбонарізних інструментів на с. 211 – 242; різьбові призматичні різьблення у табл. 12 на с. 122; різьбові розточувальні різці у табл. 16 на с. 125.

У звіті необхідно обґрунтувати вибраний тип інструменту, навести схему різання та ескіз ріжучого інструменту із зазначенням конкретних конструктивних і геометричних його параметрів.

4.2. *Глибина різання і подача.* Поздовжня подача під час обробки різьблення лезовими і абразивними інструментами завжди дорівнює

кроку різьблення, що нарізається, який задається на кресленні деталі. Під час нарізання різьблення багатозазубними інструментами (одно- і багатониткові фрези, вихрові головки та ін.), крім поздовжньої подачі, існують ще й кругова та поперечна подачі, які вибирають залежно від умов обробки за роботою [59, табл. 47, табл. 48].

Глибина різання визначається поперечною подачею урізування. Залежно від величини кроку різьблення, що нарізається різцем, приймається або профільна схема видалення припуску [59, рис. 7,а], або генераторна схема [59, рис. 7,б].

При цьому рекомендується, якщо крок різьблення  $p \leq 2,5$  мм, то поперечна подача повинна мати радіальний напрям ( $S_p$ ), де утворення різьблення відбувається за профільною схемою. Якщо крок різьблення  $p > 2,5$  мм, то чорнові проходи  $t$  необхідно виконувати за генераторною схемою із поперечною подачею  $S_b$ , паралельною бічній стороні різьбового профілю. При цьому слід залишати припуск  $\Delta$  на чистові робочі проходи, що видаляються за профільною схемою. Число робочих проходів різця рекомендується вибирати залежно від форми профілю різьблення та інструментального матеріалу [59, табл. 45, табл. 46]. Під час фрезерування різьблення одно- і багатонитковими фрезами, а також вихровими головками глибину різання призначають рівною висоті профілю, що нарізається, при цьому можна залишити припуск 0,1 – 0,2 мм для чистового проходу, якщо є така необхідність.

Під час нарізання різьблення комплектом ручних мітчиків глибину різання закладено у конструкції та розмірах самих інструментів, тому вона не призначається.

4.3. *Швидкість різання.* Допустиму швидкість різання  $V$  (у м/хв) розраховують за допомогою емпіричних залежностей [59, с. 295 – 297], отриманих залежно від виду і способів нарізання різьблень.

Наприклад, під час нарізання кріпильного різьблення різцями, оснащеними пластинами із твердого сплаву,

$$V = \frac{C_V \cdot i^x}{T^m \cdot S^y} \cdot K_V;$$

під час нарізання кріпильного та трапецеїдального різьблення різцями із швидкорізальної сталі:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot i^x \cdot S^y} \cdot K_V;$$

під час вихрового нарізання метричного і трапецеїдального різьблення твердосплавними різцями у головках, що обертаються, а також під час нарізання різьбовими гребінчастими фрезами:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot S_z^x \cdot S^y} \cdot K_V;$$

під час нарізання метричного різьблення мітчиками, круглими плашками і різьбовими головками:

$$V = \frac{C_V \cdot D^x}{T^m \cdot S^y} \cdot K_V;$$

під час нарізання різьблення груповими швидкорізальними фрезами:

$$V = \frac{C_V \cdot D^x \cdot p^y}{T^m \cdot S_z^x} \cdot K_V,$$

де  $D$  – номінальний діаметр різьблення, мм;

$i$  – кількість робочих ходів;

$p$  – крок різьблення, мм;

$T$  – середнє значення періоду стійкості для різних ріжучих інструментів [59, табл. 49, с. 296];

$S$  – поздовжня подача, яка дорівнює кроку різьблення, мм/об.;

$S_z$  – поперечна подача, мм/зуб;

$C_V, x, y, q, m$  – постійний коефіцієнт та показники ступеня, які обирають залежно від властивостей оброблюваного матеріалу та умов обробки [59, табл. 49, с. 296];

$K_V = K_{MV} \cdot K_{UV} \cdot K_{CV} \cdot K_{TV}$  – загальний поправочний коефіцієнт, що ураховує фактичні умови різання;

$K_{MV}$  – коефіцієнт, що ураховує якість оброблюваного матеріалу [59, табл. 1 – табл. 4, с. 261 – 263 і табл. 50, с. 298];

$K_{UV}$  – коефіцієнт, що ураховує матеріал ріжучої частини інструменту [59, табл. 6, с. 263 і табл. 50, с. 298];

$K_{CV}$  – коефіцієнт, що ураховує спосіб нарізання різьблення ( $K_{CV} = 1,0$  – якщо різьблення нарізається за два переходи: чорновим і чистовим різцями;  $K_{CV} = 0,75$  – якщо різьблення нарізається одним чистовим різцем);

$K_{TV}$  – коефіцієнт, що ураховує точність різьблення, що нарізається [59, табл. 50, с. 298].

Під час нарізання різьблення із обмеженим виходом різця (в упор) та необхідністю при цьому ручного відведення різця швидкість різання  $V$  (у м/хв) зменшують, розраховуючи її за залежністю:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot f}{1000 \cdot \tau \cdot p},$$

де  $D$  – номінальний діаметр різьблення, мм;  
 $f$  – ширина виточення для виходу різця, мм;  
 $p$  – крок різьблення, що нарізається, мм;  
 $\tau$  – час на відведення різця та перемикання верстата на зворотний хід ( $\tau=0,01$  хв).

Дані щодо стійкості ряду ріжучих інструментів орієнтовні, оскільки у цих випадках швидкість різання не розраховують, а встановлюють, маючи на увазі, що якісне різьблення під час нарізання її плашками може бути отримане за умови  $V \leq 4$  м/хв, а гвинторізними головками за умови  $V \leq 14 \dots 16$  м/хв. Найбільш продуктивне та економічне нарізання різьблення мітчиками та гребінчастими різьбовими фрезами досягається за максимальних швидкостей різання, що допускаються швидкохідністю обладнання та потужністю його приводу.

4.4. *Силові залежності та потужність.* Тангенціальну складову сили різання, крутний момент і потужність різання розраховують за залежностями, наведеними у роботі [59, с. 298 – 299].

Тангенціальна складова сили різання під час нарізання різьблення різцями  $P_z$  (у Н) визначається:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot p^y}{i^n}.$$

Крутний момент  $M_{кр}$  (у Нм) під час нарізання різьблення мітчиками і різьбовими головками визначається:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot p^y \cdot K_p,$$

де  $p$  – крок нарізання різьблення, мм;  
 $i$  – кількість робочих проходів [59, табл. 45 і табл. 46];  
 $D$  – номінальний діаметр різьблення, мм;  
 $C_V, C_M, y, q$  – коефіцієнт і показники ступеня [59, табл. 51, с. 298];  
 $K_p = K_{MP}$  – поправочний коефіцієнт, що ураховує якість оброблюваного матеріалу (для різців [59, табл. 9, стр. 264]; для інших інструментів [59, табл. 50, стр. 298]).

Потужність  $N$  (у кВт) під час нарізання різьблення:

– різцями:  $N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}$ ;

– мітчиками, плашками та різбовими головками:  $N = \frac{M_{кр} \cdot n}{975}$ ,

де  $n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$ .

Під час вихрового нарізання різьблення за один прохід головки, що обертається, із  $z$  різцями потужність різання  $N$  (у кВт) визначають за залежностями:

– для трикутного різьблення:  $N = \frac{0,1 \cdot S^{0,5} \cdot S_z^{0,4} \cdot z^{0,5} \cdot V^{0,8}}{D^{0,7}}$ ;

– для трапецеїдального різьблення:  $N = \frac{0,28 \cdot S^{1,2} \cdot S_z^{0,6} \cdot z^{0,5} \cdot V^{0,8}}{D}$ .

Під час нарізання різьблення за кілька проходів, а також під час нарізання нестандартного різьблення розраховану потужність слід множити на відношення фактичної висоти профілю, що видаляється за один прохід, до висоти різьблення.

4.5. *Основний технологічний час.* Основний технологічний час  $T_o$  (у хв) розраховують залежно від способу нарізання та обробки різьблення і схеми різання. Під час нарізання різьблення різцями із урахуванням часу холостих проходів:

$$T_o = \frac{l+y}{S} \cdot \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{n_{обр}} \right) \cdot i,$$

де  $l$  – довжина різьблення, мм;

$y = (3-5) \cdot p$  – величина урізання різця, що приймається залежно від кроку різьблення, що нарізається,  $p$ , мм;

$S = p$  – подача, мм/об.;

$n$  – частота обертання оброблюваної заготовки, об./хв;

$n_{обр}$  – частота обертання шпинделя на зворотних обертах, об./хв;

$i$  – кількість проходів різця.

Під час нарізання різьблення груповими швидкохідними фрезами:

$$T = \frac{1,15 \cdot \pi \cdot D}{S_{хв}},$$

де  $D$  – зовнішній діаметр різьблення, мм;  
 $S_{хв}$  – хвилинна кругова подача, мм/хв.

Під час нарізання різьблення мітчиками, плашками і різьбонарізними головками основний технологічний час визначають за залежністю для нарізання різьблення різцями.

### **5. Розрахунок елементів режимів різання під час фрезерування**

Фрезерування застосовують для обробки площин, пазів, розрізання заготовок, а також для отримання фасонних поверхонь із лінійною утворюючою. Головний рух різання під час фрезерування здійснюють завдяки обертанню фрези, а рух подачі – переміщенням або обертанням заготовки.

Залежно від розміщення вісі обертання фрези розрізняють два основні види фрезерування: циліндричне (якщо вісь фрези розташована паралельно оброблюваній поверхні) і торцеве (якщо вісь фрези розташована перпендикулярно оброблюваній поверхні). У циліндричних фрез зуби розташовано на бічній поверхні циліндра, у торцевих – як на торцевій, так і на циліндричній або конічній частині фрези.

Процесу фрезерування характерні такі особливості:

- кожен зуб фрези під час роботи описує щодо заготовки циклоїду, тому перетин стружки змінний і товщина його може змінюватися від нуля до максимуму, або навпаки;
- кожен зуб здійснює різання із перервами, періодично урізуючись у заготовку. Урізання або вихід відбувається із ударом, а коли зуб знаходиться поза зоною контакту, він охолоджується;
- стружка, що зрізається, повинна вільно розміщуватися у западині між зубами, тому об'єм стружкової канавки повинен бути більше об'єму стружки, що зрізається.

На відміну від інших видів обробки, під час фрезерування ураховують глибину різання  $t$  та ширину фрезерування  $B$ . Крім того, розрізняють три види подач: подачу на зуб (мм/зуб); подачу на один оберт фрези  $S_o$  (мм/об.) та хвилинну подачу  $S_{хв}$  (мм/хв). Процес фрезерування може забезпечувати точність обробки у межах 7–10 квалітетів із шорсткістю обробленої поверхні  $R_a = 10 - 1,2$  мкм.

На практичних заняттях студенти порівнюють обробку однієї і тієї ж поверхні торцевою та циліндричними фрезами.

5.1. *Вибір ріжучого інструменту та обладнання.* Залежно від оброблюваного матеріалу та умов різання вибирають марку інструментального матеріалу фрези [59, табл. 2, табл. 3, с. 114 – 118]. Конструкцію фрези та її розміри вибирають [59, с. 65 – 103] залежно від виду (торцево або циліндричне) фрезерування та форми обробленої поверхні.

Під час виконання даного практичного заняття рекомендується розрахувати обробку заданої поверхні торцевою та циліндричною фрезами, порівняти їх ефективність за основним технологічним часом.

У звіті необхідно навести ескізи фрез із зазначенням конкретних конструктивних розмірів.

Модель фрезерного верстата вибирають [59, табл. 37 – табл. 42, с. 51 – 58] на підставі коротких паспортних даних залежно від габаритів оброблюваної поверхні та виду фрезерування. При цьому заготовка повинна вільно розміщуватися на столі верстата із урахуванням її закріплення, а позовжнє або поперечне переміщення столу має бути більшим за габарит оброблюваної поверхні не менше ніж на половину діаметра фрези.

Після розрахунку параметрів фрезерування відповідність вибраного верстата заданим цілям перевіряють за достатністю потужності приводу головного руху.

У звіті необхідно записати тип верстата та його модель, розміри робочої поверхні столу, його найбільші переміщення та потужність електродвигуна приводу головного руху. К. к. д. приводу головного руху фрезерних верстатів знаходиться у межах 0,75 – 0,85.

5.2. *Глибина різання та ширина фрезерування.* Глибину різання  $t$  для всіх видів фрезерування визначають як відстань від оброблюваної до обробленої поверхні, яка вимірюється перпендикулярно до напрямку подачі. Під час чорнового фрезерування глибину різання призначають у межах  $t = 4 - 8$  мм, за можливостю, рівною припуску, щоб обробку здійснювати за один прохід. Якщо припуск перевищує допустиму глибину різання, то обробку здійснюють у два або більше чорнових проходів. Під час чистового фрезерування обробку здійснюють за кілька проходів, а глибину різання призначають так само, як і під час чистового точіння (п. 1.4).

Ширина фрезерування  $B$  дорівнює ширині оброблюваної поверхні, яка повинна зрізатися фрезою за один прохід, і задається на кресленні деталі.



5.3. *Подача, швидкість різання та силові залежності під час фрезерування.* Подачу призначають [59, табл. 33 – табл. 38, с. 283 – 286] залежно від умов обробки, при цьому її напрям повинен за можливістю відповідати фрезеруванню, особливо під час чорнової обробки.

Допустиму швидкість різання, тангенціальну складову сили різання, крутний момент і потужність різання розраховують за емпіричними залежностями [59, с. 282, 286 – 292].

За потужністю на шпинделі перевіряють достатність потужності електроприводу головного руху верстата, як і під час точіння (п. 1.7).

5.4. *Основний технологічний час.* Основний технологічний час  $T_0$  (у хв) для циліндричного фрезерування визначається (рис. 10.5,а):

$$T_0 = \frac{l + y + \Delta}{n_{\phi} \cdot S_0},$$

де  $y = \sqrt{t \cdot (D_{\phi} - t)}$  – величина урізання, мм;

$\Delta = 1 - 3$  мм – величина перебігу інструменту.

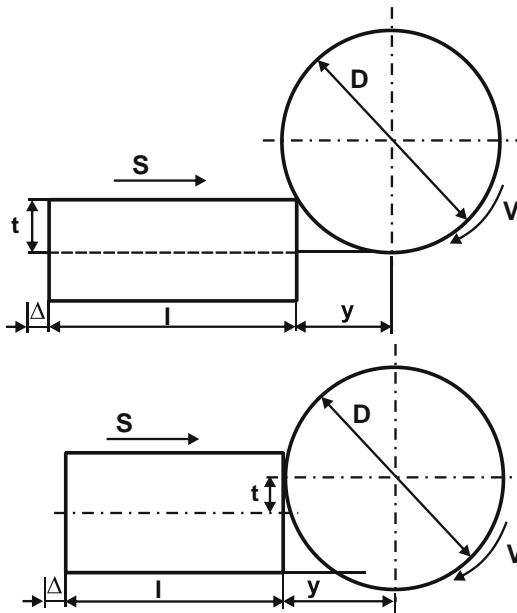


Рисунок 10. 5 – Розрахункові схеми основного технологічного часу  $T_0$  для циліндричного (а) та торцевого (б) фрезерування

Для торцевого фрезерування (рис. 10.5,б) основний технологічний час визначають за тією ж залежністю, де

$$y = \frac{D_{\phi}}{2} - \sqrt{\frac{D_{\phi}^2}{4} - \left(\frac{B}{2} + l\right)^2} - \text{за умов несиметричного торцевого фрезерування, мм;}$$

$$y = \frac{1}{2} \cdot \left(D_{\phi} - \sqrt{D_{\phi}^2 - B^2}\right) - \text{за умов симетричного торцевого фрезерування, мм.}$$

Після розрахунку параметрів режимів обробки під час торцевого і циліндричного фрезерування заданої поверхні необхідно порівняти їх продуктивність за часом  $T_{\phi}$ , і зробити висновки.

## **6. Розрахунок елементів режимів різання під час стругання та довбання**

Процеси стругання та довбання призначено для обробки плоских поверхонь, наскрізних канавок та виступів, а також фасонних поверхонь із лінійчастою утворюючою. Їх здійснюють на стругальних або довбальних верстатах в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва. Кінематика процесів стругання та довбання включає: прямолінійно-поворотний головний рух різання, який здійснює різець або заготовка, та переривчастий рух подачі, що здійснюється на початку кожного робочого ходу.

Стругальні верстати розподіляють на поперечно- і поздовжньо-стругальні. У поздовжньо-стругальних верстатів рух різання повідомляють столу із закріпленою на ній заготовкою, а рух подачі – різцю. Такі верстати призначено для обробки великогабаритних корпусних заготовок. Для обробки дрібніших заготовок застосовують поперечно-стругальні верстати, у яких рух різання повідомляють різцю, а рух подачі – столу верстата, на якому кріпиться заготовка.

Стругання здійснюють у горизонтальній площині, а довбання – у вертикальній.

Основними особливостями процесів стругання та довбання є:

- переривчастість різання та подачі (чергування робочих ходів із холостими);
- урізання різця у заготовку на початку кожного робочого ходу здійснюється із ударами;

- нестабільність теплового режиму різця;
- відносно невелика швидкість різання.

Процеси стругання та довбання можуть забезпечити точність обробки у межах 7 – 12 квалітетів із параметром шорсткості обробленої поверхні  $R_a = 20 - 1,2$  мкм.

На практичних заняттях студентам пропонується провести порівняння продуктивності обробки однієї і тієї ж поверхні фрезеруванням та струганням, а також довбанням та протягуванням шпонкового паза.

6.1. *Вибір ріжучого інструменту та обладнання.* Стругальні різці працюють у специфічних умовах: урізання та вихід інструменту із робочої зони відбуваються із ударом. Ці особливості необхідно враховувати у конструкції різців. У зв'язку із цим стругальні різці мають перетин державки на 25 – 50 % більше за інших рівних умов, ніж токарні різці. Для чорнової обробки, передній кут різання  $\gamma$ , як правило, призначають негативним, а для чистової –  $\gamma = 0$ ; кут нахилу головної ріжучої кромки  $\lambda$  – призначають позитивним.

Залежно від точності та шорсткості обробленої поверхні застосовують прямі стругальні різці для чорнової обробки та різці із вигнутою державкою – для чистової обробки. Тип, конструкцію, геометричні розміри та параметри стругальних різців вибирають за роботою [59, табл. 9, с. 124]. У звіті необхідно навести ескіз стругального різця із зазначенням конкретних конструкційних розмірів.

Модель і тип стругальних і довбальних верстатів вибирають за роботою [59, табл. 43 – табл. 45, с. 59 – 62] залежно від габаритів оброблюваної заготовки. При цьому довжина робочого ходу повинна бути більшою за довжину оброблюваної заготовки на 20 ... 100 мм. Заготовки невеликих габаритів (довжиною 1000 мм) можна обробляти на поперечно-стругальних верстатах, а великі – на подовжньо-стругальних верстатах. При цьому малогабаритні заготовки в умовах серійного виробництва можна обробляти і на подовжньо-стругальних верстатах, встановлюючи та закріплюючи їх у ряд по декілька штук.

Після розрахунку силових параметрів стругання відповідність вибраного верстата заданим цілям перевіряють за достатністю потужності приводу головного руху. При цьому слід пам'ятати, що к. к. д. приводу головного руху стругальних верстатів дещо вище, ніж у інших типів, і становить  $\eta = 0,8 - 0,9$ .

У звіті необхідно записати тип верстата та його модель, довжину робочого ходу, розміри робочої поверхні столу, найбільший перетин різця, ряд частот подвійних ходів повзуна за хвилину, потужність електроприводу головного руху.

6.2. *Елементи режиму різання та силові залежності під час стругання* [59, с. 275 – 276]. Глибину різання призначають так само, як і під час точіння (п. 1.4).

Подачу залежно від умов обробки вибирають за роботою [59, табл. 11, с. 266, табл. 13 – табл. 15, с. 268], а також, як і під час точіння, прирівнюючи зворотну подачу точіння до подачі на подвійний хід під час стругання, а діаметр обробленої поверхні під час точіння – до довжини заготовки під час стругання (рис. 10.6).

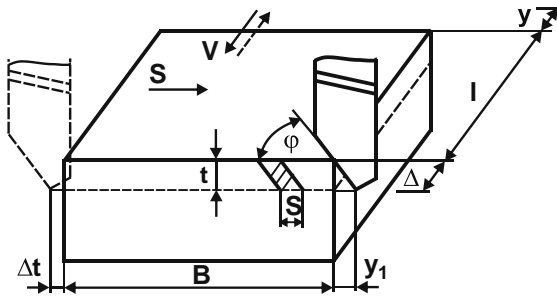


Рисунок 10.6 – Розрахункова схема параметрів процесу стругання

Швидкість різання під час стругання розраховують за відповідними формулами для точіння із введенням додаткового коефіцієнта поправки  $K_{yV}$ , що урахує характер ударного навантаження, значення якого залежно від типу верстата наведено у роботі [59, с. 276]. При цьому слід зазначити, що швидкість різання понад 90 м/хв не допускається конструктивними особливостями стругальних верстатів всіх типів.

Потужність різання розраховують за тією самою залежністю, що й для точіння за інших рівних умов.

6.3. *Основний технологічний час*. Під час стругання (рис. 10.6) основний технологічний час  $T_o$  (у хв) визначають за залежністю:

$$T_o = \frac{B + y_1 + \Delta_1}{i_{\text{подв.хйд}} \cdot S},$$

де  $i_{\text{подвхїд}}$  – кількість подвійних ходів різця, подв. хїд/хв;

$B$  – ширина обробки поверхні заготовки, мм;

$y_1 = t \cdot \text{ctg}\varphi$  – урізання різця, мм;

$\varphi$  – головний кут різця у плані;

$S$  – подача, мм/подв. хїд;

$\Delta_1$  – перебіг (вихїд) різця, мм.

Після розрахунку режимів різання під час стругання і фрезерування однієї і тієї ж поверхні необхідно порівняти їх продуктивність за основним технологічним часом  $T_0$  і зробити висновки.

## 7. Розрахунок елементів режиму різання під час протягання

Протяганням обробляють наскрізні отвори простого або складного профілю, напіввідкриті поверхні (прямі або гвинтові канавки), зовнішні поверхні різної форми, зубчасті колеса зовнішнього і внутрішнього зачеплення тощо.

Протяжка – багатолезовий інструмент. Головний рух під час протягання – прямолінійний у напрямі осі протяжки (бувають протяжки із головним круговим рухом). Рух подачі відсутній, він закладений у конструкції самої протяжки, де кожен наступний зуб вищий на величину подачі попереднього зуба. Якщо сила додається до передньої замкової частини, тіло протяжки працює на розтягання. Якщо сила додається до задньої частини інструмента, він називається *прошивкою*. Прошивка працює на стиск. Щоб уникнути поздовжнього вигину, прошивка повинна бути коротшою за протяжку і її довжина, зазвичай, не перевищує 10 – 15 діаметрів.

Незважаючи на порівняно низькі швидкості різання (порядку 2 – 15 м/хв), продуктивність процесу протягування значна, оскільки велика сумарна довжина ріжучих кромки, які працюють одночасно. Внаслідок високої продуктивності та точності обробки (5 – 7 квалітети) протяжки набули широкого застосування у машинобудуванні. У дрібносерійному виробництві протяжки застосовують у виняткових випадках для протягання стандартних поверхонь, які вимагають високої точності та якості обробки.

Протягання поділяють на внутрішнє, призначене для обробки отворів, зовнішнє – для обробки незамкнених поверхонь та спеціальне. Протягання здійснюють у двох варіантах: вільне (є попередньо оброб-

лений отвір, паз тощо) і координатне (додатково витримується розмір профілю щодо базових поверхонь заготовки). Під час вільного протягання застосовують ріжучі та ущільнюючі протяжки (останні не ріжуть, а ущільнюють оброблену поверхню). Ущільнюючі зубці можуть розташовуватися за ріжучими зубами на одній і тій же протяжці та забезпечувати калібрування обробленої поверхні.

Особливістю протяжок, які здійснюють протягання зовнішніх поверхонь, є те, що вони не мають ні передніх, ні задніх напрямних (мають тільки ріжучу та калібруючу частини) і жорстко закріплені на каретках протяжних верстатів.

Під час протягання застосовують профільну, генераторну і прогресивну схеми зрізання припуску (рис. 10.7). Тому під час розрахунку параметрів протягання додатково враховують вибір схеми зрізання припуску, види зубів та їх кількість і на підставі цих даних визначають довжину робочої частини протяжки. Потім призначають швидкість різання, вибирають верстат та розраховують основний технологічний час.

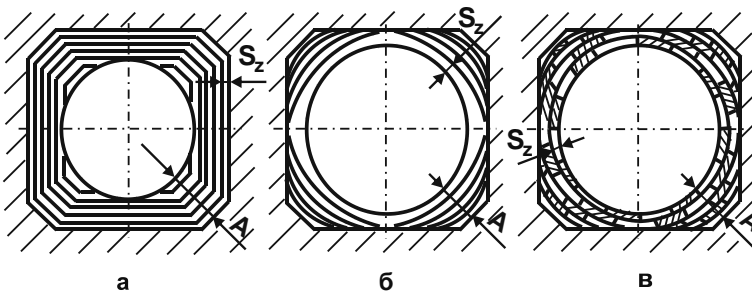


Рисунок 10.7 – Профільна (а), генераторна (б) і прогресивна (в) схеми зрізання припуску під час протягання

На практичних заняттях студентам пропонується розрахувати елементи різання під час протягання шпонкового паза, циліндричного отвору та плоскої поверхні, а також порівняти продуктивність процесу протягання за часом  $T_0$  із процесами довбання шпонкового паза, обробки отвору осьовим інструментом, фрезерування та стругання площини, які розраховано раніше.

7.1. Вибір схеми зрізання припуску, типу та конструктивних елементів протяжки. Схема зрізання припуску (графічне зображення

поступової зміни профілю оброблюваної поверхні у процесі протягання) багато в чому визначає конструкцію протяжки.

Схеми зрізання припуску деяких найбільш поширених типів протяжок і шарів матеріалу, що відокремлюються зубами, показано на рис. 10.7.

Профільна схема (рис. 10.7,а) характерна тим, що кожен наступний зуб протяжки знімає тонку стружку за всією шириною оброблюваної поверхні, повторюючи заданий профіль у зменшеному масштабі, наприклад, профіля шліца, шпонкового паза, кола та ін. Така протяжка розвиває значний питомий тиск різання, а отже, і значні сили протягання. Найчастіше профільну схему застосовують для чистових, калібруючих і вигладжуючих зубів протяжки.

Генераторна схема (рис. 10.7,б) передбачає зняття припуску ріжучими зубами паралельними шарами на окремих ділянках. При цьому кожен зуб обробляє (генерує) невелику ділянку профілю обробленої поверхні. Застосовують для ріжучих (чорнових) зубів протяжки. Після генераторних зубів слідує кілька чистових і калібруючих зубів, які працюють за профільною схемою. Застосування генераторної схеми зрізання припуску значно спрощує виготовлення і загострення, особливо, фасонних протяжок.

Груповий (прогресивний) метод здійснення схеми різання (рис. 10.7,в) передбачає поділ загального шару, що зрізається, на невелику кількість шарів із відносно великим припуском на зуб. Ці шари можуть зніматися із різними величинами підйому зубів. У груповій (прогресивній) протяжці всі ріжучі зуби розділені на групи по два – три або більше зубів, що мають однаковий зовнішній розмір (діаметр), який збільшується за глибиною (шириною) різання. Під глибиною різання в умовах протягання розуміють довжину активної частини периметра протяжки зуба. За цим методом зрізаються порівняно товсті шари, але вузькі за периметром стружки, що збільшує стійкість протяжки у середньому в два рази порівняно із стійкістю протяжок, що працюють за профільною схемою.

Протяжки є складними за конструкцією інструментами. Робоча частина протяжки може мати кілька різновидів зубів (чорнові, перехідні, чистові, калібруючі). Кількість ріжучих або чорнових зубів розраховують за величиною припуску, що зрізається. Ці зуби, як правило, працюють за генераторною або прогресивною схемою та утворюють ріжучу час-

тину протяжки. Чистові дрібніші зуби зрізають частину припуску, призначену для чистової обробки. Кількість їх приймається не більше 4–8. Вони утворюють чистову частину протяжки. Калібруючих зубів призначають стільки ж, скільки й чистових. Вони не зрізають припуск, а тільки зачищають і калібрують вже оброблену поверхню, тому цю частину протяжки називають калібруючою. За необхідності за калібруючими можуть розташовуватися 2 – 4 зуби, що вигладжують.

Вибір протяжки та розрахунок її конструктивних елементів рекомендується проводити у наступній послідовності.

7.1.1. *Визначення номінального припуску (у мм) на діаметр для круглих отворів, що обробляються перед протягуванням свердлом або зенкером, виконується за залежністю:*

$$\Delta = 0,005 \cdot D + (0,1 \dots 0,2) \cdot \sqrt{L},$$

де  $D$  – номінальний діаметр заданого отвору, мм;

$L$  – довжина отвору, що підлягає протяганню, мм.

Для інших видів поверхонь припуск розраховують за цією ж залежністю, але в неї підставляють характерні розміри поверхні, що підлягає протяганню. У розмір припуску автоматично включається також допуск на виготовлення отвору. Припуск є вихідним параметром розрахунку робочої частини протяжки.

Діаметр вихідного отвору під протягання (мм) розраховують:

$$d = D - \Delta.$$

Для інших видів поверхонь вихідний розмір заготовки визначають аналогічно, а для паза шпонки ці параметри задані на кресленні деталі.

Слід зазначити, що протяжка – це коштовний інструмент, тому обробляти дефектні поверхні після лиття, штампування не рекомендується. У цьому випадку дефектний шар заздалегідь знімають за допомогою додаткової чорнової обробки.

7.1.2. *Вибір схеми зрізання припуску різних видів зубів проводиться із урахуванням наступних рекомендацій.*

Профільну схему застосовують для чистових і калібруючих зубів, а також для всіх видів зубів у протяжок, що обробляють прості поверхні, наприклад, круглий отвір, шпонковий паз.

Генераторну схему застосовують для ріжучих (чорнових) зубів під час обробки поверхонь із відносно нескладним профілем, наприклад, квадратні та шестигранні отвори тощо.



Прогресивну схему застосовують тільки для ріжучих (чорнових) зубів протяжки, коли необхідно зняти великий припуск, наприклад, під час протягання отворів, плоских поверхонь тощо.

Студент у звіті повинен навести малюнок обраної схеми зрізання припуску під час протягання заданого варіанту поверхні за аналогією із рис. 10.5.

7.1.3. *Визначення довжини калібруючої частини протяжки.* Кількість зубів, що калібрують, для всіх типорозмірів заданих поверхонь можна прийняти у межах 5 – 8. Їх форму та розмір вибирають, виходячи із роботи [59, табл. 53, с. 173]. При цьому необхідно навести ескіз із зазначенням конкретних розмірів зубів.

Довжину калібруючої частини протяжки (у мм) розраховують:

$$l_k = \sum_{z_{kL}}^1 t_i,$$

де  $z_{kL}$  – порядковий номер калібруючого зуба;

$t_i$  – крок  $i$ -го зуба, мм.

7.1.4. *Визначення довжини чистової частини протяжки.* Кількість чистових зубів приймають таку ж, як калібруючих, зубів (п. 7.1.3).

Подачу на один калібруючий зуб, що працює за профільною схемою, вибирають за роботою [59, табл. 64, с. 173].

Припуск на діаметр (у мм), що зрізається чистовими зубцями протяжки, визначають за залежністю:

$$\Delta_{\text{ч}} = z_{\text{ч}} \cdot s_{z_{\text{ч}}},$$

де  $s_{z_{\text{ч}}}$  – подача на чистовий зуб, мм/зуб;

$z_{\text{ч}}$  – кількість чистових зубів.

Залежності для розрахунку та розміри чистових зубів вибирають за роботою [59, табл. 63, с. 173].

У звіті необхідно навести ескіз чистових зубів.

Довжину чистової частини протяжки (у мм) визначають:

$$l_{\text{ч}} = \sum_{z_{\text{ч}}}^1 t_i,$$

де  $z_{\text{ч}}$  – порядковий номер чистового зуба.

7.1.5. *Визначення довжини робочої частини протяжки.* Для зрізання припуску застосовують генераторну або частіше прогресивну

схему (за винятком – під час обробки шпонкового пазу). Приймають необхідну кількість зубів у групі. Для заданих варіантів поверхонь можна прийняти  $z_{гр} = 2 - 3$  зуби у групі.

Графічно у масштабі зображують схему зрізання припуску із урахуванням кількості зубів групи за аналогією із рис. 10.7, б,в.

Величину припуску (мм), що зрізається однією групою зубів, визначають за залежністю:

$$\Delta_{гр} = S_z \cdot z_{гр},$$

де  $S_z$  – подача на один зуб, що працює умовно за профільною схемою, мм/зуб [59, табл. 64, с. 173].

Весь припуск ( $y$  мм), що зрізається ріжучою частиною протяжки, визначають:

$$\Delta_{ріж} = \Delta - \Delta_{ч}.$$

Кількість груп зубів ( $y$  шт.), необхідних для зрізання цього припуску, визначають:

$$n = \frac{\Delta_{ріж}}{\Delta_{гр}}.$$

Загальна кількість ріжучих зубів  $z_p$  ( $y$  шт.), дорівнює:

$$z_p = z_{гр} \cdot n.$$

Далі за роботою [59, табл. 62, с. 171 – 172] вибирають форму та розміри ріжучих зубів протяжки (ескіз наводять у звіті).

Слід зазначити, що зуб протяжки працює у замкнутому просторі, тому під час протягання довгих отворів  $l > 2 \cdot D$  необхідно призначити профіль зуба із подовженою канавкою, яка зможе забезпечити повне розміщення стружки.

Довжину ріжучої частини протяжки ( $y$  мм) розраховують за залежністю:

$$L_p = z_p \cdot t_p,$$

де  $t_p$  – крок ріжучих зубів, мм.

На закінчення обчислюють загальну довжину робочої частини протяжки ( $y$  мм):

$$L = l_k + l_{ч} + l_p.$$

**7.2. Швидкість різання та сила під час протягання, вибір верстата.** Швидкість різання залежно від умов обробки призначають на

підставі дослідних даних [59, табл. 52 і табл. 53, с. 299]. Тангенціальна складова сили різання  $P_z$  (у Н) розраховують за залежністю:

$$P_z = P \cdot \Sigma B,$$

де  $P$  – питома тангенціальна складова сили різання на 1 мм активної довжини ріжучої кромки (у Н/мм) [59, табл. 54, с. 300];

$\Sigma B$  – найбільша сумарна довжина лез усіх ріжучих зубів, що працюють одночасно, розраховується геометрично за схемою зрізання припуску.

За тяговим зусиллям та довжиною ходу санчат вибирають модель протяжного верстата [59, табл. 46 – табл. 47, с. 63 – 64].

7.3. *Основний технологічний час.* Основний технологічний час  $T_o$  (у хв) розраховують за залежністю:

$$T_o = \frac{l_{\text{заг}} \cdot i + L + t_k}{V},$$

де  $l_{\text{заг}}$  – довжина заготовки, мм;

$i$  – кількість заготовок, що одночасно підлягають протяганню;

$V$  – швидкість різання, мм/хв.

## 8. Розрахунок елементів режиму різання під час шліфування

Шліфування – процес різання металів за допомогою абразивного інструменту, ріжучими елементами якого є зерна зі штучних та природних мінералів. Зерна, що мають високу твердість, теплостійкість і гострі кромки, з'єднані спеціальною зв'язкою у шліфувальні круги, сегменти, головки, бруски, виступаючи зі зв'язки, під час відносного руху із великою швидкістю (наприклад, у шліфувальному крузі, що обертається зі швидкістю 35 – 80 м/с) зрізають (дряпають) шар металу із заготовки у вигляді дуже дрібної стружки.

Велика кількість стружок (до декількох мільйонів на хвилину) та їх мала товщина (кілька мікронів) обумовлені малим розміром самих ріжучих зерен-різців і великою їх кількістю, що одночасно приймають участь у різанні. Внаслідок малого перетину зрізу і великої швидкості різання шліфування забезпечує високу точність до 5–7 квалітетів і малу шорсткість обробленої поверхні 0,025 – 1,2 мкм. Тому цей процес частіше є остаточною операцією. Однак шліфування успішно застосовують і для зняття великих припусків, замінюючи обробку заготовки різцем або фрезою.

Процес стружкоутворення під час шліфування наближається до різання, яке здійснюється зубом фрези. Незважаючи на малі перетини різку, отримувана під час шліфування стружка має таку ж будову і вигляд, що й стружка під час фрезерування. Тут також мають місце пружні та пластичні деформації, тепловиділення, зміцнення, зношування та всі інші фізичні явища, властиві процесам лезової обробки.

Висока температура шліфування (1000 – 1500 °С) виникає внаслідок наявності у зерен різноманітної несприятливої геометрії ріжучих зерен (негативні передні кути) та великої швидкості різання. Зі збільшенням зношування ріжучих елементів температура шліфування підвищується, що може спричинити деформацію заготовки, припикання, структурні зміни та тріщини на обробленій поверхні. Для зниження температури під час шліфування сталей застосовують інтенсивне охолодження.

Мастильно-охолоджувальні рідини сприяють також видаленню абразивного та металевого пилу із повітря та очищенню пор круга від продуктів відходу, підвищують продуктивність і зменшують шорсткість обробленої поверхні. При цьому знижується розм'якшення зв'язки круга, що з'являється у результаті нагрівання.

Поряд із загальними явищами, властивими всім видам лезової обробки, процес шліфування має особливості:

- ріжуча кромка шліфувального круга не суцільна, а переривчаста, оскільки зерна відстоять один від одного на деякій відстані, а величина їх "виступання" різна;
- зерна шліфувального інструменту мають різноманітну у вершинах геометричну форму і довільно розташовані на робочій поверхні круга, що є причиною різного та непостійного значення переднього кута;
- внаслідок наявності пірамідальної та округлої форми ріжучої частини зерна, виникає складна залежність між глибиною та вершиною западин, що утворюються на обробленій поверхні кожним зерном-різцем;
- у процесі роботи шліфувальний круг може самозагострюватися, тобто під дією підвищеного навантаження затуплене зерно може розколотися або найчастіше викришитися зі зв'язки, оголивши нові гострі грані, які й продовжуватимуть різання;
- внаслідок округлення вершин зерна і, відповідно, відсутності процесу різання за наявності сил тиску, виникає велике тертя зерна об поверхню різання і тепловиділення;

- процес зняття стружки зерном відбувається за короткий проміжок часу (0,0001 – 0,00005 с). У результаті процес різання під час шліфування є складнішим за інші види обробки, і створює великі труднощі як під час теоретичного, так і експериментального дослідження процесу.

У зв'язку із перерахованими особливостями процес шліфування має відповідну специфіку призначення та розрахунку елементів режиму різання. При цьому елементи шару, що зрізається, під час шліфування не відносять до кожного ріжучого зерна, а оцінюють сукупно такими параметрами, як глибина різання і подача.

На практичних заняттях студентам пропонується розрахувати та призначити елементи режиму різання під час шліфування східчастого валу та плоскої поверхні. Порівняння за продуктивністю чистового шліфування із відповідними видами лезової обробки некоректне, тому воно не проводиться.

8.1. *Вибір схеми шліфування та обладнання.* Залежно від конструкції деталі, точності й шорсткості поверхні, серійності виробництва та інших умов вибирають схему різання під час шліфування заданої поверхні.

Наприклад, для шліфування східчастого валу використовують схему зовнішнього круглого шліфування в центрах, а для плоскої поверхні – схему плоского шліфування периферією або торцем круга. За інших заданих умов схему шліфування можна вибрати згідно роботи [50] або скористатися матеріалами конспекту лекцій.

У звіті необхідно навести схему шліфування із зазначенням усіх формоутворюючих рухів та елементів режиму різання.

Модель шліфувального верстата вибирають залежно від схеми шліфування та розмірів заготовки [59, табл. 18 – табл. 24, с. 29 – 39].

У звіті необхідно записати:

- назву верстата та його модель;
- найбільші розміри оброблюваної заготовки;
- рекомендовані розміри шліфування;
- швидкість переміщення столу;
- частоту обертання заготовки;
- найбільший діаметр шліфувального круга;
- частоту обертання круга;
- потужність електродвигуна приводу головного руху.

8.2. *Вибір абразивного інструменту.* Під вибором абразивного інструменту розуміють визначення всіх основних хімічних, фізичних та геометричних параметрів: вибір абразивного матеріалу, призначення його зернистості, зв'язки та її твердості, структури абразивного інструменту. Після цього вибирають тип шліфувального круга та його розміри.

Абразивні матеріали застосовують у вигляді ріжучих зерен із різних природних та штучних мінералів. Призначення того чи іншого виду абразивного матеріалу здійснюється залежно від властивостей оброблюваного матеріалу [59, с. 242 – 244].

Абразивні матеріали дроблять у кульових млинах, після чого зерна сортують за розмірами, що коливаються у межах від 3,5 до 2500 мкм. Залежно від розміру зерна встановлюють їхній номер або зернистість. Зерновий склад шліфувальних матеріалів вибирають залежно від точності та шорсткості обробленої поверхні [59, с. 245 – 247].

Для з'єднання зерен у одне ціле застосовують зв'язуючі речовини, так звані "зв'язки". Від зв'язок залежать міцність утримання зерна у крузі та міцність самого круга, під час обертання якого виникають великі відцентрові сили. Зв'язку абразивного інструменту призначають за роботою [59, с. 246 – 248].

Твердість абразивного інструменту – це здатність зв'язки утримувати зерно в інструменті під час дії на нього зовнішніх сил. Чим легше викришується зерно зі зв'язки, тим м'якше інструмент і навпаки.

Твердість – важлива характеристика абразивного інструменту, від якої багато у чому залежать продуктивність та якість обробленої поверхні. Занадто твердий круг сприятиме виникненню припікань на обробленій поверхні або вимагатиме частішої правки, оскільки зерна, що затупилися, не викришуються із твердої зв'язки. Робота затупленими зернами призводить до великої витрати потужності, великого тертя та тепловиділення, що може спричинити не тільки припікання, а й короблення заготовки. Занадто м'який круг обсипатиметься, тобто швидко змінювати форму та розміри. Тому у кожному конкретному випадку обробки потрібен інструмент певної твердості. Слід зазначити, що під час обробки м'яких матеріалів застосовують тверді круги, а під час обробки твердих матеріалів – м'які круги. Твердість абразивного матеріалу призначають за роботою [59, с. 248 – 249].

Структура характеризує будову абразивного інструменту залежно від кількісного співвідношення між зернами, зв'язкою та порами в оди-

ниці об'єму. Абразивний інструмент має 13 основних номерів структур. Номер структури визначає проміжки між зернами. Чим більше номер, тим більше проміжок.

Правильний вибір структури абразивного інструменту сприяє меншому заповненню пор стружкою, а, отже, і підвищенню продуктивності обробки. У разі підвищення номера структури зменшуються припикання обробленої поверхні. Вибрати правильно структуру можна за роботою [59, с. 249 – 250].

Типи шліфувальних кругів, їх форму та розміри вибирають залежно від форми та розмірів оброблюваної поверхні, схеми шліфування і типу верстата [59, с. 252 – 258].

У звіті необхідно навести повне маркування вибраного шліфувального круга і надати його розшифрування. Наприклад, маркування

3950СМ1, К5  
ПП 150×50×65  
30 – 35 м/с

означає, що шліфувальний круг із білого електрокорунду 9, зернистістю 50, середньо-м'який 1, на керамічній зв'язці, структура № 5, плоска форма прямого профілю, із зовнішнім діаметром 150 мм, шириною 50 мм, діаметром посадкового отвору 65 мм; допускається окружна швидкість 30 – 35 м/с.

8.3. *Режими різання та ефективна потужність шліфування.* Швидкість різання  $V$  (у м/с) визначають окружною швидкістю обертання абразивного круга:

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60},$$

де  $D_{кр}$  – діаметр шліфувального круга, мм;

$n_{кр}$  – частота обертів круга, об./хв.

Кінематична швидкість різання повинна бути меншою або дорівнювати допустимій швидкості різання, указаній у маркуванні круга.

Іншими елементами шліфування є: кругова подача заготовки, глибина шліфування, радіальна подача, поздовжня подача вибираються за роботою [59, табл. 55, с. 301 – 302].

Ефективну потужність залежно від схем шліфування розраховують за емпіричними формулами [59, табл. 56, с. 300]. За ефективною потужністю перевіряють достатність потужності приводу головного руху

верстата. При цьому слід зазначити, що к. к. д. шліфувальних верстатів дорівнює  $\eta = 0,9 - 0,95$ .

8.4. *Основний технологічний час.* Основний технологічний час  $T_o$  (у хв) залежить від вибору схеми шліфування. Наприклад, під час зовнішнього круглого шліфування методом поздовжньої подачі основний технологічний час  $T_o$  визначають за залежністю:

$$T_o = \frac{L \cdot h \cdot k}{S_d \cdot B \cdot n_{дет} \cdot t},$$

де  $L$  – довжина ходу стола, мм;

$h$  – припуск на сторону, мм;

$k = 1,2 - 2,5$  – коефіцієнт, що враховує час виходжування;

$S_d$  – дольова подача, мм/об:  $S_d = (0,4 - 0,8)$  1/об. – під час чорнового шліфування;  $S_d = (1,0 - 0,3)$  1/об. – під час чистового шліфування;

$B$  – ширина круга, мм;

$n_{дет}$  – частота обертання оброблюваної деталі, об./хв;

$t$  – глибина різання (поперечна подача  $S_{поп}$ ), мм/подв. хід.

За інших схем шліфування аналогічну залежність можна вивести самостійно. При цьому поздовжню подачу слід призначати як дольову, тобто в одиницях ширини круга на один його оберт або прохід.

## **9. Рекомендації до розроблення високопродуктивних технологічних процесів механічної обробки деталей машин**

### ***Вибір заготовки. Розрахунок припусків і проміжних розмірів.***

Трудомісткість і собівартість механічної обробки тим менші, чим більше форма заготовки наближається до форми готової деталі, чим вище точність розмірів заготовки. У ряді випадків метод отримання заготовки може виключити механічну обробку деяких поверхонь. Разом із тим, точні методи і способи отримання заготовок, як правило, більш коштовні звичайних. Як зазначено раніше, існують наступні методи отримання заготовок: лиття, кування і штампування, прокат, комбінований метод, порошкова металургія. Вибір методу і способу отримання заготовки залежить від її конфігурації, матеріалу, програми випуску, виробничих умов і визначається економічним аналізом.

Важливою вимогою до заготовок є стабільність їх якості (стабільність припусків, твердості, точності, правильності форми). Вона визна-



чає хід технологічного процесу, що особливо важливо для автоматизованого процесу, гнучкого автоматизованого виробництва (ГАП).

У даному випадку як заготовку заданої деталі пропонується прийняти круглий (або шестигранний) прокат (пруток). Для визначення проміжних припусків на механічну обробку можна застосувати розрахунково-аналітичний метод [30].

Згідно цього методу, розрахунок здійснюється за мінімальним припуском із урахуванням наступних чинників: середньої висоти нерівностей поверхні  $(R_z)_{i-1}$  на попередньому переході; глибини дефектного шару  $h_{i-1}$  попереднього переходу; сумарних просторових відхилень  $\Delta_{\Sigma i-1}$  оброблюваної поверхні попереднього переходу щодо базової поверхні заготовки (неспіввісності, непаралельності торцевих поверхонь відносно осі заготовки); похибки установки  $\varepsilon_i$ , яка виникає на виконуваному переході. Передбачається, що на кожному виконуваному переході обробки такі дефекти попередніх переходів як  $(R_z)_{i-1}$ ,  $h_{i-1}$ ,  $\Delta_{\Sigma i-1}$  будуть усунуто повністю або частково (залежно від конкретних умов). Похибки установки  $\varepsilon_i$  усувають на виконуваному переході.

Діаметр круглого прутка визначають за найбільшим діаметром деталі  $d_{0\max}$  із урахуванням припуску на обробку:

$$d_{0\max} = d_{\max} + 2 \cdot Z_{\max}.$$

Значення  $d_{0\max}$  округлюють до найближчого більшого значення діаметра прутка.

**Вибір моделі металорізального верстата і вимірювально-го інструмента.** Для існуючого підприємства вибір металорізального верстата ґрунтується на інформації щодо наявності верстатного парку, виходячи із його технічних можливостей, стану, завантаження. Вибір верстата здійснюють із урахуванням досягнень науки і техніки у верстатобудуванні. Під час вибору верстатів головним критерієм є група устаткування, що визначається видом обробки. Значною мірою вибір верстата визначається типом виробництва. Габаритні розміри, маса, вартість верстата є визначальними під час раціонального проектування робочих площ і виконання монтажних експлуатаційних роботах. У конкретних умовах необхідно враховувати: можливість автоматизації та механізації допоміжних операцій, можливість багатOVERстатного обслуговування, зручність управління, сумісність верстатів із ЧПУ.

Розглянемо приклад: тип металорізального верстата задано – це верстат токарно-револьверний. Для вибору моделі верстата необхідно користуватися паспортами токарно-револьверних верстатів. Основні характеристики токарно-револьверних верстатів можна також узяти із довідкової літератури.

Під час вибору моделі токарно-револьверного верстата слід враховувати такі чинники:

- діаметр прутка є однією із характеристик токарно-револьверного верстата і повинен бути менше діаметра прутка, зазначеного у паспортних даних верстата;
- довжина деталі, яку зазначено у робочому кресленні, впливає на довжину обробки й повинна бути менше зазначеної найбільшої довжини за паспортними даними верстата даної моделі;
- кількість технологічних переходів, за якими визначають необхідний ріжучий інструмент та розподіляють потім за робочими позиціями револьверної головки у послідовності виконання технологічних переходів. За кількістю позицій (гнізд для інструментів) револьверної головки визначають модель токарно-револьверного верстата.

Для виконання кожного технологічного переходу вибирають ріжучий інструмент, що забезпечує задану точність і шорсткість поверхні. При цьому враховують властивості оброблюваного матеріалу, розміри посадкових місць верстата. Як правило, перевагу віддають стандартним інструментам. Для масового виробництва доцільне застосування спеціальних (комбінованих) ріжучих інструментів, які дозволяють здійснювати обробку декількох поверхонь. Перевагу слід віддавати ріжучому інструменту, який виготовлено із високопродуктивного інструментального матеріалу. Після вибору ріжучого інструменту, надають його коротку характеристику, найменування і розмір, марку матеріалу ріжучої частини і код.

Водночас із ріжучим інструментом вибирають вимірювальний інструмент, необхідний для виміру параметрів деталі у процесі її обробки або після неї та указують коротку характеристику, тип і розмір. Вимірювальний інструмент вибирають залежно від виду вимірюваної поверхні та необхідної точності обробки. Перспективним є застосування засобів активного контролю, які дозволяють, використовуючи зворотний зв'язок, здійснювати коригування технологічного процесу.

**Складання переліку технологічних переходів і визначення послідовності їх виконання.** Перелік технологічних процесів складається на основі обробки елементарних поверхонь деталі. Найменування технологічного переходу залежить від виду елементарної поверхні. Наприклад, обробка торця формулюється: "Підрізати торець..."; обробка уступу – "Точити уступ ..., витримавши розмір..." та ін.



У процесі визначення послідовності виконання технологічних переходів слід керуватися такими рекомендаціями:

- спочатку підрізати торець заготовки;
- якщо існує внутрішня циліндрична поверхня, то свердлити отвір центровим свердлом;

- на чорнових і обдирних переходах прагнути зняти велику частину припуску і напуску;
- для збільшення жорсткості деталі необхідно закінчувати операцію обробкою найбільшої ступені зовнішньої циліндричної поверхні;
- під час обробки східчастих внутрішніх поверхонь із метою збільшення продуктивності обробки необхідно спочатку обробляти поверхні більших, а потім менших діаметрів.

**Вибір режимів різання.** Режими різання включають такі основні елементи: глибину різання; подачу мм/об.; швидкість різання  $V$ , м/хв., або частоту обертання шпинделя верстата  $n$ , об./хв.

Узагальнено вибір величин елементів різання та параметрів ріжучого інструменту виконують у такому порядку [30]:

- вибирають глибину різання залежно від припуску на обробку і кількість проходів;
- вибирають матеріал і геометрію ріжучої частини інструменту;
- визначають подачу: під час чорнової обробки вибирають максимально можливу для даного верстата подачу, під час чистової обробки подачу вибирають, виходячи із заданої шорсткості оброблюваної поверхні, і коректують її за паспортними даними верстата;
- вибирають період стійкості ріжучого інструменту за нормативами;
- визначають швидкість різання, виходячи із нормативів, або розраховують за формулами теорії різання. За знайденою швидкістю різання визначають частоту обертання шпинделя і коректують її за паспортними даними верстата. За скоректованим значенням частоти обертання шпинделя знаходять дійсне значення швидкості різання. Потім визначають основний час. Для зменшення основного часу необхідно прагнути, щоб добуток  $n \cdot S$  був максимальним із можливих для даного верстата величин  $n$  і  $S$ ;
- визначають складові сили різання і крутильний момент на шпинделі верстата;
- визначають потужність різання  $N_p$  і перевіряють умову  $N_p < N_e$ , де  $N_p$  – потужність різання;  $N_e$  – потужність привода верстата. Якщо ця умова не виконується, то зменшують швидкість різання.

**Розроблення схеми технологічної наладки.** Креслення схеми технологічної наладки виконують на аркушах формату А4. Заготовку (пруток) показують у робочому положенні у процесі обробки її на верс-

таті із схематичною указівкою цангового затиску (можна показати тільки на першій позиції). На інших позиціях встановлювально-затискні деталі пристосування не показують. Оброблювані поверхні обводять жирною лінією (2,5 ... 3)·S, де S – товщина суцільної лінії. На оброблених поверхнях слід показати розміри і позначити шорсткість поверхні. Напрям робочих рухів ріжучого інструменту показують за допомогою циклограми рухів. Ріжучий інструмент показують на завершальному етапі обробки.

Кожне креслення наладки супроводжується надписами: у правому верхньому куті – назва і модель верстата; у правому нижньому куті – табличка із режимами різання для кожного переходу і кутовий надпис.

### **Контрольні питання**

1. Сформулюйте загальну методику розрахунку елементів режимів різання під час точіння.
2. Як розрахувати подачу та швидкість різання під час точіння за обмежуючими чинниками?
3. Сформулюйте загальну методику розрахунку елементів режимів різання під час свердління та розсвердлювання.
4. Як розрахувати швидкість різання, крутний момент і осьову силу різання під час свердління?
5. Як розрахувати режими різання та ефективну потужність під час шліфування?
6. Як розрахувати основний технологічний час під час фрезерування?
7. Як визначити режими різання під час стругання?
8. Необхідно здійснити обробку точінням партію заготовок у кількості 15 штук. На якому верстаті ефективніше здійснити обробку: на універсальному чи верстаті із ЧПУ і чому?
9. Як можна отримати більш точну заготовку та зменшити припуски під механічну обробку?
10. Який із параметрів: якість обробки чи точність обробки є більш загальним?
11. Які три параметри точності потрібно забезпечити під час остаточної обробки деталі?
12. Обробляється точінням вал довжиною  $L = 700$  мм із швидкістю поздовжньої подачі  $S = 5$  м/хв за  $l = 2$  проходи різця. Визначте основний час обробки валу.

## **Робота 11. Статистичний аналіз точності операцій механічної обробки**

**Мета роботи** – ознайомлення студентів із методом оцінювання погрішностей механічної обробки.

### ***Загальні відомості***

#### **Сутність статистичного аналізу точності операцій механічної обробки**

Точність деталі визначається відповідністю її вимогам креслення за розмірами, геометричною формою, правильністю взаємного розташування оброблюваних поверхонь та їхньої шорсткості. Наявні методи досягнення точності супроводжуються різного роду погрішностями, що виникають під час виготовлення заготовок, обробки різанням, контролі, складанні та інших видах обробки [34].

Погрішність обробки розглядається як міра точності та становить відхилення отриманого значення параметра від заданого значення.

Погрішності, що виникають у процесі обробки на металорізальних верстатах, можуть мати систематичний або випадковий характер. Систематичні погрішності, своєю чергою, можна розділити на постійні та ті, що закономірно змінюються.

Причини появи систематичних постійних погрішностей можуть бути такі: погрішності виготовлення та компонування верстата, погрішності ріжучого інструменту, пристосувань, системи автоматизованого управління обробкою (наприклад, управляючої програми для верстата із числовим програмним управлінням (ЧПУ)) та ін. Постійні погрішності не змінюються під час обробки партії заготовок і виявляються пробними вимірами.

Функціональні погрішності впливають на точність обробки безупинно або періодично за певними законами. Причинами таких погрішностей є: розмірне зношування ріжучого інструменту, експлуатаційне зношування верстата, жорсткість технологічної системи (верстат – пристосування – інструмент – деталь), температурні явища у зоні різання, умови тертя, коливань тощо.

Випадкові погрішності виникають під впливом на процес обробки ряду незалежних один від одного випадкових чинників. Такі погрішності

у партії заготовок мають різні значення, причому їхня поява не підкоряється видимій закономірності.

Випадковими чинниками можуть бути: неточність установаження заготовки у пристосуванні, коливання елементів технологічної системи, викликані нестабільністю сил різання (через коливання твердості матеріалу, припусків та ін.), залишкові напруження після попередньої обробки та ін.

Вплив випадкових чинників виражається у розсіюванні розмірів конкретного параметра досліджуваної партії деталей, оброблюваних за тих самих умов. Отже, дійсні розміри кожної деталі в оброблюваній партії є випадковими величинами та можуть набувати будь-яких значень у межах певного інтервалу.

Сукупність значень дійсних розмірів деталей  $n$ , оброблених за незмінних умов і розташованих у зростальному порядку із указівкою частоти  $m_i$  повторення цих розмірів, називають *розподілом розмірів* деталей. Вимірювані значення цих розмірів деталей розбивають на інтервали та розряди  $N$ .

*Частість* – це відношення кількості деталей, дійсні розміри яких потрапили у заданий інтервал  $m_i$ , до загальної кількості деталей партії:  $m_i / n$ .

За різних умов обробки деталей розсіювання (розподіл) їхніх дійсних розмірів підкоряється різним математичним законам: нормального розподілу (закон Гаусса), рівнобедреного трикутника (закон Симпсона), рівної імовірності, закону ексцентриситету (закон Релея) та ін.

Найбільш частий розподіл дійсних розмірів деталей, оброблених на налаштованих верстатах, підкоряється *закону нормального розподілу*, рівняння кривої якого має вигляд:

$$y = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(L_i - L_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (11.1)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\sum (L_i - L_{cp})^2 \cdot \frac{m_i}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum (L_i - L_{cp})^2 \cdot m_i}; \quad (11.2)$$

$L_i$  – поточний розмір;

$L_{cp}$  – середнє арифметичне значення дійсних розмірів деталей цієї партії:

$$L_{\text{ср}} = \sum L_i \cdot \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum L_i \cdot m_i, \quad (11.3)$$

$m_i$  – частота (кількість деталей цього інтервалу розмірів);

$n$  – кількість деталей у партії.

Аналіз рівняння (11.3) показує, що крива нормального розподілу (рис. 11.1) симетрична відносно вісі ординат і асимптотично наближається до вісі абсцис.

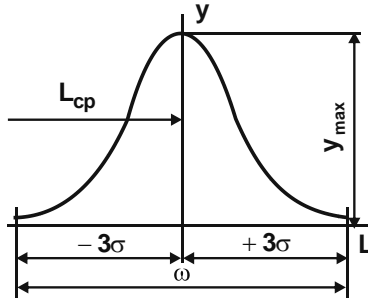


Рисунок 11.1 – Крива нормального розподілу

За умови  $L_i = L_{\text{ср}}$  крива нормального розподілу має максимум

$$y_{\text{max}} = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}.$$

На відстані  $\pm 3\sigma$  від положення вершини кривої її гілки так близько підходять до вісі абсцис, що у цих межах виявляється 99,73 % площі, що розміщується між всією кривою та віссю абсцис. На практиці, звичайно, приймають, що на відстані  $\pm 3\sigma$  від положення вершини кривої нормального розподілу її гілки перетинаються із віссю абсцис, обмежуючи 100 % площі між кривою і віссю. Виникаюча за цих умов погрішність становить 0,27 % і практичного значення не має.

У разі збільшення  $\sigma$  значення найбільшої ординати  $y_{\text{max}}$  зменшується, а поле розсіювання  $\omega = 6 \cdot \sigma$  зростає, у результаті чого крива стає більше пологою та низькою, що указує на велике розсіювання розмірів і меншу точність. Отже, середнє квадратичне відхилення – міра розсіювання і точність.

За даними безпосередніх вимірів і розрахунків за формулою, по-грішність визначення середнього квадратичного відхилення, позна-



чуваного у цьому випадку  $S$ , залежить від загальної кількості  $n$  вимірюваних деталей і в окремих випадках достатньо значна. Виходячи із цього, для запобігання можливої появи браку доцільно під час використання формули

$$\omega = 6 \cdot \sigma \quad (11.4)$$

використати наступне співвідношення:

$$\sigma = p \cdot S, \quad (11.5)$$

де  $S$  – середнє квадратичне відхилення, яке обумовлене на підставі даних вимірів партії деталей:

$$S = \sqrt{\sum (L_i - L_{cp})^2 \cdot \frac{m_i}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum (L_i - L_{cp})^2 \cdot m_i}; \quad (11.6)$$

$p$  – коефіцієнт, що урахує погрішність визначення середнього квадратичного відхилення за малих розмірів партії вимірюваних деталей.

Найбільша погрішність  $\Delta S$  під час визначення  $S$  у відсотках до середнього квадратичного відхилення  $\sigma$  генеральної сукупності й значення поправочного коефіцієнта  $p$  за різної кількості деталей подано у табл. 11.1.

Таблиця 11.1 – Значення погрішності  $\Delta S$   
та поправочного коефіцієнта  $p$

$n$ , шт.	$\Delta S$ , %	$p$	$n$ , шт.	$\Delta S$ , %	$p$
25	42,4	1,4	200	15,0	1,15
50	30,0	1,3	300	12,2	1,12
75	25	1,25	400	10,6	1,11
100	21,2	1,2	500	10,0	1,1

Математичні закони розподілу розмірів використовують на практиці для встановлення надійності проектованого технологічного процесу, розрахунку економічної доцільності його застосування.

Розрахунок імовірнісної кількості придатних і бракованих деталей під час механічної обробки у випадку, коли розсіювання дійсних розмірів деталей підкоряється закону нормального розподілу, виконується у такий спосіб.

Припустимо, що поле допуску  $T$  встановлено двома розмірами  $x_1$  і  $x_2$  границь цього допуску від центра групування (рис. 11.2).

Імовірнісна кількість придатних деталей визначається у цьому випадку відношенням суми площ ( $F_1 + F_2$ ) до площі  $F$ , розташованої між кривою та віссю абсцис. Зі зменшенням допуску відношення площ і імовірнісна кількість придатних деталей зменшується, за його значного розширення – наближається до одиниці. У цьому граничному випадку всі деталі стають придатними.

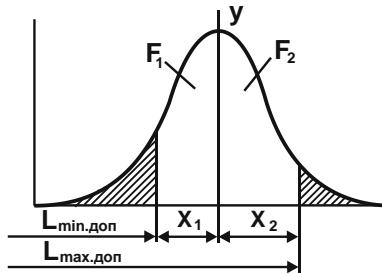


Рисунок 11.2 – Кількість імовірного браку у випадку несиметричного розташування допуску

За симетричного розташування кривої розподілу відносно вісі ординат, площа лівої заштрихованої ділянки визначається:

$$F_1 = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{x_1} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (11.7)$$

Відповідно, площа правої заштрихованої ділянки визначається:

$$F_2 = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{x_2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (11.8)$$

Ці інтеграли подають як нормовану функцію Лапласа  $\Phi(t)$  за умови  $t = x/\sigma$ :

$$F_1 = \Phi(t_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{t_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt; \quad (11.9)$$

$$F_2 = \Phi(t_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (11.10)$$

Імовірність одержання придатних деталей визначається:

$$Q = (F_1 + F_2) = \Phi(t_1) + \Phi(t_2). \quad (11.11)$$

Імовірність одержання браку визначається:

$$W = 1 - (F_1 + F_2) = 1 - [\Phi(t_1) + \Phi(t_2)]. \quad (11.12)$$

Встановлення надійності забезпечення необхідної точності обробки деталі (обробки без браку) характеризується запасом точності. *Запас точності* конкретної технологічної операції визначається:

$$\psi = \frac{T}{\omega}, \quad (11.13)$$

де  $T$  – допуск на обробку деталі;

$\omega$  – фактичне поле розсіювання розмірів деталі (за нормального розподілу  $\omega = 6 \cdot \sigma$ ).

За умови  $\psi \geq 1,2$  процес обробки вважається надійним. Взагалі для всіх законів розподілу розмірів умовою обробки деталі без браку є  $\psi = T/\omega > 1$ . Це указує на те, що поле фактичного розсіювання розмірів повинне бути менше встановленого допуску.

Однак аналіз форми кривої нормального розподілу показує, що навіть за суттєвого виходу її гілок за межі поля допуску ( $6 \cdot \sigma > T$ ) імовірнісна кількість бракованих деталей незначна. Конкретні приклади показують, що навіть у випадках перевищення поля розсіювання допуску у 1,5 рази (запас точності  $\psi = T/6 \cdot \sigma = 0,67 < 1$ ) кількість бракованих деталей менше 5 %. Це дозволяє на практиці обробки застосовувати недостатньо точні, але високопродуктивні верстати із відомим допущенням незначної кількості браку.

### Порядок виконання роботи

1. За вихідним даними (результатам вимірів партії, що складає 50 деталей (табл. 11.2)) визначається діапазон розподілу (поле розсіювання):

$$\omega = d_{n,\max} - d_{n,\min}$$

2. Діапазон розбивається на декілька рівних інтервалів. Число інтервалів  $N$  залежить від кількості деталей  $n$  у партії: для  $n = 50 \dots 100$  шт.,  $N = 5 \dots 7$ ; для  $n > 100$  шт.,  $N = 7 \dots 14$ . Крім того, число інтервалів вибирається таким, щоб ціна інтервалу була більше ціни розподілу вимірювального інструменту (із метою зменшення впливу погрешності виміру). Ціна інтервалу дорівнює:  $C = \frac{\omega}{N}$ .

3. Установлюються границі інтервалів:

для першого ( $N_1$ ) –  $d_{н.мін} \dots d_{н.мін} + C$ ;

для другого ( $N_2$ ) –  $(d_{н.мін} + C) + C \dots d_{н.мін} + 2 \cdot C$  і т. д.

Таблиця 11.2 – Значення номінального розміру (за кресленням) отвору та фактичного розміру отвору (після обробки)

п/п	Номер варіанта завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Номінальний розмір (за кресленням) отвору, мм									
	20 <sup>+0,023</sup>	25 <sup>+0,033</sup>	32 <sup>+0,015</sup>	36 <sup>+0,039</sup>	40 <sup>+0,050</sup>	45 <sup>+0,34</sup>	50 <sup>+0,17</sup>	56 <sup>+0,2</sup>	63 <sup>+0,60</sup>	16 <sup>+0,12</sup>
Фактичний розмір отвору (після обробки), мм										
1	20,02	25,01	32,000	36,039	40,04	45,17	50,20	56,00	63,00	16,07
2	20,01	25,01	32,001	36,023	40,00	45,36	49,97	56,23	63,60	16,04
3	20,00	25,02	32,025	36,021	39,99	44,98	49,98	55,99	63,30	16,06
4	20,01	25,01	32,012	36,015	40,02	45,10	50,10	56,09	63,03	16,11
5	19,99	25,01	32,003	36,042	40,02	45,16	50,02	56,04	63,56	16,09
6	20,00	25,02	32,007	35,999	40,03	45,35	50,17	56,11	63,33	16,07
7	20,02	25,00	31,998	36,010	40,01	45,34	50,15	56,04	63,26	16,03
8	20,01	24,99	32,021	36,038	40,01	45,16	50,10	56,09	63,43	16,05
9	20,01	25,00	32,010	36,036	40,04	45,17	50,08	56,08	63,48	16,06
10	20,02	25,00	32,005	36,030	40,04	45,10	50,19	56,11	63,30	16,12
11	20,01	25,00	32,003	36,033	40,01	45,19	50,07	56,08	63,36	16,04
12	20,01	25,01	32,007	36,015	40,03	45,28	50,08	56,09	62,99	16,07
13	20,00	24,99	32,002	36,021	40,05	45,07	50,10	56,22	63,13	16,08
14	20,00	25,03	31,998	36,036	40,05	45,04	50,07	56,20	63,06	16,02
15	20,01	25,02	32,020	36,038	40,02	45,16	50,18	56,11	63,10	16,06
16	20,01	25,00	32,009	36,023	40,04	45,17	50,09	56,19	63,30	16,03
17	19,99	25,00	32,014	36,041	40,02	45,19	50,07	56,09	63,33	16,05
18	20,00	25,01	32,007	35,998	40,03	44,99	50,17	56,08	63,19	16,08
19	20,01	25,00	32,012	36,010	40,03	45,07	50,08	56,19	63,26	16,07
20	20,02	25,03	32,002	36,021	40,01	45,32	50,09	56,11	63,48	16,10
21	20,00	25,01	32,009	36,033	40,01	45,16	50,18	56,21	63,36	16,04
22	20,01	25,03	32,014	36,030	40,05	45,02	50,05	56,02	63,61	16,09
23	19,99	25,01	32,009	36,026	40,03	45,19	50,19	56,08	63,33	16,06
24	20,02	25,03	32,003	36,012	40,02	45,17	50,15	56,11	63,30	16,08
25	20,01	25,03	32,007	36,026	40,01	45,13	50,08	56,13	63,26	16,10
26	20,01	25,01	32,005	36,023	40,02	45,00	50,14	56,04	63,56	16,07
27	20,01	25,03	32,010	36,033	40,03	45,24	50,04	56,15	63,43	16,03
28	20,01	25,03	32,015	36,010	40,01	45,16	50,10	56,08	63,13	16,05
29	20,00	25,03	32,007	36,021	40,05	45,07	50,12	56,09	63,30	16,06
30	20,00	25,01	31,995	36,015	40,03	45,22	50,09	56,13	63,36	16,08
31	20,01	25,01	32,005	36,026	40,03	45,17	50,00	56,15	63,26	16,04
32	20,011	25,025	32,012	36,040	40,004	45,19	50,16	56,04	63,19	16,05
33	20,024	25,014	32,020	36,019	40,040	45,01	50,12	56,16	62,99	16,10
34	20,014	25,025	32,007	36,000	40,018	45,18	50,05	56,11	63,33	16,09
35	20,009	25,002	32,002	36,012	40,014	45,30	49,99	56,16	63,48	16,06

## Продовження табл. 11.2

36	20,012	25,030	32,007	36,021	40,025	45,13	50,09	56,06	63,30	16,02
37	20,011	25,010	31,992	36,019	40,030	45,22	50,15	56,17	63,08	16,07
38	20,016	25,002	32,005	36,023	40,022	45,04	50,10	56,09	63,26	16,05
39	20,024	25,038	32,007	36,006	40,004	45,18	50,16	56,13	63,10	16,01
40	20,014	25,014	32,003	36,019	40,051	45,22	49,99	56,17	62,98	16,06
41	20,016	25,022	32,009	36,006	40,033	45,18	50,05	56,06	63,10	16,00
42	20,009	25,022	32,005	36,015	39,998	45,17	50,14	56,13	63,18	16,09
43	20,012	25,031	32,007	36,030	40,043	45,18	50,04	56,17	63,30	16,05
44	20,016	25,020	32,009	36,000	40,002	45,13	50,10	56,16	63,13	16,01
45	20,011	25,022	32,015	36,003	40,030	45,24	50,12	56,15	63,43	16,06
46	20,007	25,014	32,010	36,019	40,025	45,18	50,18	56,06	63,26	16,02
47	20,014	25,025	32,007	36,003	40,002	45,13	50,09	56,15	63,36	16,11
48	20,016	25,030	32,009	36,012	40,043	45,24	50,14	56,13	63,33	16,03
49	19,998	25,032	32,010	36,026	40,018	45,10	50,12	56,01	63,19	16,08
50	20,000	25,014	32,005	36,023	40,002	45,28	50,09	56,06	63,62	16,05

4. Визначаються середини інтервалів:

$$d_1 = d_{н.мин} + \frac{C}{2};$$

$$d_2 = d_1 + C;$$

$$d_i = d_{i-1} + C.$$

5. Підраховується частота  $m_i$  як кількість значень розмірів, що попадають у кожний інтервал. Якщо значення розміру збігається із границею суміжних інтервалів, то кожному додають по 0,5.

6. Визначається частість як відношення  $m_i/n$  для кожного інтервалу.

7. Результати заносять у табл. 11.3.

Таблиця 11.3 – Результати розрахунків  $d_i$ ,  $m_i$ ,  $m_i/n$ ,  $d_i \cdot m_i$

Номер	Інтервал			Частота $m_i$	Частість $m_i/n$	$d_i \cdot m_i$
	Величина		Середина $d_i$			
	від	до				
1						
2						
...						
N						

$$\sum m_i = n \cdot \sum d_i \cdot m_i.$$

8. За цими результатами будується емпірична крива розподілу (рис. 11.3).

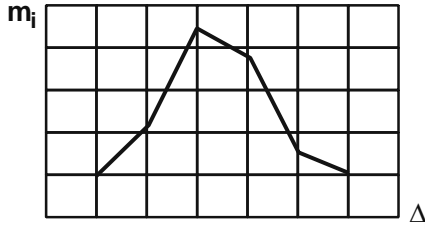


Рисунок 11.3 – Емпірична крива розподілу розмірів деталей

9. Визначаються статистичні характеристики отриманого розподілу розмірів деталей:

- середнє арифметичне значення вимірюваної величини:

$$d_{cp} = \sum d_i \cdot \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \sum d_i \cdot m_i ;$$

- середнє квадратичне відхилення  $\sigma$ , емпірична величина якого

$$S = \sqrt{\sum (d_i - d_{cp})^2 \cdot \frac{m_i}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (d_i - d_{cp})^2 \cdot m_i} .$$

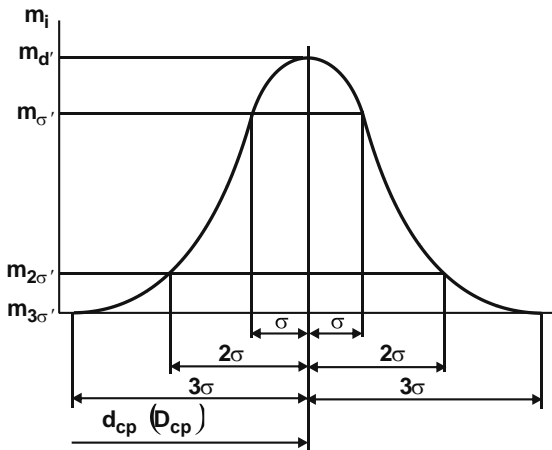


Рисунок 11.4 – Теоретична крива нормального розподілу

Теоретична величина середнього квадратичного відхилення визначається формулою:

$$\sigma = P \cdot S.$$

Якщо  $n = 50$  вимірів, то  $P = 1,3$  (табл. 11.1). Тоді, виходячи із наведеної формули  $\sigma = 1,3 \cdot S$ .

10. Будується теоретична крива нормального розподілу (рис. 11.4) за характерними точками (табл. 11.4).

Таблиця 11.4 – Дані для побудови теоретичної кривої нормального розподілу

Показники	Абсциса кривої		Ордината кривої	
	позначення	значення величини	позначення	значення величини
Вершина кривої	$d_{cp}$		$m'_d = 0,4 \frac{n \cdot c}{\sigma}$	
Точка перегину	$d_{cp} \pm \sigma$		$m'_\sigma = 0,24 \frac{n \cdot c}{\sigma}$	
Точка перегину	$d_{cp} \pm 2\sigma$		$m'_{2\sigma} = 0,054 \frac{n \cdot c}{\sigma}$	
Точка перегину	$d_{cp} \pm 3\sigma$		$m'_{3\sigma} = 0$	

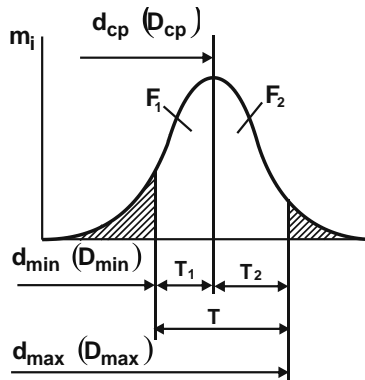


Рисунок 11.5 – Кількість імовірнісного браку за результатами вимірювань

11. На побудовану теоретичну криву  $m'(d)$  наноситься поле допуску деталі Т, зазначеного на кресленні деталі (або у вихідних даних, табл. 11.2). Заштриховуються площі під кривою, що виходять за лінії, обмежені полем допуску (рис. 11.5).

Таблиця 11.5 – Значення функції Лапласа

t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)
0,00	0,0000	0,38	0,1480	1,05	0,3531
0,01	0,0040	0,39	0,1517	1,10	0,3643
0,02	0,0080	0,40	0,1554	1,15	0,3749
0,03	0,0120	0,41	0,1591	1,20	0,3849
0,04	0,0160	0,42	0,1628	1,25	0,3944
0,05	0,0199	0,43	0,1664	1,30	0,4032
0,06	0,0239	0,44	0,1700	1,35	0,4115
0,07	0,0279	0,45	0,1736	1,40	0,4192
0,08	0,0319	0,46	0,1772	1,45	0,4265
0,09	0,0359	0,47	0,1808	1,50	0,4332
0,10	0,0398	0,48	0,1844	1,55	0,4394
0,11	0,0438	0,49	0,1879	1,60	0,4452
0,12	0,0478	0,50	0,1915	1,65	0,4505
0,13	0,0517	0,52	0,1985	1,70	0,4554
0,14	0,0557	0,54	0,2054	1,75	0,4599
0,15	0,0596	0,56	0,2123	1,80	0,4641
0,16	0,0636	0,58	0,2190	1,85	0,4678
0,17	0,0675	0,60	0,2257	1,90	0,4713
0,18	0,0714	0,62	0,2324	1,95	0,4744
0,19	0,0753	0,64	0,2389	2,00	0,4772
0,20	0,0793	0,66	0,2454	2,10	0,4821
0,21	0,0832	0,68	0,2517	2,20	0,4861
0,22	0,0871	0,70	0,2580	2,30	0,4893
0,23	0,0910	0,72	0,2642	2,40	0,4918
0,24	0,0948	0,74	0,2703	2,50	0,4938
0,25	0,0987	0,76	0,2764	2,60	0,4953
0,26	0,1026	0,78	0,2823	2,70	0,4965
0,27	0,1064	0,80	0,2881	2,80	0,4974
0,28	0,1103	0,82	0,2939	2,90	0,4981
0,29	0,1141	0,84	0,2995	3,00	0,49865
0,30	0,1179	0,86	0,3051	3,20	0,49931
0,31	0,1217	0,88	0,3106	3,40	0,49966
0,32	0,1255	0,90	0,3159	3,60	0,499841
0,33	0,1293	0,92	0,3212	3,80	0,499928
0,34	0,1331	0,94	0,3264	4,00	0,499968
0,35	0,1368	0,96	0,3315	4,50	0,499997
0,36	0,1406	0,98	0,3365	5,00	0,49999997
0,37	0,1443	1,00	0,3413		



За цим визначають координати:

$$T_1 = d_{\min} - d_{\text{ср}} \quad (T_1 = D_{\min} - D_{\text{ср}});$$

$$T_2 = d_{\max} - d_{\text{ср}} \quad (T_2 = D_{\max} - D_{\text{ср}}),$$

де  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$ ,  $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$  – відповідно, найменші та найбільші граничні розміри деталі (валу або отвору) за кресленням (табл. 11.2).

12. За допомогою функції Лапласа  $\Phi(t)$ , значення якої занесено до табл. 11.5, розраховується імовірність одержання придатних деталей (їхня кількість пропорційна площі під кривою нормального розподілу, обмеженої за віссю абсцис допусками  $T_1 + T_2$ ):

$$Q = F_1 + F_2 = \Phi(t_1) + \Phi(t_2);$$

де  $t_1 = T_1/\sigma$ ,  $t_2 = T_2/\sigma$  – нормовані параметри розподілу (коефіцієнти ризику).

Імовірність появи браку:

$$W = 1 - [\Phi(t_1) + \Phi(t_2)].$$

Імовірність появи поправного браку:

$$W_{\text{попр}} = 0,5 - \Phi(t_2) \text{ – для валів};$$

$$W_{\text{попр}} = 0,5 - \Phi(t_1) \text{ – для отворів}.$$

Імовірність появи непоправного браку:

$$W_{\text{непопр}} = 0,5 - \Phi(t_1) \text{ – для валів},$$

$$W_{\text{непопр}} = 0,5 - \Phi(t_2) \text{ – для отворів}.$$

13. Визначається запас точності обробки:

$$\psi = \frac{T}{\omega}.$$

14. За результатами роботи формулюються висновки.

### Контрольні питання

1. Як визначають середнє квадратичне відхилення закону нормального розподілу?
2. Як розраховують середнє арифметичне значення вимірюваної величини?
3. Як визначають діапазон розподілу (поле розсіювання) вимірів партії деталей?
4. Як визначають імовірність одержання поправного браку та непоправного браку?
5. Як будують теоретичну криву нормального розподілу?
6. Як установлюють границі допуску на кривій розподілу?

## Робота 12. Вимірювальні інструменти та прилади

**Мета роботи** – ознайомити студентів із універсальними вимірювальними інструментами і приладами, набуття навичок вимірювання.

### *Загальні відомості*

#### **Штангенінструменти**

*Штангенциркуль* призначено для зовнішніх і внутрішніх вимірів, а також для виміру глибини й розмітки. Межі вимірів 0-150, 0-200, 0-300, 0-500, 0-800 і т.д. до 0-3000 мм.

Ціна поділки за ноніусом – 0,1; 0,05; рідше – 0,02 мм.

Штангенциркуль (рис. 12.1,а) складається із штанги 1 прямокутного перетину, виконаної як одне ціле із нерухомими губками 9 і 10; рамки 3 із губками 2 і 8, що переміщається уздовж штанги; висувної ніжки 7 (глибиноміра), з'єднаної із рамкою 3. Мікрометрична подача складається із стопорних гвинтів 4 і гайки 6, зв'язаної через гвинт із рамкою 3. На штанзі нанесено основну шкалу із міліметровими поділками, а на скосі рамки 3 – додаткову шкалу 5 (ноніус), призначену для відліку часток міліметра.

Губки 2 і 10 призначено для виміру зовнішніх розмірів і розмітки, а губки 8 і 9 – для виміру внутрішніх розмірів.

Характерним для всіх штангенінструментів є наявність додаткової шкали – ноніуса. Найпростіший ноніус має 10 поділок. Зі зведеними між собою вимірювальними поверхнями губок відлік за шкалою та ноніусом дорівнює нулю.

У цьому положенні нульовий (крайній лівий) штрих ноніуса збігається із нульовим штрихом основної шкали, а останній десятий штрих ноніуса – із дев'ятим штрихом шкали. Таким чином, загальна довжина ноніуса дорівнює 9 мм, а відстань між двома штрихами ноніуса (інтервал поділок) дорівнює 0,9 мм, тобто на 0,1 мм менше інтервалу розподілів основної шкали.

Для визначення величини зміщення достатньо встановити, який штрих ноніуса збігається із одним із штрихів шкали, і помножити порядковий номер цього штриха на 0,1 мм. При цьому слід пам'ятати, що крайній лівий штрих ноніуса – це нульовий штрих, а слідуючий за ним – перший штрих, потім другий штрих тощо (рис. 12.1,б).

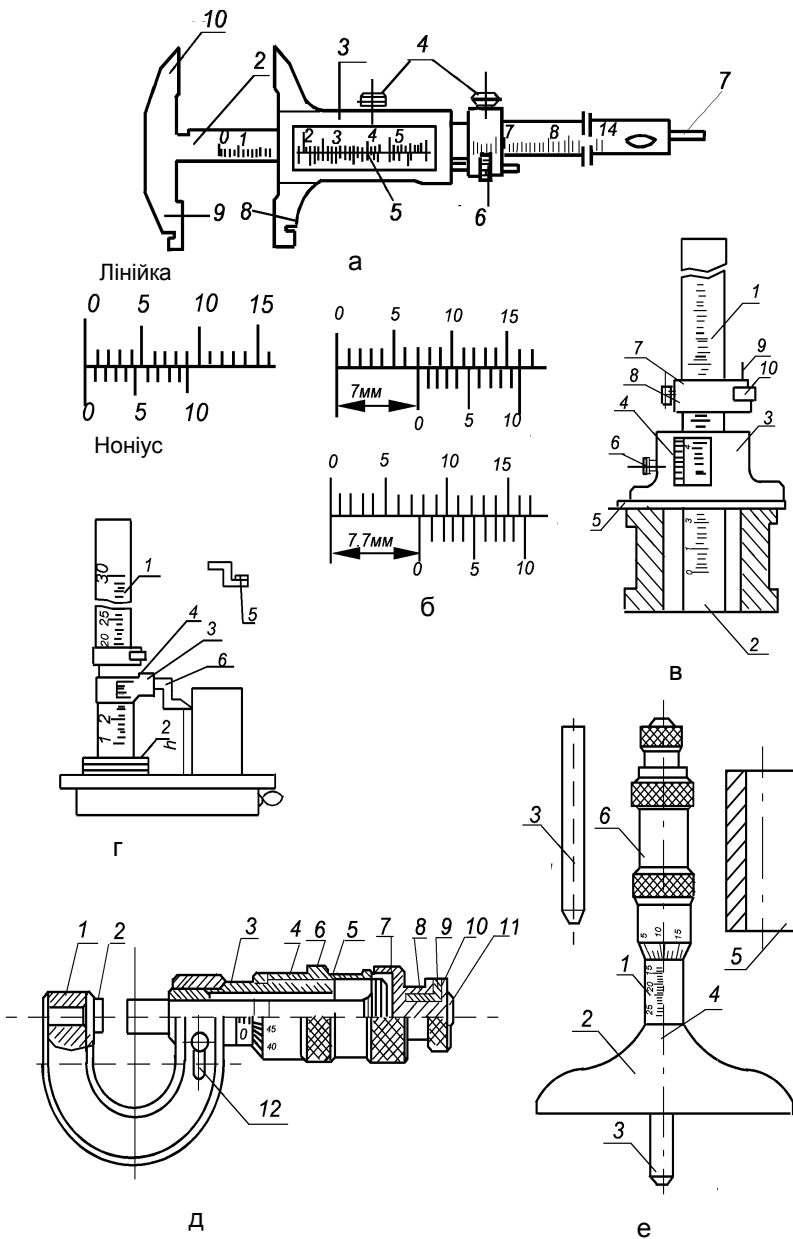


Рисунок 12.1 – Штангенінструменти

Порядок відліку показань:

- ціле число міліметрів відлічується за основною шкалою, розташованою на штанзі ліворуч і праворуч, та знаходиться між нульовими штрихами шкали і ноніуса;
- дробова величина (кількість десятих часток міліметра) визначається множенням величини відліку за ноніусом (0,1; 0,05 і 0,02 мм) на порядковий номер штриха ноніуса, що збігається зі штрихом штанги;
- результатом відліку вважаються сума цілих міліметрів і частини міліметра.

Примітка. У вимірювальних інструментах (штангенглибиномірі, штангенрейсмасі) побудова ноніуса однакова із побудовою ноніуса штангенциркуля.

*Штангенглибиномір* (рис. 12.1,в) призначено для виміру глибини отворів, висоти, відстаней до буртиків або виступів. Діапазон вимірів штангенглибиномірів 0-160, 0-200, 0-250, 0-315, 0-400 мм із величиною відліку за ноніусом 0,1 мм і 0,05 мм. Вимір штангенглибиноміром забезпечує більшу точність, чим вимір за допомогою лінійки глибиноміра штангенциркуля. Штангенглибиномір має штангу 1 із доведеною вимірювальною поверхнею 2. Рухлива рамка 3 із ноніусом 4 має опорну вимірювальну поверхню 5. Гвинт 6 забезпечує жорстке з'єднання штанги із опорною поверхнею. Рамка 7 гвинтом 8 жорстко кріпиться до штанги, а за допомогою різьбової вставки 9 і гайки 10 забезпечує мікрометричне переміщення ноніуса. Вимірювальні поверхні глибиноміра – торцева поверхня штанги 1 і площина основи рамки.

Відлік показань проводиться аналогічно відліку під час виміру штангенциркулем.

*Штангенрейсмас* (рис. 12.1,г) застосовують для виміру висот і розмітки виробів, установлених на плиті. Діапазон вимірів штангенрейсмасів 0-250, 40-400 мм із відліком за ноніусом 0,05, 60-630 (відлік за ноніусом 0,05 і 0,1 мм), 100-1000, 600-1600, 1500-2500 мм (відлік за ноніусом 0,1 мм). Виліт вимірювальних губок штангенрейсмасів 50-160 мм. Штанга штангенрейсмаса 1 установлена в масивній підставі 2. Рамка 3 із ноніусом має кронштейн, на якому гвинтом 4 закріплюється вимірювальна 5 або розмічальна 6 ніжки. Відлік за шкалою й ноніусом дає значення відстані від нижньої площини ніжки до нижньої площини підстави штангенрейсмаса. Техніка відліку вимірів аналогічна виміру штангенциркулем.

## Мікрометричний інструмент

У машинобудуванні широко застосовують мікрометричні інструменти загального призначення: мікрометри, мікрометричні глибиноміри й нутроміри. Метод виміру прямий, абсолютний.

*Мікрометри* призначено для виміру зовнішніх поверхонь. Промисловістю випускають гладкі мікрометри типу МК із межами вимірів 0-25 мм, 25-50 мм, 50-75 мм тощо, верхня межа вимірів 600 мм. Ціна поділки 0,01 мм. Мікрометри із верхньою межею понад 300 мм мають змінну або пересувну п'яту для збільшення діапазону вимірів до 50 мм.

Основний конструктивний елемент мікрометричного інструмента – гвинтова пара, що перетворює обертовий рух мікрометричного гвинта у поступальний рух. На рис. 12.1,д представлено мікрометр у розрізі. Він складається із скоби 1, із якою нерухомо з'єднані п'ятка 2 і стебло 3. На правому кінці стебла нарізане циліндричне та зовнішнє конічне різьблення. На всій довжині різьблення стебло має три рівномірно розташовані поздовжні прорізи. Усередині стебла уздовж різьблення переміщається мікрометричний гвинт 4, на зовнішнє конічне різьблення наворачується гайка 5, призначена для усунення мертвого ходу гвинта. На стебло надівається барабан 6, жорстко з'єднаний із мікрометричним гвинтом за допомогою установочного ковпачка 7.

Для забезпечення постійного вимірювального тиску мікрометр має спеціальний пристрій – трищітку. Пристрій тріскачки наступний: у торці настановного ковпачка 7 просвердлений наскрізний отвір, куди вставляють пружину 8 і штифт 9. До настановного ковпачка за допомогою гвинта 11 кріпиться храповик 10, у проміжки між зубчиками якого входить штифт 9. Під час обертання храповика за годинниковою стрілкою одночасно буде обертатися й робити поступальний рух і мікрометричний гвинт. Коли вимірювальна поверхня мікрометричного гвинта торкнеться деталі, гвинт зупиниться й перестане обертатися. Під час подальшого обертання храповика штифт 9 буде віджиматися, і храповик почне обертатися вхолосту, не обертаючи мікрометричний гвинт (при цьому чутний характерний тріск).

Мікрометри мають дві шкали: одна лінійна шкала нанесена на стеблі 3 із поздовжніми відліковими штрихами й ціною поділки 0,5 мм, інша шкала складається із 50 рівних кругових поділок на скошеному краї барабана 6. Поворот барабана на одну поділку, тобто на 1/50 повного оберту, забезпечує осьове переміщення на довжину 0,01 мм.

Таким чином, ціна поділки кругової шкали становить 0,01 мм. Для проведення вимірів деталей поміщають між п'ятою й мікро-гвинтом, який необхідно обертати за трищітку. Цілі частини міліметрів і половину міліметра відраховують за шкалою стебла від краю скосу барабана до нульового штриха. Відлік здійснюють із округленням: неповну частину останнього розподілу шкали не ураховують. Соті частки міліметра визначають за порядковим номером штриха барабана, що збігається із поздовжнім штрихом стебла. Потім до першого відліку додають другий відлік.

*Глибиномір мікрометричний* (рис. 12.1,е) призначено для виміру глибини отворів, пазів тощо. Діапазон вимірів глибиномірами становить від 0-25, 25-50 до 125-150 мм. Ціна поділки мікрометричної вимірювальної головки 0,01 мм. Глибиномір складається із основи (траверси) 2 із вимірювальною доведеною площиною. Усередині стебла 1, запресованого у траверсу, переміщається мікрометричний гвинт, скріплений із барабаном 6. У отвір мікрометричного гвинта вставляється змінний вимірювальний стержень 3 із доведеною торцевою поверхнею. Мікрогвинт затискається стопором 4. Під час настроювання нульового положення торець основи глибиноміра притискають до торця спеціальною мірою 5, яку ставлять на плиті. Порядок установки на початку поділку шкали і заміри показників відліку такий же, як у мікрометрів. Однак цифри у штрихів стебла і барабана нанесені у зворотному порядку порівняно із мікрометрами, тому що чим більше глибина, тим далі висунутий мікрогвинт.

*Нутромір мікрометричний* (штихмас, рис. 12.2,а) призначено для виміру внутрішніх розмірів деталей. Нутроміри випускають із межами вимірів 50-75, 75-175, 75-600, 150-1250, 600-2500, 1250-4000, 2500-6000 мм. За необхідності збільшення меж вимірів використовують подовжувачі. Ціна поділки шкали барабана – 0,01 мм. Мікрометричний нутромір складається із стебла 7, мікрометричного гвинта 5, з'єданого із корпусом барабана 8 гайкою 6. Один кінець гвинта є вимірювальним наконечником. Мікрогвинт закріплюється стопором 3, що обертається у корпусі гільзи 9. На різьблення наконечника 4 нагвинчується запобіжна гайка 1 і подовжувач (якщо він необхідний). Вимірювальні наконечники приводяться до зіткнення із стінками отвору, який перевіряється, за допомогою кільця 2. Мікрометричні нутроміри не мають тріскачки, тому щільність зіткнення визначається на дотик. Відлік показань за нут-

роміром здійснюється так само, як і гладким мікрометром, тобто за шкалою стебла і барабана.

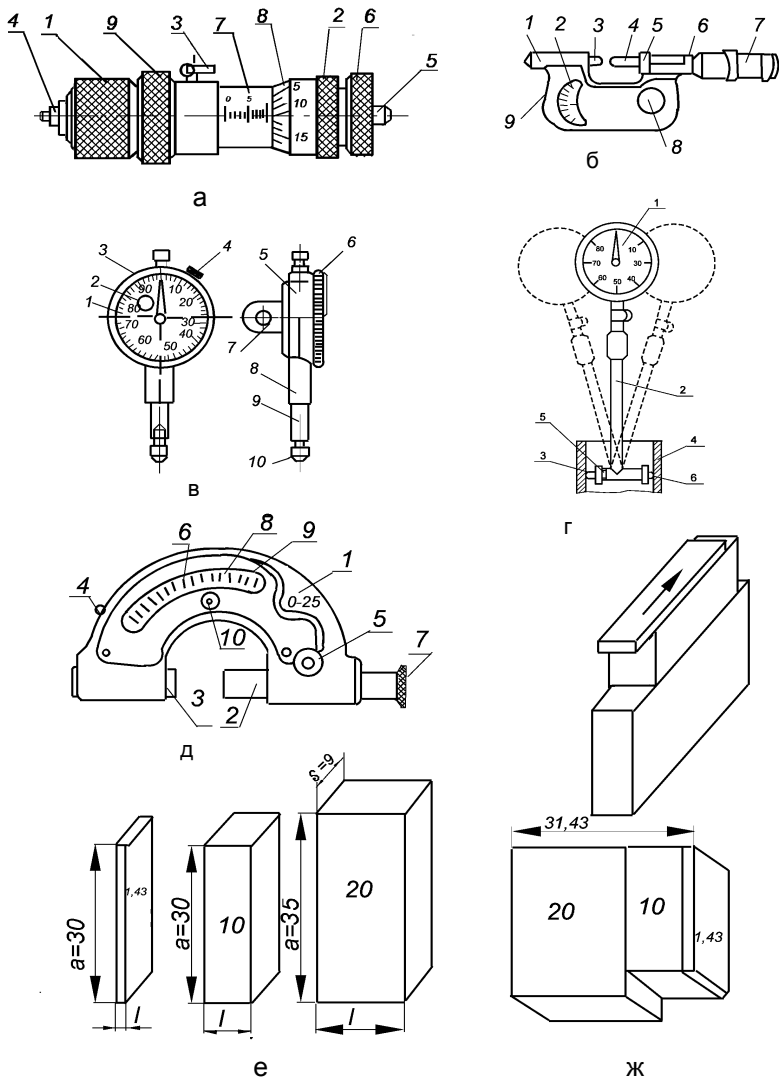


Рисунок 12.2 – Мікрометричний інструмент та прилади із індикатором годинникового типу

*Мікрометр важільний* призначено для виміру зовнішніх розмірів виробів із більшою точністю до тисячних міліметра. На відміну від описаного гладкого мікрометра, важільний мікрометр замість нерухомої п'яти має чутливу п'яту, забезпечену окремою відліковою шкалою. Ця шкала сприяє зменшенню вимірювального зусилля, підвищує точність виміру. Межі виміру мікрометра 0-25 і 25-50 мм. Ціна поділки шкали барабана – 0,01 мм, ціна поділки шкали важільно-зубчастого механізму – 0,002 мм. Межі показань за шкалою важільно-зубчастого механізму складають  $\pm 20$  мкм.

Важільний мікрометр (рис. 12.2,б) складається із корпусу 1, на одному кінці якого перебуває рухлива п'ята 3, зв'язана із шкалою 2, на іншому кінці – стебло 6. Усередині стебла у втулці із різьбовою і гладкою направляючими частинами переміщається мікрометричний гвинт 4, на кінці якого закріплений барабан 7. На корпусі також є стопор 5 для закріплення положення мікрометричного гвинта, ковпачок покажчиків меж поля допуску 8 і відводка 9. Під час вимірів відлік цілих і половин міліметрів здійснюється за шкалою стебла 6 мікрометричної головки, десятих і сотих міліметра – за шкалою барабана 7 і тисячних міліметра – за шкалою 2 важільно-зубчастого механізму.

*Мікрометр різьбовий* призначено для виміру середнього діаметра зовнішніх різьблень і відрізняється від описаного гладкого мікрометра тільки п'ятками, у яких передбачено отвори для установки змінних вставок із вимірювальними поверхнями за формою виступів і западин вимірюваного різьблення.

### **Прилади із індикатором годинникового типу**

*Індикатори годинникового типу* (рис. 12.2,в) застосовують для відносного виміру зовнішніх розмірів відхилень форми (овальність, конусність та ін.) і взаємного положення поверхонь (радіальне або торцеве биття та ін.). У комбінації із пристосуваннями ці прилади можуть застосовуватися для безпосереднього виміру.

Під час вимірів індикатор закріплюють за вушко 7 або гільзу 8 у кронштейн стійки із столиком в універсальному штативі або використовують у спеціальних вимірювальних приладах (індикаторний нутромір, індикаторна скоба тощо) і контрольно-вимірювальних пристосуваннях.

У втулці гільзи 8 приладу розташовано вимірювальний стержень 9, виконаний як одне ціле із стрілкою 3. За допомогою зубчастої передачі



переміщення вимірювального стержня 9 передається на стрілку 3, причому один оберт стрілки відповідає переміщенню стержня на 1 мм. Число цілих обертів стрілки (цілі міліметри) відлічується за шкалою покажчика обертів 2, а частина оберту (соті частки міліметра) – за шкалою 1. Межі вимірів індикаторів: 0-2 (малогабаритні), 0-5 і 0-10 мм. Ціна поділки шкали індикатору – 0,01 мм. Випускають також індикатори із цифровим (електронним) відліком.

*Нутромір індикаторний* (рис. 12.2,г) призначено для відносного виміру отворів від 3 до 1000 мм. Він складається із індикатору 1, встановленого у трубчастий корпус 2. Вимірювальна головка приладу складається із вимірювального стержня 3, що центрує місток 4, який призначено для центрування ліній виміру із діаметральною площиною, отвору що перевіряється, та змінною вимірювальною вставкою 5. Переміщення рухомого вимірювального стержня передаються на індикатор через передаточний важіль і стержень, розташований усередині трубки. Відхилення розміру вимірюваного отвору від встановленого розміру відлічуються за шкалою індикатора. Настроювання приладу на вимірюваний розмір здійснюється за еталонним кільцем або за блоком плоскопаралельних кінцевих мір із боковичками, або за мікрометром. До нутроміру додається набір змінних вимірювальних вставок 5.

Ціна поділки індикаторних нутромірів 0,01 мм, межі виміру від 6-10 до 700-1000 мм. Для точного виміру отворів невеликих розмірів застосовують індикаторні нутроміри підвищеної точності 0,001; 0,002 мм із межами вимірів від 1,5-2 до 160-260 мм, глибиною вимірів від 8 до 300 мм.

*Важільна скоба* (рис. 12.2,д) – прилад відносного виміру, призначено для порівняння вимірюваної деталі із кінцевими мірами. Переміщення рухомої п'яти 3 передається на стрілку 6 за допомогою важільно-зубчастого механізму, розташованого у корпусі 1 приладу. Величина переміщення відлічується за шкалою 8. Скоба встановлюється на вимірюваний розмір по плоскопаралельним кінцевим мірам довжини, що містяться між вимірювальними поверхнями рухомої 3 і переставної 2 п'ят.

Для установки кінцевих мір переставна п'ята 2 переміщається обертанням торованої головки, розташованої під ковпачком 7. Скоба має покажчики меж поля допуску 9 і відводу 4, що відсуває рухому п'яту, при установці між п'ятами вимірюваної деталі або кінцевих мір.

Межі виміру важільної скоби від 0-25 мм через 25 мм до 75-100 мм, ціна поділки шкали – 0,002 мм, межі виміру за шкалою – 0,008 мм.

### **Плоскопараллельні кінцеві міри довжини**

Під час виконання лабораторної роботи слід мати на увазі, що плоскопараллельні кінцеві міри довжини (плитки) мають форму сталевого прямокутного паралелепіпеда із двома плоскими взаємно паралельними вимірювальними поверхнями, відполірованими до дзеркального блиску.

Кінцеві міри довжини призначено для передачі розмірів від довжини основної світлової хвилі до виробу. На практиці їх застосовують для відтворення певного значення одиниці довжини, перевірки та градуировки розмірів мір і приладів, перевірки та установки калібрів на розмір, установки на нуль шкали приладів при відносному методі вимірів, визначення розмірів виробів і пристосувань, розмітки та координатно-розточувальних робіт, налагодження верстатів тощо. Номінальний розмір, що відноситься до вимірювальних поверхонь, на мірах більш 5,5 мм маркується на одній із неробочих поверхонь. На мірах 5,5 мм і менше значення номінальної довжини наноситься на одну із вимірювальних поверхонь. При цьому знаки повинні бути максимально віддалені від середини вимірювальної поверхні (рис. 12.2,е).

Кожна плитка відтворює тільки один номінальний розмір: 1,007; 1,27; 3,5; 20 мм тощо. Плитки слід комплектувати в набори, що відрізняються кількістю та розмірами із десятковою границею. За розмір плоскопараллельної кінцевої міри довжини слід приймати довжину перпендикуляра, опущеного із будь-якої точки однієї із її вимірювальних поверхонь на протилежну вимірювальну поверхню.

Точність плоскопараллельних кінцевих мір довжини оцінюється величиною відхилення її довжини від номінальної і відхиленням від плоскопараллельності. Відхиленням довжини кінцевої міри від номінального значення слід вважати найбільшу за абсолютним значенням різницю між довжиною міри в будь-якій точці та її номінальною довжиною.

Відхиленням від плоскопараллельності кінцеві міри слід вважати різницю між її найбільшою і найменшою довжинами. Точність мір визначається точністю їх виготовлення і виміру. Залежно від точності виготовлення кінцеві міри довжини підрозділяються на чотири класи точності: 0, 1, 2, 3.

Кінцеві міри характеризуються властивістю зчеплення (притирання) за вимірювальних поверхонь, що забезпечують міцне з'єднання кінцевих мір між собою. Необхідно ураховувати, що зчеплення (адгезія) плиток, що відбувається під час притирання, викликається молекулярними силами зачеплення за наявності найтоншої жирової плівки між вимірювальними поверхнями кінцевих мір, а найбільша сила зачеплення (міцність на розрив проміжного шару змащення) досягається за товщиною цієї плівки 0,02 мкм. Кінцеві міри виготовляють відповідно із високоякісної сталі або із твердого сплаву.

Властивість притирання широко використовують для відтворення за допомогою мір будь-яких розмірів у необхідних межах (рис. 12.2,ж).

Під час з'єднання декількох плиток в один блок погрішність сумарного розміру буде дуже мала, і нею можна зневажити.

### **Виконати завдання**

1. Слід розібратися із пристроєм та принципом дії вимірювального інструмента.

2. Виконати у звіті ескізи інструментів (штангенциркуль, мікрометр, індикатор годинникового типу) із указівкою найменувань їх основних частин.

3. Зробити декілька різних відліків за шкалою і ноніусом штангенінструмента (із різною величиною відліку за ноніусом, довільно переміщаючи рамку).

4. Зробити декілька різних відрахувань за шкалами мікрометричного інструмента.

5. Зробити настроювання індикаторного нутроміра на вимірюваний розмір, наприклад, за мікрометром.

6. Продемонструвати методику виміру радіального биття за допомогою індикатора годинникового типу і магнітної стійки.

### **Контрольні питання**

1. Чим відрізняється штангенциркуль від мікрометра?
2. Яка точність вимірювань штангенциркулем, мікрометром і індикатором годинникового типу?
3. Якими вимірювальними інструментами можна виміряти діаметр і глибину отвору?
4. Чи можна зробити виміри із точністю до тисячних міліметра?

## Робота 13. Економічне оцінювання ефективності технологічного процесу виготовлення деталі

**Мета заняття:** ознайомлення студентів із методами економічного оцінювання ефективності технологічного процесу виготовлення деталі.

### *Загальні відомості*

#### **Загальна характеристика показників виробничих процесів**

Економічну результативність технологічного процесу визначають як сукупність технічних, техніко-економічних і техніко-експлуатаційних показників. До *технічних показників* відносять: коефіцієнти уніфікації, точність обробки, шорсткість поверхні, коефіцієнт використання матеріалу тощо.

До *техніко-економічних показників* відносять: собівартість, продуктивність праці, якість, трудомісткість тощо.

*Техніко-експлуатаційними параметрами* машин, апаратів і агрегатів є: габарити (висота, довжина, ширина, м), займана площа ( $\text{м}^2$ ); маса (кг); частота обертання (об./с); ступінь автоматизації; наявність захисних пристроїв; споживана або вихідна потужність; енергоємність; тривалість безвідмовної роботи (гарантійний термін); перелік виконання основних і допоміжних операцій; умови, необхідні для нормальної роботи (температура, вологість повітря, шум, вібрація тощо); зручність керування тощо.

Важливим завданням для економістів є порівняльний аналіз всіх перерахованих вище показників із метою виявлення найбільш оптимального їхнього сполучення для визначення оптимальних режимів проведення технологічного процесу й вибору прогресивного технологічного встаткування. Технологічність виробу означає ступінь оптимальності витрат праці, засобів, матеріалів і часу на виготовлення даного виробу або його ремонт. Її оцінюють порівнянням значень техніко-економічних показників зі значеннями у відповідних нормативах. Таке положення може мати місце в ринковому механізмі господарювання на підприємствах з державним регулюванням. Слід зазначити, що вибір домінуючих показників за кількістю і важливістю буде визначатися рівнем технологічної системи: елементарна, цехова, підприємства (виготовлення товару) тощо.

Залежно від стадії життєвого циклу технологічної розробки, а, відповідно, і вірогідності використовуваної інформації, розраховують очікуваний або фактичний економічний ефект. Узагальнюючим показником ефективності технологічного процесу є собівартість виробу (продукції). *Собівартість* – один із найважливіших якісних показників, що характеризує всі сторони діяльності підприємства. У собівартості відображається повнота та ефективність використання матеріальних і трудових ресурсів на виготовлення продукції, економія витрат засобів, результати впровадження нової техніки. Зниження собівартості – найважливіший шлях до збільшення прибутку й рентабельності товарної продукції, підвищення ефективності промислового виробництва. Вона ураховує всі трудові й сировинні витрати виробництва та включає: витрати на засоби виробництва, на оплату праці, на послуги інших підприємств, транспортні витрати, витрати на закупівлю сировини, палива, електроенергії тощо. Співвідношення цих витрат характеризує структуру собівартості, що змінюється під впливом розвитку технологічного процесу та удосконалення виробництва.

Питома вага витрат у різних галузях промисловості різна. Так, наприклад, у чорній металургії витрати на сировину й матеріали становлять 56 %, а на заробітну плату – 12 %; у вугільній – відповідно, по 33 %; у машинобудуванні – 57 % і 25 %; у текстильній галузі 78 % і 12 %. Тому витрати у промисловості, залежно від питомої ваги їхньої суми, розподіляють у відповідності із процесами: трудомісткі (добувні галузі, металургія чорних металів); енергоємні (кольорова металургія та ряд галузей хімічного комплексу); із більшими витратами на амортизацію (нафтовидобувна й електроенергетична галузі); капіталомісткі (турбобудування, приладобудування); матеріаломісткі (текстильна, швейна, харчова та інші галузі). Собівартість промислової продукції (робіт, послуг) – це виражені у грошовій формі поточні витрати підприємства на її виробництво й збут. Витрати на виробництво утворюють виробничу (заводську) собівартість, а витрати на виробництво й збут – повну собівартість промислової продукції.

Типові положення щодо планування, обліку й калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 16.05.2002 р. за № 630. Типові положення застосовують на промислових і непромислових підприємствах, що випускають промислову продукцію, незалежно від форми

власності та господарювання. Витрати на виробництво продукції (або собівартість валової продукції) характеризують витрати поточного періоду (року, кварталу, місяця) на виробництво промислової продукції (робіт, послуг). Собівартість товарної продукції (реалізованої продукції) характеризують витрати на виробництво та збут протягом усього циклу. У зв'язку із цим необхідно провести повне зіставлення планових і звітних даних за складом і класифікацією витрат, об'єктів і одиниць калькулювання, методів розподілу витрат за плановим (звітним) періодом (табл. 13.1).

1. За місцем виникнення витрати на виробництво групуються за цехами, ділянками, службами та іншими адміністративно відособленими структурними підрозділами виробництв. Залежно від характеру і призначенню виконуваних процесів виробництво розподіляється на основне, допоміжне і непромислове господарство. До основного виробництва відносять цехи, ділянки, які приймають безпосередню участь у виготовленні продукції.

Таблиця 13.1 – Класифікація витрат на виробництво

Ознака	Витрати
1. За місцем виникнення витрат	1. Витрати виробництва, цеху, ділянки, служби
2. За видами продукції, робіт, послуг	2. Витрати на виріб, типові представники виробів, групи однорідних виробів, одноразові замовлення, валову, товарну реалізовану продукцію
3. За видами витрат	3. Витрати за економічними елементами, витрати за статтями калькуляції
4. За способами перенесення вартості на продукцію	4. Витрати прямі, непрямі
5. За ступенем впливу обсягу виробництва на рівень витрат	5. Витрати умовно-змінні, умовно-постійні
6. За календарних періодів	6. Витрати поточні, одноразові

Допоміжне виробництво призначене для обслуговування цехів основного виробництва: виконання робіт із ремонту основних фондів, забезпечення: інструментом, запасними частинами для ремонту встат-

кування, різними видами енергії, транспортними та іншими послугами. До допоміжного виробництва відносять ремонтні, експериментальні, енергетичні, транспортні цехи тощо. До непромислового господарства відносять: заводський транспорт, житлово-комунальне господарство і культурно-побутові заклади, підсобні підприємства, які не приймають участі у виробництві товарної продукції.

2. Всі витрати на виробництво включають у собівартість окремих видів продукції, робіт і послуг (у тому числі виробів, виготовлених за індивідуальними замовленнями).

3. За видами витрати класифікуються за економічними елементами і за статтями калькуляції. Під елементами витрат розуміють економічно однорідні види витрат. Витрати за статтями калькуляції – це витрати на окремі види виробів, а також витрати на основне й допоміжне виробництво.

4. За способами перенесення вартості на продукцію витрати розподіляють на прямі й непрямі. До прямих відносять витрати, пов'язані із виробництвом окремих видів продукції (на сировину, основні матеріали, покупні вироби й напівфабрикати тощо), які безпосередньо формують вартість. До непрямих відносять витрати, пов'язані із виробництвом декількох видів продукції (витрати на утримання і експлуатацію встаткування, загальновиробничі витрати), які включають у собівартість за допомогою розрахункових методів.

5. За ступенем впливу обсягу виробництва на рівень витрат їх розподіляють на умовно-змінні та умовно-постійні. До умовно-змінних відносять витрати, абсолютна величина яких зростає зі збільшенням обсягу випуску продукції та зменшується із його зменшенням: витрати на сировину і матеріали, які комплектують вироби, напівфабрикати, технологічне паливо та енергію, на оплату праці працівників, зайнятих у виробництві продукції (робіт, послуг) тощо. Умовно-постійні – це витрати, абсолютна величина яких зі збільшенням (зменшенням) випуску продукції суттєво не змінюється. До них відносять витрати, пов'язані із обслуговуванням і управлінням виробничою діяльністю цехів, а також витрати на забезпечення господарських потреб виробництва.

Показник *собівартості* – це сукупність матеріальних і трудових витрат підприємства у вартісному вимірі, необхідних для виробництва та реалізації продукції. Відповідно до типового положення щодо планування, обліку та калькулювання собівартості продукції витрати гру-

пують за наступними елементами: матеріальні витрати; витрати, пов'язані із придбанням сировини, матеріалів, палива, мастильних матеріалів, електроенергії та води; витрати на основну і додаткову заробітну плату працівників основного виробництва; відрахування на соціальні заходи; витрати, пов'язані із амортизацією основних фондів і нематеріальних активів, тобто відрахування на відновлення, зношування основних засобів виробничого призначення (будинків, споруджень, на силові та робочі машини); інші витрати (витрати на управління виробництвом, утримання будинків, оренду приміщень тощо).

Витрати виробництва, безпосередньо пов'язані із виробництвом продукції називають *виробничою собівартістю*, а витрати, пов'язані із виробництвом і реалізацією продукції називають повною *собівартістю*. Співвідношення між різними видами витрат, включених у собівартість продукції, визначають структуру собівартості продукції. Її вивчення необхідне для пошуку резервів зниження витрат на основне виробництво, удосконалювання технологічних процесів і підвищення рівня продуктивності праці.

*Продуктивність праці* – це здатність конкретної праці у сфері матеріального виробництва створювати за одиницю часу (хвилину, годину, зміну тощо) певну кількість виробів певного ступеня корисності або якості. Показник продуктивності характеризує виробництво продукції (у натуральному й вартісному вимірі), виготовленої із розрахунку на одного працівника або одиницю часу. У практичній діяльності для характеристики продуктивності праці застосовують також показник трудомісткості продукції. Його перевагою є пряма залежність між обсягом виробництва і трудовими витратами, можливість їхньої оптимізації. Під час аналізу трудомісткості її диференціюють залежно від трудових витрат всіх зайнятих промислово-виробничих категорій працівників, у тому числі трудомісткість технологічного персоналу; персоналу, що обслуговує виробництво; персоналу управління.

Розрізняють *екстенсивні* (кількісні) та *інтенсивні* (якісні) чинники економічного зростання та, відповідно, два типи розширеного відтворення. До екстенсивних чинників відносять зростання чисельності працівників матеріального виробництва, збільшення кількості залучених у господарюванні матеріальних ресурсів, будівництво нових об'єктів такого ж технічного рівня, як зазначено раніше. Серед інтенсивних чинників вирішальне значення має науково-технічний прогрес. Інтенсивні



чинники засновано на якісному вдосконалюванні застосовуваних трудових ресурсів.

*Амортизація встаткування* – це відшкодування вартості основних фондів шляхом її переносу на вартість виробленої продукції. У результаті реалізації виробленої продукції ця сума, накопичуючись, створює амортизаційний фонд, засоби якого витрачаються на часткове відновлення основних фондів (за допомогою капітального ремонту, або на повне їхнє відновлення), придбання нових засобів праці, будівництва тощо. Розмір амортизаційних відрахувань залежить від тривалості амортизаційного періоду, тобто середнього фактичного терміну служби основних фондів. Строк окупності капітальних вкладень відповідно до встановленого нормативу не повинен перевищувати 6,6 років. Коефіцієнт строку окупності основних засобів ( $E_n$ ) становить:

$$E_n = \frac{1}{6,6} = 0,15.$$

У перспективі величина нормативу повинна зростати залежно від технологічного прогресу, підвищення продуктивності праці, зниження матеріалоемності та фондоємності продукції.

Показник ефективності капіталовкладення ( $E_k$ ) визначається як відношення приросту річного прибутку ( $\Delta\Pi$ ), пов'язаного із капітальними вкладеннями, до їхньої суми ( $K$ ):

$$E_k = \frac{\Delta\Pi}{K}.$$

Строк окупності капіталовкладень може скорочуватися, коли величина ( $E_k > E_n$ ) більше нормативного коефіцієнта. У цьому випадку капітальні вкладення є ефективними.

### **Показники якості продукції**

Важливим чинником, що характеризує ефективність промислового виробництва, є якість продукції. Із розвитком ринкового механізму господарювання роль якості продукції та її конкурентоспроможності знаходить все більшу значимість. Так, підвищення якості знарядь праці збільшує їхню продуктивність, надійність, довговічність та знижує витрати на ремонт і експлуатацію, поліпшує умови праці. Збільшення терміну служби як промислової продукції, так і товарів широкого споживання, дозволяє повніше задовольняти потреби без збільшення обсягу

випуску, що заощаджує матеріальні та трудові ресурси. Проблема якості та конкурентоспроможності продукції вимагає самого ретельного вивчення. Під якістю продукції прийнято розуміти сукупність властивостей продукції, що спричиняють її придатність задовольняти певні потреби у відповідності із її призначенням. Чинник якості характеризує рівень використання галузевих технологій. Можна виділити декілька груп показників якості продукції:

1. Показники технологічності (коефіцієнт витрати матеріалів, показники трудомісткості продукції тощо).

2. Показники надійності машин і встаткування характеризують безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність засобів виробництва.

3. Показники стандартизації та уніфікації характеризують ступінь використання стандартних і уніфікованих виробів.

4. Патенто-правові показники характеризують якість патентоспроможності продукції й виробів, реалізованих на внутрішньому й зовнішньому ринках.

5. Естетичні показники характеризують якість оформлення продукції для реалізації (оригінальність, виразність та ін.).

6. Ергономічні показники враховують сукупність гігієнічних, фізіологічних і психологічних властивостей людини.

7. Економічні показники оцінюють витрати на розроблення, виготовлення та використання продукції й виробів (тобто випереджають витрати за шести попередніх позицій).

Таким чином, якість продукції включає тільки ті властивості виробу, які пов'язані зі здатністю задовольняти певні потреби як окремих членів суспільства, так і суспільства в цілому. Очевидно, що основне призначення виробу і його цільова функція повинні визначатися цими потребами. При цьому у виробі можуть бути властивості, що погіршують його якість. Деякі властивості, що знижують якість, можуть виникнути у процесі зберігання та експлуатації. Наявність показників таких властивостей слід звести до мінімуму. Для засвоєння термінології якості продукції слід розглянути такі поняття: продукція, виріб, товар, властивості, ознака, показник якості продукції та ін.

*Продукція* – це узагальнений результат господарської діяльності, призначений для задоволення певних потреб суспільства.

*Виріб* – це одиниця промислової продукції, обчислювальна у штуках або екземплярах (верстат, телевізор, книга тощо).

*Товар* – продукція, призначена для продажу населенню із урахуванням призначення та задоволення певних потреб людини.

*Ознака* – це показник, що характеризує спільність (прикмети, знак тощо) об'єктів за певною єдиною системою (ієрархією).

*Параметр* – це величина, що характеризує властивості процесу або явища (наприклад, маса, сила струму, напруга, ємність тощо).

*Властивість продукції* – це об'єктивна особливість продукції, що може мати місце під час її створення, експлуатації або споживання. Властивості продукції умовно можна розподілити на прості й складні. Простою називають властивість, яка для конкретних умов оцінювання рівня якості продукції не можна поділити на більш дрібні властивості. Складні властивості діляться на прості й складні. Прикладом складної властивості є показник призначення, а простої – потужність електро-двигуна, ємність екскаватора, вміст вуглецю у сталі та ін.

*Показник якості* – це кількісна характеристика одного або декількох властивостей продукції, які відображають її якість (розглядається щодо певних умов її створення, експлуатації або споживання). *Одиничний* показник якості продукції характеризує одну із її властивостей, а *комплексний* – декілька властивостей. *Визначальним* називають показник якості продукції, за яким ухвалюють рішення щодо оцінювання її якості. Він може бути одиничним і комплексним. Комплексний показник якості називають також *узагальненим*.

*Груповий показник* – це комплексний показник якості продукції, що відноситься до однієї групи її властивостей. *Відносний показник* – це відношення оцінюваного показника якості продукції до відповідного йому базового показника. *Інтегральний показник якості продукції* – це відношення сумарного корисного ефекту від експлуатації або споживання продукції до сумарних витрат на її створення й експлуатацію або споживання.

*Індекс якості продукції* – це комплексний показник якості різної продукції, що випускається за розглянутий період, рівний середньому зваженому відносних показників якості цієї продукції.

*Рівень якості продукції* – це відносна характеристика якості, заснована на порівнянні значень показників якості, оцінюваної продукції із базовими або нормативними значеннями. Якість продукції кількісно визначається технічним рівнем якості, рівнем якості виготовлення продукції, рівнем якості продукції під час експлуатації або споживання.

Прийнято три підходи до визначення якості:

- об'єктивний, що характеризується кількісним виміром конкретних властивостей за допомогою технічних засобів відповідно до нормативно-технічної документації;
- суб'єктивний, що продиктований задоволенням конкретних індивідуальних вимог (запитів, інтересів, традицій, мотивацій тощо) як із комплексу показників, так і за окремими властивостями;
- емоційний, що характеризується задоволенням узагальненої пріоритетної вимоги, сформованої під впливом суспільних тенденцій (стилю, моди, уніфікації, типізації тощо).

Під час використання цих методів використовують деякі загальні терміни. *Суб'єкт діяльності* – це фахівець або група споживачів, що виявляє цінність продукції або її корисність. *Об'єкт оцінювання* – це властивості, які визначають споживну цінність або корисність продукції. *Мета* – вона обумовлена конкретними завданнями із точки зору оцінювання або управління якістю продукції. *Критерії* – це суспільні норми, вимоги, переваги групи фахівців або окремого фахівця, що виступають суб'єктами оцінювання.



*Засоби і методи оцінювання* розподіляють за джерелами інформації на традиційні, експертні та соціологічні.

*Конкурентоспроможність товарної продукції.* У ринкових відношеннях продавця (товаровиробника) і покупця (споживача) такому визначальному критерію товару, як якість, протиставляється конкурентоспроможність товару (це ті вироби, які купують, тобто швидко й у біль-

ших обсягах порівняно із аналогічною продукцією конкурентів). Визначальними чинниками конкурентоспроможності, як відомо, є якість, ціна, асортимент, термін поставки товару на ринок (його відповідність часу платоспроможності, потребі та попиту), обсяг поставки (партії). При цьому ціна і якість є найбільш вагомими чинниками. Якісним споживач вважає товар, придбаний нижче очікуваної вартості. Тобто, ціна визначає можливість споживача придбати якісний товар за відповідною йому ціною. Таке положення розкриває відносність якості та конкурентоспроможності щодо конкретного сегмента ринку (соціальної та економічної групі споживачів).

Конкурентоспроможність технічної продукції повинна характеризуватися високими технічними характеристиками, що неможливо створити за невисоких витрат. Однак такі витрати повинні бути раціональними. Прагнення до їхнього зменшення не повинне супроводжуватися зниженням проектованого рівня технічних параметрів.

Таким чином, рівень розвитку технологічних систем впливає на формування техніко-економічних показників, і, в остаточному підсумку, на прибуток підприємств. Тому, вибір оптимальних варіантів технологічних процесів повинен здійснюватися виходячи із науково обґрунтованого підходу до питань організації виробництва, тобто до оцінювання основних показників ефективності: продуктивності (засобів механізації праці, машин, устаткування), собівартості та якості продукції.

### **Контрольні питання**

1. Що розуміють під технологічною ефективністю виробництва?
2. Від яких чинників залежить технологічна ефективність виробництва?
3. Які є техніко-економічні показники?
4. Як оцінюється собівартість технологічного процесу?
5. За якими ознаками класифікують витрати на виробництво продукції?
6. Що означає поняття "продуктивність праці"?
7. Що означає поняття "строк окупності капітальних вкладень"?
8. Як оцінюють якість продукції? Назвіть основні показники якості продукції.
9. Як оцінюють показник ефективності капіталовкладення?
10. Які є визначальні чинники конкурентоспроможності продукції?

## Робота 14. Технологія складального процесу

**Мета заняття:** закріплення теоретичних знань та придбання практичних навичок розроблення технологічних схем складання виробів. У результаті проведення занять студент повинен знати: структуру виробу, поняття "деталь", "складальна одиниця"; методи досягнення точності замикаючої ланки під час складання; що містить і як будується технологічна схема складання; вміти розробити технологічну схему складання.

### **Загальні відомості**

#### **Завдання, які вирішуються складальними процесами**

Машина, як об'єкт машинобудівного виробництва, створюється тільки в процесі складання, де виробу надається закінчений вигляд відповідно до його функціонального призначення. *Виріб* – це кінцевий предмет виробництва, що підлягає виготовленню на підприємстві та призначений для постачання (реалізації). *Складання* – це процес виготовлення машини з'єднанням її складових елементів, що сполучаються (деталей, вузлів, агрегатів тощо). Процес складання, як один із головних і заключних етапів виробництва, багато в чому визначає й активно формує експлуатаційні якості виробу, що виготовляється, його собівартість, строки випуску. Висока точність розмірів, форми, взаємного розташування, якість і стан поверхонь деталей, що сполучаються у виріб, застосування прогресивних конструкційних матеріалів не можуть належною мірою гарантувати такі найважливіші експлуатаційні якості машини, як її працездатність, надійність і довговічність. Це пояснюється тим, що складання не можна розглядати як суто механічне з'єднання деталей у складальну одиницю або у виріб. У процесі складання необхідно забезпечити регламентовані за умовами й характером сполучення деталей, їх чітке взаємне розташування, фіксування, за необхідності наявність змащення, виключення наявності між поверхнями, що сполучаються, задирок, стружки, абразивних включень, пилу, а також виключення можливих деформацій під час утворення різьбових, зварювальних, клепаних, пресових та інших з'єднань. На якість виконання складальних операцій величезний вплив мають метод складання, застосовувані складальні пристосування та інструмент, їхня точність, стан,

ступінь зношування, рівень автоматизації процесу, кваліфікація виконавців, культура виробництва та ін. [44, 65 – 67].

За нинішніх економічних умов питання зниження матеріалоємності, скорочення трудових витрат, підвищення експлуатаційної якості сучасних машин стають особливо актуальними. Останні дві проблеми мають безпосереднє відношення до процесів складання.

Незважаючи на загальне падіння рівня загальномашинобудівного виробництва України, що склалося, питома співвідношення трудомісткості складальних робіт до загальної трудомісткості виробництва виробів продовжує практично зберігатися й нині. Стан і рівень трудових витрат складального виробництва наочно ілюструється даними за основними галузями машинобудування (табл. 14.1).

Таблиця 14.1 – Питома вага й рівень автоматизації складальних робіт у машинобудуванні, %

Галузь машинобудування	Питома вага складальних робіт у виготовленні виробів, %	Рівень механізації й автоматизації складальних робіт, %
Важке машинобудування	35	8 ... 12
Верстатобудування	25	22 ... 25
Електротехнічна й радіо-промисловість	50	35 ... 40
Тракторне й сільсько-господарське машинобудування	23	51
Автомобільна промисловість	18 ... 20	51
Літакобудування	20 ... 30	20 ... 25
Приладобудування	40 ... 45	12
Промисловість годинників	45	16

Висока питома вага складальних робіт пояснюється, насамперед, порівняно низьким рівнем механізації та автоматизації складального виробництва. Їх середній рівень у галузях машинобудування для ос-

новного виробництва досягає 85%, тоді як для складальних робіт: у важкому машинобудуванні – 8 – 12 %, у верстатобудуванні – 22 – 25 %, в автомобільній промисловості – 51 %, у приладобудуванні – 12 % (табл. 14.1). Механізовані й автоматизовані тільки найпоширеніші операції: виконання отворів під з'єднання, розклепування заклепок, загвинчування гайок, гвинтів, болтів, зварювання. Значний обсяг складально-монтажних робіт, виконуваних вручну (60 – 85 %), найчастіше вимагає великих витрат фізичної праці висококваліфікованих робітників. Причому нестабільність виконання складальних процесів спричиняє нестабільність якості продукції, що випускається.

Рівень трудомісткості складальних робіт також багато в чому визначається низькою спеціалізацією складального виробництва. При цьому нераціонально використовується високопродуктивне спеціальне устаткування, робочі кадри високої кваліфікації, збільшується цикл складання, збільшуються оборотні фонди. Актуальність цієї проблеми загострюється сьогодні не тільки необхідністю оперативного переналагодження виробництва на випуск нових виробів, але й порушенням централізованих зв'язків кооперування й спеціалізації між підприємствами, труднощами у створенні якісно нових гнучких зв'язків.

**Основні відомості щодо розроблення технологічних процесів складання.** Вихідними даними під час проектування технологічного процесу складання машини є наступне: опис службового призначення та будови машини, креслення складальних одиниць (машини) із технічними умовами, специфікації складових у вузлів деталей, обсяг випуску виробів, технічні вимоги приймання, умови виробництва (діюче або проектоване підприємство, наявні засоби технічного оснащення і його можливості, умови постачання, кооперації, організаційно кадрові питання тощо). Крім базової, необхідна також довідково-керівна інформація: паспортні дані устаткування, нормативні матеріали, стандарти на оснащення, методи складання, режими обробки та ін. [77].

Ступінь поглибленості розробки технологічного процесу складання залежить від типу виробництва. У загальному випадку розроблення технологічного процесу складання включає: обґрунтування організаційної форми складання (за необхідності визначається такт і ритм); виконується відпрацьовування конструкції на технологічність; обґрунтування методу складання, розрахунки точності складання (розмірний аналіз ланцюгів); складання схем збирання (вузлових і загальної); об-



ґрунтування способу складання, контролю тощо; вибір необхідного стандартного або проектування спеціального устаткування та оснащення; нормування робіт, розрахунок економічних показників; проектування планування робочих місць і ділянок складальних цехів; оформлення технічної документації.

Послідовність розроблення процесу складання наступна. Здійснюють технологічний аналіз складальних креслень із позиції відпрацювання конструкції на технологічність. Здійснюють розмірний аналіз конструкцій виробів, що складаються, виконують розрахунки розмірних ланцюгів і встановлюють раціональні методи досягнення точності складання (повна, неповна, групова взаємозамінність, регулювання й підгонка). Визначають доцільний у даних умовах ступінь диференціації або концентрації складальних операцій. Установлюють послідовність з'єднання всіх складальних одиниць і деталей виробу і створюють схеми загального й вузлового складання виробу. Вибирають найбільш продуктивні, економічні й технічно обґрунтовані способи складання, способи контролю, випробувань. Вибирають необхідне стандартне технологічне й допоміжне устаткування та технологічне оснащення (приспособлення, ріжучий, монтажний і вимірювальний інструменти). За необхідності проектують спеціальні засоби технологічного оснащення. Здійснюють технічне нормування складальних робіт і розраховують економічні показники складання. Розробляють планування устаткування, робочих місць. Оформляють технічну документацію на складання.

Після вивчення машини, окремих її агрегатів і складальних одиниць, аналізу технічних умов на їхнє виготовлення та складання розпочинають розчленовування виробу на складові частини із огляду на таке:

- складальну одиницю не слід розчленовувати у процесі складання, транспортування й монтажу;
- складальним операціям передують підготовчі й підгоняльні роботи, які виділяють у самостійні операції, оскільки вони пов'язані із такими видами обробки, як обпилювання, шабрування, притирання, свердління отворів, вигинання тощо;
- габаритні розміри складальних одиниць установлюють із урахуванням наявності підйомно-транспортних засобів;
- складальна одиниця повинна складатися із невеликої кількості деталей і сполучень, тому що зайва диференціація приводить до ускладнення організації складальних робіт;

- передача на складання окремих деталей повинна бути мінімальною, винятком є базові деталі;
- виріб слід розчленовувати так, щоб його конструкція дозволяла здійснювати складання із найбільшою кількістю складальних одиниць.

### **Характеристика складальних процесів**

Технологічний процес складання є частиною виробничого процесу – це процес, що містить дії зі встановлення й утворення з'єднань складових частин виробу. Основним елементом технологічного процесу є складальна операція.

*Складальна операція* – це технологічна операція встановлення й утворення з'єднань складових частин заготовок або виробів. Складальна операція складається із технологічних переходів.

З'єднання може бути *рознімним* або *нерознімним*. До видів з'єднань відносять: *запресовування, різьбові, зварювання, паяння, клепа́ння, склеювання* тощо.

Залежно від обсягу складання підрозділяють на *загальне*, об'єктом якого є виріб у цілому, і *вузлове*, об'єктом якого є складова частина виробу, тобто складальна одиниця.

За стадіями розрізняють наступні види складання:

- попереднє складання – розбирання із метою визначення розміру компенсатора;
- проміжне – для спільної подальшої обробки складальної одиниці (наприклад, корпус і зібрана із ним кришка розточуються спільно під розмір діаметра підшипника);
- під зварювання (може вводитися як складальна операція в поточній лінії);
- остаточне складання, після якого розбирання не передбачене.

Залежно від методу утворення з'єднань існують наступні види складання: слюсарне – слюсарно-складальні операції; монтаж – встановлення виробу або його складових частин на місці використання; електромонтаж – монтаж виробів, що мають струмовідні елементи; зварювання, паяння, клепа́ння, склеювання.

Складання є заключним етапом виготовлення машини. Висока якість машини визначається не тільки вдалою конструкцією, застосуванням високоякісних матеріалів, виготовленням деталей високої

якості та точності, але й залежить від проведення всіх етапів складання машини, оскільки із різних причин можуть виникнути похибки взаємного розташування деталей. Цими причинами можуть бути:

- помилка (робітника) орієнтування й фіксації встановленого положення деталей, що складаються (недостатня щільність з'єднань, зсув, порушення правильного затягування тощо);

- похибка встановлення калібрів і вимірювальних приладів, застосовуваних під час складання (похибки регулювання, підгоняння та похибки самого вимірювача);

- відносні зсуви деталей між установленням і фіксацією деталі;
- утворення задирок на поверхнях, що з'єднуються;
- пружні й пластичні деформації деталей, що з'єднуються, під час їхнього встановлення й фіксації, що порушують їхню точність і щільність з'єднань, а це позначається на довговічності складальних одиниць (наприклад, за сили попереднього затягування болта 6320 Н середня довговічність – 5960 циклів, за сили 37500 Н – 5108 циклів).

Залежно від типу виробництва витрати часу на складання від загальної трудомісткості виготовлення машин становлять у масовому і багатосерійному виробництві – 20 – 30 %; у серійному виробництві – 25 – 35 %; у одиничному і дрібносерійному виробництві – 35 – 40 %.

**Аналіз технологічності конструкції.** Під час аналізу технологічності конструкції складальної одиниці необхідно виявити:

- можливість розчленування її на окремі, самостійні елементи, які можуть підлягати складанню;

- види з'єднання деталей (нерухоме або рухоме, рознімне або нерознімне);

- зручність виконання складальних робіт;

- можливість використання нормалізованого оснащення;

- умови замикання складальних розмірних ланцюгів. Із застосуванням посадок із зазором слід проаналізувати всі можливі положення ланок і виявити такі, які будуть найсприятливіше позначатися на точності основних параметрів виробу.

На основі аналізу надаються пропозиції щодо зміни конструкції складальної одиниці із метою зменшення трудомісткості її складання.

**Методи досягнення точності складання.** Завдання, пов'язані із досягненням необхідної точності машин та їхніх механізмів на всіх

етапах їхнього створення (проектування, виготовлення, складання), вирішуються за допомогою розмірних і кінематичних ланцюгів.

Допуск на замикаючу ланку розмірного ланцюга дорівнює сумі допусків на розміри ланок.

Точність замикаючої ланки, зазвичай, призначає конструктор, виходячи із умов експлуатації і службового призначення виробу.

Точність замикаючої ланки під час складання забезпечується технологічними методами: повною, неповною (частковою) або груповою взаємозамінністю, регулюваннями і підгонками.

Залежно від типу виробництва розрізняють п'ять методів досягнення точності завершальної ланки під час складання:

- повної взаємозамінності;
- неповної (часткової) взаємозамінності;
- групової взаємозамінності;
- регулювання;
- підгонки.

В основному застосовують перших два методи, які забезпечують взаємозамінність у процесі складання із найменшими витратами праці.

*Метод повної взаємозамінності* застосовують, коли сума допусків ланок, що складають розмір, повинна бути рівною або меншою допуску замикаючої ланки, встановленої за умов експлуатації. Цей метод доцільний у масовому і серійному виробництві за умов незначної кількості розмірних ланцюгів і відсутності високих вимог до точності складання.

*Метод неповної взаємозамінності* доцільний, коли сума допусків ланок, що складають розмір, дещо більше допуску замикаючої ланки. У цьому випадку навмисно розширюють допуски на ланки для здешевлення виробництва.

Допустимий відсоток браку (2 – 5 %) визначають, виходячи із економічних міркувань (що дешевше: перебрати декілька виробів, щоб виправити брак під час складання, або виготовити всі деталі, що входять у розмірний ланцюг, із більшою точністю, щоб не було браку під час складання).

Якщо під час складання очікується значний відсоток браку, то для досягнення необхідної точності замикаючої ланки застосовують метод регулювання або пригону.



*Метод регулювання* полягає у тому, що необхідну точність замикаючої ланки досягають зміною величини наперед вибраної компенсуючої ланки. Цей метод здійснюється двома способами:

- зміна положення однієї із деталей (її лінійними переміщеннями або поворотом) на розмір зайвої погрішності замикаючої ланки – рухомий компенсатор;
- введенням у розмірний ланцюг спеціальної деталі необхідного розміру – нерухомий компенсатор (зазвичай, прокладки);
- метод регулювання дозволяє забезпечити практично будь-яку точність замикаючої ланки.

Якщо регулювання здійснюють прокладками однакової товщини, то товщина однієї прокладки визначається розміром допуску замикаючої ланки. Якщо кількість прокладок є значною, то регулювання краще здійснювати прокладками різної товщини.

**Проектування технологічних процесів складання.** Початковими даними розроблення технологічного процесу складання є:

- складальне креслення, яке визначає конструкцію виробу, специфікація деталей і складальних одиниць, що поступають на складання;
- технічні вимоги приймання виробу і вузлів;
- програма випуску і термін її виконання;
- умови виконання складальних робіт.

У серійному і масовому виробництві технологічний процес складання розробляють детально і з можливо більшою диференціацією операцій. У цьому випадку розраховують такт складання і вибирають організаційні форми складального процесу, розробляють технологічні схеми складання вузлів і виробу в цілому, проектують складальні операції тощо. Для цього необхідно знати особливості технічного нормування складальних операцій.

*Такт складання* із урахуванням втрат часу на ремонт устаткування визначають за залежністю:

$$T = \frac{60 \cdot F_g}{N} \cdot K_p$$

де  $F_g$  – дійсний річний фонд часу роботи складального встаткування за однозмінною роботою  $F_g = 2070$  год., за двозмінною роботою  $F_g = 4140$  год.;

$K_p$  – коефіцієнт, що враховує втрати часу на ремонт встаткування (за двозмінною роботою  $K_p = 0,97$ );

$N$  – річна програма випуску виробу, шт.

*Організаційну форму складання* (потокова і непотокова) вибирають залежно від типу виробництва: в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва, зазвичай, застосовують непотокове (стаціонарне) складання, в умовах серійного і масового виробництва – потокове складання. Потокowe складання буває рухомим (на рухомих стендах, конвеєрах) і нерухомим. Характерною ознакою потокової форми організації роботи є такт складання. В умовах поточкового складання процес повинно розчленувати на операції так, щоб оперативний час кожної операції був близьким (меншим) або кратним такту складання. Це необхідно для досягнення синхронізації операції.

**Розроблення технологічних схем складання.** Послідовність складання виробу (вузла) в основному визначається його конструкцією: компонуванням деталей і методами досягнення необхідної точності. Прості складальні одиниці, як правило, мають одноваріантну послідовність з'єднання деталей, складні складальні одиниці – багатоваріантну.



Для визначення послідовності складання виробу і його вузлів розробляють технологічні схеми складання (рис. 14.2), де кожен елемент виробу (детальна складальна одиниця) позначається прямокутником, розділеним на три частини. У верхній частині вказується його найменування, у лівій нижній – позначення, у правій нижній – кількість вмонтованих деталей або складальних одиниць.

Деталі і складальні одиниці на схемах показують у строгій відповідності із їхнім позначенням на складальних кресленнях і специфіка-

ціях. Кожній складальній одиниці або складовій частині виробу при-  
власнюють позначення його базової деталі із додаванням символу "с",  
тобто складання.

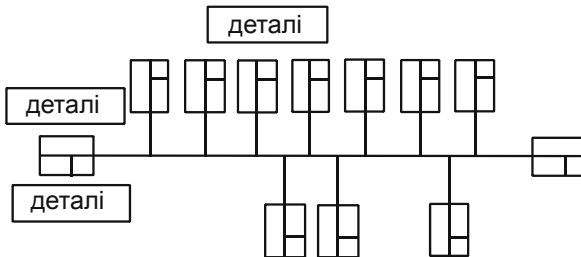


Рисунок 14.2 – Технологічна схема складання

*Базовим* називається первинний елемент, із якого починається  
складання. Базовою може бути як деталь, так і складальна одиниця.

Технологічні схеми складання будують у такій послідовності: спочатку на листі паперу (приблизно посередині) проводять горизонтальну лінію, потім на лівому кінці у прямокутнику указують базову деталь, а на правому кінці – зібраний виріб, вузол, підвузол. Зверху над лінією у прямокутниках показують у технологічній послідовності безпосередньо всі деталі, що входять у вузол (виріб); знизу над лінією – всі складальні одиниці. На схемі складання в необхідних випадках надають технологічні указівки щодо виконання переходу або прийому монтажу деталі, наприклад: "просвердлити", "встановити за індикатором", "запресувати", "зварити" тощо (рис. 14.2).

### **Проектування складальних операцій**

Складальні операції проектують на основі технологічних схем складання. За потокової форми організації складальних робіт спочатку розробляють карту технологічних переходів складання (карту складальних робіт), у якій указують: номер переходу, зміст переходу, види з'єднань, устаткування, пристосування та інструмент, норму оперативного часу. Розраховують сумарний оперативний час для всіх видів робіт. Потім визначають зміст і трудомісткість окремих операцій. У окремі операції включають роботи таким чином, щоб кожна операція мала і певну закінчену ознаку, і трудомісткість, рівну або декілька меншу такту складання, або кратну йому. Після цього заповнюють операційну карту



складання. В умовах непотокової форми організації складання операційна карта складання не розробляється [56].

### **Особливості технічного нормування складальних операцій.**

Елементи штучного і штучно-калькуляційного часу встановлюють за нормативами.

Штучний час складальних операцій визначають за залежністю:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп1}} + t_{\text{уст}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{відп}} = t_{\text{оп}} \cdot \left( 1 + \frac{a}{100} \right),$$

де  $t_{\text{оп1}}$  – неповний оперативний час, що визнається за нормативами із урахуванням конкретних умов і програми випуску;

$t_{\text{уст}}$  – допоміжний час на установку і зняття деталі (вузла);

$t_{\text{обс}}$  – час на організаційно-технічне обслуговування робочого місця;

$t_{\text{відп}}$  – час на регламентований відпочинок і природні потреби;

$t_{\text{оп}} = t_{\text{оп1}} + t_{\text{уст}}$  – оперативний час операцій;

$a$  – нормований відсоток часу на організаційно-технічне обслуговування і відпочинок.

У серійному виробництві штучно-калькуляційний час визначають за залежністю:

$$t_{\text{шт-к}} = \frac{t_{\text{шт}} + t_{\text{п-з}}}{\Pi},$$

де  $t_{\text{п-з}}$  – підготовчо-завершальний час, що приймається для складальних робіт рівним 6 – 15 хв;

$\Pi$  – розмір партії (серії) виробів або вузлів (задається або визначається).

### **Контрольні питання**

1. Надайте визначення понять "виріб", "складальна одиниця".
2. Які є види і методи з'єднання деталей?
3. Які є методи досягнення точності замикаючої ланки?
4. Що таке такт складання і як його визначають?
5. Які є організаційні форми складання?
5. Що містить технологічна схема складання і як її розробляють?
6. У чому полягають особливості технічного нормування складальних операцій?

## **Робота 15. Високоєфективні технології виробництва**

**Мета роботи:** ознайомити студентів із прогресивними розробками високоєфективних технологій виробництва та результатами їх впровадження на діючих підприємствах. Навчити студентів системно оцінювати можливості високих технологій та творчо підходити до технологій створення машин.

### ***Загальні відомості***

#### **Ефективність застосування високопродуктивних збірних твердосплавних ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями**

Важливим чинником підвищення ефективності технологій механічної обробки деталей машин є застосування сучасних металорізальних верстатів із ЧПУ і прогресивних ріжучих інструментів, особливо закордонного виробництва, які забезпечують підвищення якості та продуктивності обробки, зниження трудомісткості. Сучасні ріжучі інструменти є збірними конструкціями, в яких використовують ріжучі пластини із твердих і керамічних сплавів зі зносостійкими покриттями виробництва провідних інструментальних фірм [41]. Ці інструменти відрізняються високою зносостійкістю і продуктивністю, забезпечують високоякісну обробку виробів, виготовлених із матеріалів із підвищеними фізико-механічними властивостями (високоміцні сталі й чавуни, високотверді наплавочні матеріали, високотверді важкооброблювані металеві й неметалеві матеріали та ін.). Висока твердість та зносостійкість цих ріжучих інструментів дозволяє ефективно їх використовувати в умовах високошвидкісного різання із швидкістю різання 1000 м/хв і більше, що приводить до суттєвого збільшення продуктивності обробки та дозволяє забезпечити високу якість оброблюваних поверхонь деталей.

Особливо ефективним є застосування цих інструментів на сучасних високооберткових металорізальних верстатах із ЧПУ типу "обробний центр", які реалізують високошвидкісне різання для різних видів механічної обробки: точіння, розточування, свердління, зенкерування й розвертання отворів, фрезерування, шліфування та ін. У цьому випадку обробка складних за геометричною формою деталей здійснюється фактично із одного установа, що різко підвищує точність та якість оброблюваних поверхонь. При цьому багаторазово знижується трудоміст-

кість обробки, оскільки не доводиться обробляти деталь на різних верстатах під час виконання різних операцій різними інструментами, що типово для традиційного машинобудування [14, 16, 58, 62, 62].

Завдяки концентрації технологічних операцій обробки різко скорочується їх кількість і кількість застосовуваних інструментів. Так, встановлено, що у результаті впровадження сучасних металорізальних верстатів із ЧПУ типу "обробний центр" і збірних твердосплавних ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями, які працюють в умовах високошвидкісного різання, вдалося під час обробки складнопрофільних агрегатів авіаційної техніки скоротити кількість технологічних операцій із 200 до 100, а ріжучих інструментів із 50 до 20 позицій. У зв'язку із цим, у даний час значна частина відповідальних високоточних деталей, обробка яких характеризується високою трудомісткістю та собівартістю, обробляються за новими технологіями високошвидкісного різання на сучасних високооберткових металорізальних верстатах із ЧПУ типу "обробний центр".

Ефект обробки досягається ще й за рахунок того, що на твердосплавні пластини нанесено багат шарові покриття, які характеризуються високою зносостійкістю й низьким коефіцієнтом тертя. Це знижує сили та температуру різання, й, відповідно, підвищує показники точності, якості та продуктивності обробки. Крім того, застосовувані тверді сплави витримують більш високі температури без зниження ріжучих властивостей, що на порядок і більше підвищує стійкість інструментів порівняно із традиційно застосовуваними інструментами, виготовленими із вітчизняних твердих сплавів. Таким чином, перехід до високошвидкісної обробки відкриває нові технологічні можливості високоякісного виготовлення деталей машин і систем.

Узагальнені розрахунки економічної ефективності впровадження ріжучих інструментів закордонного виробництва показали, що в середньому 22 % собівартості виготовленого виробу становить вартість сировини та матеріалів, 3 % – витрати на інструмент, 75 % – витрати на обладнання, заробітну плату й накладні витрати. Якщо ж ціну інструменту, який закуповує підприємство, зменшити на 20 %, то сумарна економія складе лише 0,6 %. Під час збільшення терміну служби інструменту на 50 % сумарна економія складе 1,5 %, а якщо за допомогою цього інструмента збільшити продуктивність на 20 %, то витрати на обладнання, заробітну плату й накладні витрати в собівартості виробу

зменшаться на 15 %. Тому під час збільшення вартості інструмента на 50 % відбудеться збільшення продуктивності й сумарна економія виробництва складе 13,5 %. Із цього можна зробити висновок, що, наприклад, зниження на 10 % трудомісткості обробки економічно вигідніше, ніж економія на 10 % вартості інструменту.

На рис. 15.1 і в табл. 15.1 наведено значення сумарних витрат  $C = C_{\text{інстр}} + C_{\text{облад}} + C_{\text{з/п}} + C_{\text{ін}}$  на обробку 1 деталі (де  $C_{\text{інстр}}$  – витрати на інструмент;  $C_{\text{облад}}$  – витрати на обладнання;  $C_{\text{з/п}}$  – витрати на заробітну плату;  $C_{\text{ін}}$  – інші витрати) у процесі виконання операції точіння деталей із сталі 45 традиційним твердосплавним ріжучим інструментом (виготовленим на підприємстві) та збірним твердосплавним інструментом зі зносостійким покриттям (виробництва фірми Tungaloy) із застосуванням оптимальних параметрів режимів різання. Вихідні дані: діаметр деталі  $D$  – максимальний 55 мм і мінімальний 25 мм; швидкість різання  $V = 431,8$  м/хв; оберти шпинделя  $n = 2500$  об./хв; подача на оберт  $S_0 = 0,25$  мм/об.; подача  $S_{\text{хв}} = 625$  мм/хв; глибина різання  $t = 3$  мм; кількість проходів – 1; сумарне лінійне переміщення інструмента – 60 мм.

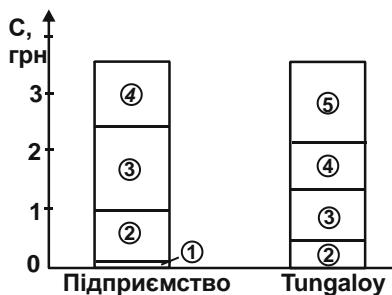


Рисунок 15.1 – Сумарні витрати  $C$  на виконання операцій точіння традиційним інструментом (підприємство) та інструментом фірми Tungaloy: 1 –  $C_{\text{інстр}}$ ; 2 –  $C_{\text{облад}}$ ; 3 –  $C_{\text{з/п}}$ ; 4 –  $C_{\text{ін}}$ ; 5 – економія  $E$

Як витікає із табл. 15.1, трудомісткість обробки інструментом фірми Tungaloy приблизно у 2 рази менше трудомісткості обробки традиційно застосовуваним на підприємстві інструментом. Тому й сумарні витрати  $C$  на виконання операції точіння (які припадають на одну де-

таль) інструментом фірми Tungalou менше. Витрати на інструмент  $C_{\text{інстр}}$  і на обладнання  $C_{\text{облад}}$  під час обробки ріжучим інструментом фірми Tungalou, відповідно, у 3,5 рази та у 1,87 разів менше аналогічних витрат, які досягнуто у процесі обробки із традиційно застосовуваними на підприємстві ріжучими інструментами.

Таблиця 15.1 – Розрахунок сумарних витрат С на виконання операції точіння

Статті витрат (показники) на обробку однієї деталі	Одиниці вимірювання	Варіант 1 (базовий)	Варіант 2 (упроваджуваний)	Частка статей витрат, %	
		Підприємство	Tungalou	Підприємство	Tungalou
Трудомісткість обробки Т	год	0,0175	0,009		
Витрати на інструмент $C_{\text{інстр}}$	грн	0,07	0,02	2,12	1,01
Витрати на обладнання $C_{\text{облад}}$	грн	0,86	0,46	26,07	23,24
Витрати на заробітну плату $C_{\text{з/п}}$	грн	1,20	0,76	36,36	38,38
Інші витрати $C_{\text{ін}}$	грн	1,17	0,74	35,45	37,37
Сумарні витрати С	грн	3,30	1,98	100	100
Економія витрат на обробку однієї деталі Е	грн		1,32		

Економія витрат на обробку однієї деталі у розмірі 1,32 грн (або 40 %) досягнуто завдяки застосуванню ріжучих інструментів фірми Tungalou, виготовлених із більш зносостійких твердих сплавів із покриттям. Для порівняння у табл. 15.2 наведено значення сумарних витрат  $C = C_{\text{інстр}} + C_{\text{облад}} + C_{\text{з/п}} + C_{\text{ін}}$  на обробку однієї деталі під час опе-

рації фрезерування деталей із сталі 45 традиційним твердосплавним інструментом та збірним твердосплавним інструментом зі зносостійким покриттям (фірма Tungaloy) із застосуванням оптимальних режимів різання. Відповідно, швидкість різання  $V$ : 100,48 і 200,96 м/хв; оберти шпинделя  $n$ : 1000 і 2000 об./хв; кількість зубів фрези: 4 і 3; подача на зуб  $S_z$ : 0,1 і 0,3 мм/зуб; подача на оберт  $S_0$ : 0,4 і 0,9 мм/об.; подача  $S_{XB}$ : 400 і 1800 мм/хв; глибина різання  $t$ : 4 і 6 мм; ширина різання  $B$ : 60 мм; кількість проходів: 3 і 2; діаметр фрези  $D = 32$  мм.

Таблиця 15.2 – Розрахунок сумарних витрат  $C$  на виконання операції фрезерування

Статті витрат (показники) на обробку однієї деталі	Од. вимірювання	Варіант 1 (базовий)	Варіант 2 (упровад-жуваний)	Частка статей витрат, %	
		Підприємство	Tungaloy	Підприємство	Tungaloy
Трудомісткість обробки $T$	год.	0,37	0,16		
Витрати на інструмент $C_{інстр}$	грн	5,64	2,24	5,69	4,0
Витрати на обладнання $C_{облад}$	грн	27,18	13,26	27,44	23,73
Витрати на заробітну плату $C_{з/п}$	грн	29,18	17,81	29,46	31,85
Інші витрати $C_{ін}$	грн	37,05	22,6	37,41	40,42
Сумарні витрати $C$	грн	99,05	55,91	100	100
Економія витрат на обробку однієї деталі $E$	грн		43,14		

На відміну від операції точіння (табл. 15.2), на операції фрезерування трудомісткість обробки  $T$  і сумарні витрати значно більше. Однак, як і на операції точіння, на операції фрезерування застосування ріжучих інструментів фірми Tungaloy призводить до зменшення трудомісткості обробки  $T$  (у 2 рази) та сумарних витрат  $C$  (у 1,77 разів) порівняно із традиційно застосовуваним фрезерним інструментом. Це указує на перспективність його впровадження у виробництво.

**Розроблення та впровадження сучасних технологій механічної обробки на сучасних верстатах із ЧПУ типу "обробний центр" збірними твердосплавними ріжучими інструментами зі зносостійкими покриттями деталей гідравлічних систем**

Підвищення продуктивності та зниження собівартості обробки, забезпечення високих вимог до точності та якості виготовлення деталей гідравлічних систем передбачає застосування зносостійких ріжучих інструментів, що характеризуються високою ріжучою здатністю, й високоточних сучасних верстатів із ЧПУ типу "обробний центр". Це, наприклад, стало визначальним чинником у вирішенні проблеми економічного виготовлення деталей гідравлічних систем, таких як плунжер, п'ята й сферична втулка (рис. 15.2). Тому далі наведено приклади ефективного використання сучасних збірних твердосплавних лезових ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями виробництва компанії ТаегуТес (Південна Корея) і верстатів типу "обробний центр" із ЧПУ для механічної обробки відповідальних деталей гідравлічних систем.

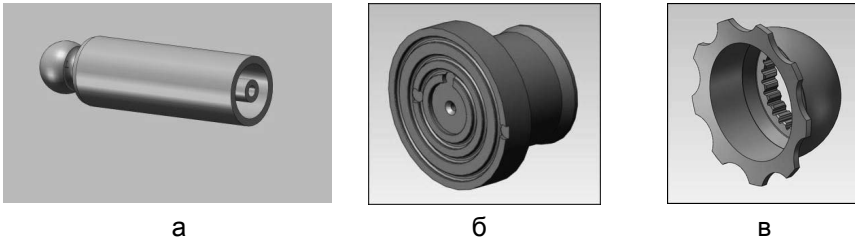


Рисунок 15.2 – Плунжер (а), п'ята (б), втулка сферична (в)

Плунжер виготовляється із сталі 40ХФ2, а п'ята і втулка сферична – із ливарної латуні ЛМцСКА. Обробку зазначених деталей (більше 10 різновидів і типорозмірів деталей) запропоновано здійснювати на високопродуктивному двовшпіндельному токарному обробному центрі PUMA 2100MS із приводним фрезерним інструментом (вісь С) і контршпінделем ("DOOSAN" виробництва Південна Корея), оснащеним револьверною головкою для зміни інструменту та системою управління (ЧПУ) Fanuc Oi-TD (рис. 15.3). Для кожного виробу виготовлено окремий комплект затискного оснащення, а для операцій кільцевого фрезування й глибокого свердління – верстат комплектувався потужною гідростанцією на 70 бар.



Рисунок 15.3 – Високопродуктивний двошпindelний токарний обробний центр PUMA 2100MS із приводним фрезерним інструментом і контр-шпindelем ("DOOSAN")

Під час розробки нової технології механічної обробки деталей гідравлічних систем основну увагу звернуто на економічність, пов'язану, з одного боку, на підвищення продуктивності та зменшення собівартості обробки, а з іншого боку – на універсалізацію обладнання із ЧПУ шляхом застосування нестандартних ріжучих інструментів і спеціального оснащення. Так, традиційно розглянуті деталі: плунжер, п'ята й втулка сферична оброблялися на різному устаткуванні. Навіть окремі операції доводилося виконувати на різних верстатах. Наприклад, токарну обробку плунжера здійснювали на одному обладнанні, а глибоке свердління – на другому верстаті (спеціальному верстаті для глибокого свердління). У даний момент ці операції об'єднано й вони здійснюються на одному верстаті "DOOSAN" із ЧПУ.

Крім того, використовуючи верстати агрегатного типу, складно коригувати розмір оброблюваної деталі у зв'язку зі зносом ріжучого інструменту. Для введення корекції на агрегатному верстаті необхідно витратити більше 5 хвилин, а для введення корекції на верстаті "DOOSAN" із ЧПУ – всього 20 секунд. Наприклад, після обробки на агрегатному верстаті при виявленні браку на 3-х оброблених деталях із 7, очевидно, і 4 наступні оброблені деталі також будуть браковані.



В умовах використання верстата "DOOSAN" є можливість контролювати кожну деталь й вилучати брак у процесі обробки. При цьому з'являється можливість збільшення продуктивності обробки на кожній операції за рахунок того, що верстат "DOOSAN" має підвищену жорсткість.

Отже, застосування такого обладнання, як верстат із ЧПУ "DOOSAN", дозволяє вирішити проблему економічності та продуктивності обробки, головним чином, за рахунок його універсалізації, можливості обробки трьох розглянутих типів деталей (плунжер, п'ята і втулка сферична) на одному верстаті. При цьому скорочуються витрати на енергоресурси. Для обслуговування верстата достатньо одного працівника, тоді як для обробки даних деталей на агрегатних верстатах необхідно більше 5 працівників, що дозволяє економити фонд заробітної плати на підприємстві. Крім того, мінімізується кількість бракованих деталей. Характеристики верстата "DOOSAN" дозволяють здійснювати токарну обробку деталей різної конфігурації. У разі зміни конструкції деталі можливе швидке переналадження обладнання.

Виходячи із цього, далі наведено результати експериментальних досліджень застосування збірних конструкцій ріжучих твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями замість традиційно використовуваних інструментів, якими здійснювали обробку плунжера, п'яти і втулки сферичної (рис. 15.2). На першому етапі розглянуто умови підвищення ефективності операцій механічної обробки плунжера.

1. За існуючою технологією напівчистову обробку зовнішньої циліндричної поверхні плунжера здійснювали звичайним контурним різцем із твердого сплаву T15K6 із параметрами режиму різання:  $V = 40$  м/хв;  $S = 0,15$  мм/об.;  $t = 1,0$  мм. Із метою підвищення продуктивності та зниження трудомісткості й собівартості обробки запропоновано використовувати сучасний збірний токарний різець TDJNL 2525 M15 зі змінною багатогранною пластиною TT8125 DNMG 150608 FC зі зносостійким покриттям (рис. 15.4) виробництва компанії TaeguTec (Південна Корея). Завдяки високим стійкісним характеристикам багатогранних змінних пластин зі зносостійким покриттям, вдалося інтенсифікувати режим різання:  $V = 100$  м/хв;  $S = 0,1$  мм/об.;  $t = 2,0$  мм. Це дозволило у 3 рази збільшити продуктивність обробки та головне – вилучити численні перезаточення інструменту і зменшити трудомісткість та собівартість обробки.



Рисунок 15.4– Збірний токарний  
різець зі змінною  
багатогранною пластиною  
TT8125

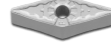


Рисунок 15.5 – Збірний токарний  
різець із кутом у плані  $93^\circ$  та  
зі змінною багатогранною  
пластиною TT8115

2. Ще більшого ефекту досягнуто на операції чистової токарної обробки, а також під час формування сфери і радіуса плунжера. Згідно із чинною технологією, дану операцію здійснювали тим самим твердосплавним різцем із режимом різання:  $V = 45$  м/хв;  $S = 0,1$  мм/об.;  $t = 0,08$  мм. Замість цього різця запропоновано використовувати сучасний збірний токарний різець SVJNL 2525 M13 із кутом у плані  $93^\circ$  зі змінною багатогранною пластиною TT8115 (рис. 15.5) VNMG 130404 FG, яка за твердістю перевищує пластину TT8125, що використовували для напівчистової обробки. Режим різання:  $V = 250$  м/хв;  $S = 0,12$  мм/об.;  $t = 0,3$  мм. У результаті вдалося підвищити продуктивність обробки більш ніж у 10 разів.

3. Для свердління отворів у плунжері за існуючою технологією застосовувалися центрувальні свердла із швидкорізальної сталі P18 із режимом різання:  $V = 40$  м/хв.;  $S = 0,1$  мм/об. Застосування свердла ECEM 2060 із сплаву UF 20 (рис. 15.6) дозволило збільшити швидкість різання до  $V = 80$  м/хв за однаковою подачею  $S = 0,1$  мм/об.



Рисунок 15.6 – Свердло ECEM 2060 із сплаву UF 20

Із метою підвищення продуктивності та якості обробки отворів було розроблено і впроваджено кардинально нові конструкції свердел для глибокого свердління отвору  $\varnothing 3,15$  мм SPGD-03150-0410-30577-01 із довжиною ріжучої частини 125 мм. Свердління рекомендується здійснювати із режимом різання:  $V = 60$  м/хв;  $S = 0,08$  мм/об.

Аналогічно розроблено ефективні операції механічної обробки деталі "п'ята" (рис. 15.2,б). За чинною технологією напівчистову обробку зовнішньої циліндричної поверхні деталі "п'ята" здійснювали фасонним різцем із швидкорізальної сталі P18 із режимом різання:  $V = 100$  м/хв;  $S = 0,1$  мм/об.;  $t = 2,0$  мм. Замість цього інструмента застосували збірний токарний різець TDJNL 2525 M15 зі змінною багатогранною пластиною DNMG 150608 ML із сплаву K10, що складається із WC + Co (рис. 15.7, табл. 15.3). Режим різання:  $V = 350$  м/хв;  $S = 0,25$  мм/об.;  $t = 1,5$  мм. Це дозволило продуктивність обробки збільшити у 6 разів, у таку ж кількість разів зменшилася собівартість обробки.



Рисунок 15.7 – Збірний токарний різець зі змінною багатогранною пластиною із сплаву K10

Таблиця 15.3 – Механічні та фізичні властивості твердого сплаву K10

Модуль пружності, Н/мм <sup>2</sup>	Межа міцності на вигин, Н/мм <sup>2</sup>	Межа міцності на стиск, Н/мм <sup>2</sup>	Твердість (HRA)	Теплопровідність, кал/(см·с·К)	Коефіцієнт теплового розширення, 10 <sup>-6</sup> /град.
620	> 2 400	6 200	92,7	0,19	4,7

4. Обробка трьох глухих отворів  $\varnothing 3,18 \pm 0,24$  мм раніше здійснювали спеціальним свердлом  $\varnothing 3,18$  мм із швидкорізальної сталі P18 із режимом різання  $V = 30$  м/хв;  $S = 0,05$  мм/об. Надалі на цій операції запропоновано застосовувати спеціальне твердосплавне свердло BOF D3.18X0.7X60-6 із ультрадрібнозернистого твердого сплаву UF10 (рис. 15.8) із режимом різання  $V = 120$  м/хв;  $S = 0,07$  мм/об. Це дозволило більш ніж у 5 разів підвищити продуктивність обробки із одночасним зменшенням собівартості обробки.

5. Обробку центрального отвору  $\varnothing 1,57^{+0,11}_{-0,04}$  мм раніше здійснювали спеціальною фрезою  $\varnothing 1,57$  мм із швидкорізальної сталі P18 із режимом різання  $V = 30$  м/хв,  $S = 0,05$  мм/об. Застосування спеціальної твердосплавної фрези SSD D1.6X20FX70-6 із сплаву UF10 (рис. 15.9) із

режимом різання:  $V = 100$  м/хв,  $S = 0,07$  мм/об. дозволило у 5 разів збільшити продуктивність і зменшити собівартість обробки.

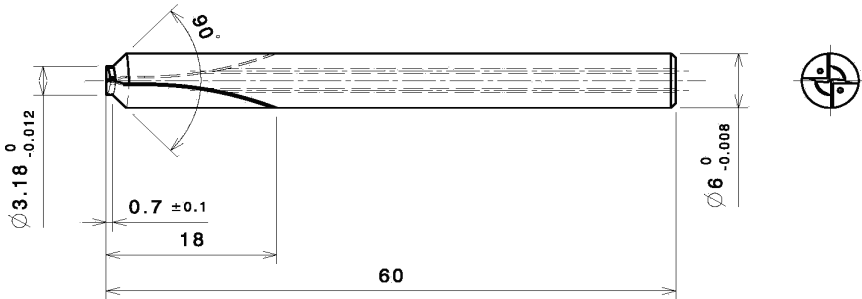


Рисунок 15.8 – Креслення твердосплавного свердла BOF D3.18X0.7X 60-6 із сплаву UF10

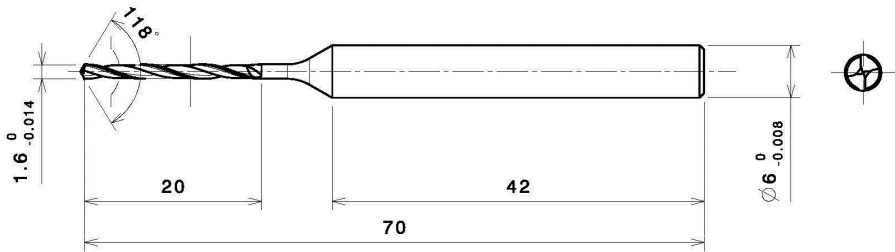


Рисунок 15.9 – Креслення твердосплавної фрези SSD D1.6X20FX 70-6 із сплаву UF10

6. Точіння торцевих канавок запропоновано здійснювати із режимом різання:  $V = 150$  м/хв;  $S = 0,1$  мм/об. канавочним різцем зі змінною пластиною TTER 2525-2T8 й TDFT 1.25-0.38-D22 K10, відповідно. Раніше операцію здійснювали напайним канавочним різцем із швидко-різальної сталі P18 із режимом різання:  $V = 70$  м/хв;  $S = 0,07$  мм/об. У результаті досягнуто збільшення продуктивності обробки до 3 разів.

7. Чорнова операція розточування отвору  $\varnothing 17,12 \pm 0,04$  мм здійснювали різцем S16P SVJCR-11-UKR із використанням змінної пластини VCGT 110304 FL із сплаву K10 (рис. 15.10) із режимом різання:  $V = 110$  м/хв;  $S = 0,08$  мм/об.;  $t = 0,5$  мм. Раніше цю операцію здійснювали із використанням напайного розточувального фасонного різця із швидко-різальної сталі P18 із режимом різання:  $V = 50$  м/хв;  $S = 0,05$  мм/об.;  $t = 0,5$  мм. Це у 4 рази підвищило продуктивність обробки.



Рисунок 15.10 – Змінна пластина зі сплаву K10

8. Для обробки сфер  $R = 1,52$  й  $\varnothing 3,94 \pm 0,11$  мм традиційно використовували спеціальні фрези із швидкорізальної сталі P18 із режимом різання:  $V = 50$  м/хв;  $S = 0,05$  мм/об. Завдяки використанню збірних фрез SBE 20304 й SBE 20394 із твердого сплаву UF10, які дозволяють реалізувати режим різання:  $V = 150$  м/хв;  $S = 0,08$  мм/об., вдалося підвищити швидкість різання та продуктивність обробки у 3 рази.

9. Обробка стопорної канавки за новою технологією здійснюється токарним різцем MVQNR 2525 M16 зі змінною пластиною VNGG 160404 ML із сплаву K10 із режимом різання:  $V = 420$  м/хв;  $S = 0,1$  мм/об.;  $t = 0,5$  мм. Раніше використовували контурний різець із швидкорізальної сталі P18 із режимом різання:  $V = 110$  м/хв;  $S = 0,08$  мм/об.;  $t = 0,1$  мм. Це дозволило більш ніж у 10 разів підвищити продуктивність обробки.

Виконано оцінювання ефективності застосування розроблених операцій механічної обробки деталі "втулка сферична" (рис. 15.2,в).

10. За чинною технологією операцію напівчистої обробки зовнішньої циліндричної поверхні деталі "втулка сферична", а також торцевої поверхні здійснювали фасонним різцем із швидкорізальної сталі P18 із режимом різання  $V = 100$  м/хв;  $S = 0,1$  мм/об.;  $t = 2,0$  мм. Замість цього інструменту застосували сучасний збірний токарний різець TDJNL 2525 M15 зі змінною багатогранною пластиною DNMG 150608 ML із сплаву K10 (рис. 15.11). Це дозволило реалізувати наступний режим різання:  $V = 350$  м/хв;  $S = 0,25$  мм/об.;  $t = 1,5$  мм, що забезпечило підвищення продуктивності обробки.



Рисунок 15.11 – Збірний токарний різець зі змінною багатогранною пластиною зі сплаву K10

11. Розточування, а також обробку торця втулки раніше виконували контурним різцем зі швидкорізальної сталі P18 із режимом різання:  $V = 110$  м/хв.;  $S = 0,08$  мм/об.;  $t = 0,1$  мм. Запропоновано обробку здійснювати токарним різцем S25T SDUCR 11 із кутом у плані  $93^\circ$ , оснащеним пластиною DCGT 11T304 FL із сплаву K10 (рис. 15.12) із режимом різання:  $V = 250$  м/хв.;  $S = 0,2$  мм/об.;  $t = 1,0$  мм. У результаті досягнуто збільшення продуктивності обробки більш ніж у 10 разів.



Рисунок 15.12 – Токарний різець із кутом у плані  $93^\circ$ , оснащений пластиною із сплаву K10

12. Фрезерування круглих лисок ("зірочки") за діючою технологією здійснювали фрезою  $\varnothing 10$  мм із швидкорізальної сталі P18 із режимом різання:  $V = 30$  м/хв;  $S = 0,08$  мм/об. Дану фрезу замінили на фрезу REMA 3 100C із твердого сплаву UF10 (рис. 15.13). Це дозволило інтенсифікувати режим різання:  $V = 100$  м/хв;  $S = 0,15$  мм/об. та більш ніж у 6 разів підвищити продуктивність обробки.



Рисунок 15.13 – Фреза REMA із твердого сплаву UF10

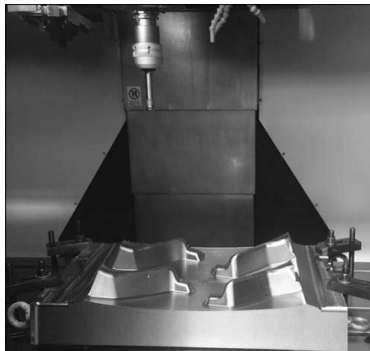
Отже, застосування збірних конструкцій твердосплавних ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями за умови правильного встановлення режимів різання дозволяє значно збільшити продуктивність та зменшити собівартість обробки за одночасним забезпеченням високих показників точності, якості та шорсткості оброблюваних поверхонь. Із метою підвищення працездатності ріжучих інструментів під час різання матеріалів із підвищеними фізико-механічними властивостями та розширення технологічних можливостей металорізальних верстатів, наведено характеристики сучасних верстатів із ЧПУ та ріжучих твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями.

## Умови підвищення ефективності механічної обробки складно-профільних робочих поверхонь сектора прес-форми для шини діаметром 2 200 мм

Впровадження сучасних збірних твердосплавних ріжучих інструментів і обладнання із ЧПУ дозволило вирішити у ПАТ "Днірполімермаш" (м. Дніпро) проблему створення складнопрофільних робочих поверхонь сектора (елемента) прес-форми для шини діаметром 2 200 мм (рис. 15.14). За діючою технологією обробку здійснювали на протязі 180 годин. Впровадження нової технології дозволило виключно за рахунок підвищення режимів різання та зменшення кількості проходів скоротити машинний час до 15,5 годин (рис. 15.15). У результаті досягнуто зменшення машинного часу в 11,5 разів, що дозволило підприємству виграти тендер на поставку виробів вартістю в мільйони доларів.



а



б

Рисунок 15.14 – Сектор у зборі (а) та його обробка на верстаті (б)

Ефект обумовлений застосуванням нових збірних твердосплавних ріжучих інструментів спільного виробництва компанії TaeguTec (Південна Корея) та Технічного Центру "ВаріУс" (м. Дніпро): торцевої фрези  $\varnothing 100$  мм із механічним кріпленням пластин SCRM90TN 6100-32R-22 (рис. 15.16,а); кінцевої фрези  $\varnothing 32$  мм із механічним кріпленням пластин TE90AP 332-32-17-L (рис. 15.16,б); сферичної фрези  $\varnothing 25$  мм із механічним кріпленням пластини TBN 250-32M (рис. 15.16,в).

Використовують пластини зі зносостійкими покриттями (сплав TT9080, рис. 15.16,г), які забезпечують високу стійкість ріжучих інструментів. Чорнову обробку здійснюють торцевою фрезою  $\varnothing 100$  мм із ре-

жимом різання: швидкість різання  $V = 140$  м/хв ( $n = 440$  об./хв); подача на зуб  $S_z = 0,11$  мм/зуб; подача столу  $S = 300$  мм/хв; глибина 6 мм; ширина 70 мм.

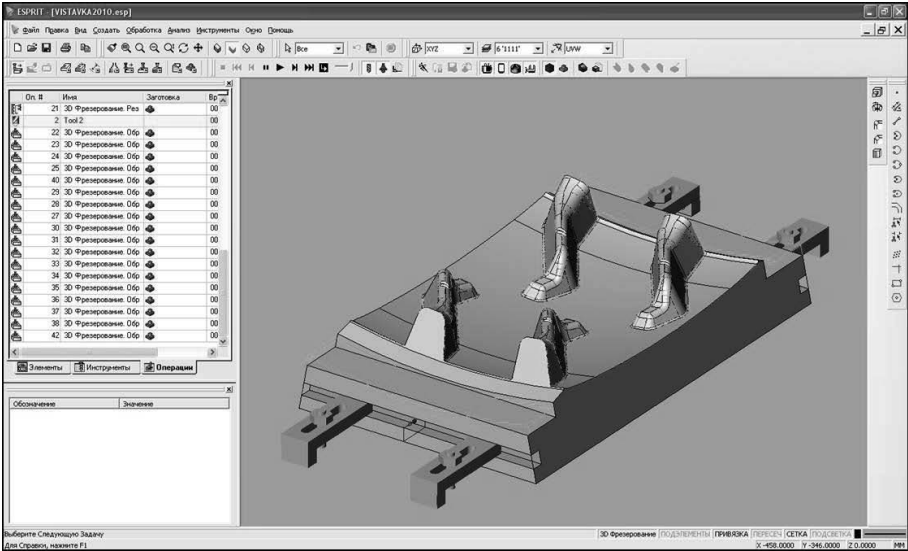


Рисунок 15.15 – Траєкторії руху інструменту в САМ системі Esprit

Напівчистову обробку здійснюють кінцевою фрезою  $\varnothing 32$  мм із режимом: швидкість різання  $V = 170$  м/хв ( $n = 1700$  об./хв); подача на зуб  $S_z = 0,2$  мм/зуб; подача столу  $S = 1000$  мм/хв; глибина різання 1 мм; ширина різання 23 мм.

Чистову обробку здійснюють кінцевою фрезою  $\varnothing 21$  мм з режимом різання: швидкість різання  $V = 330$  м/хв ( $n = 5000$  об./хв); подача на зуб  $S_z = 0,4$  мм/зуб; подача столу  $S = 3900$  мм/хв; глибина різання 0,3 мм; ширина різання 0,5 мм.

Чистову обробку здійснюють сферичною фрезою  $\varnothing 25$  мм із режимом різання: швидкість різання  $V = 390$  м/хв; подача на зуб дорівнює 0,3 мм/зуб; обороти шпинделя  $S = 5000$  об./хв; глибина різання 1 мм; подача столу  $F = 3000$  мм/хв; ширина різання 0,35 мм. Застосовано нестандартні підходи до контролю якості – впроваджено САМ системи ESPRIT (рис. 15.17). Це дозволило виключити проміжні виміри у процесі обробки деталі, що підвищує продуктивність праці.



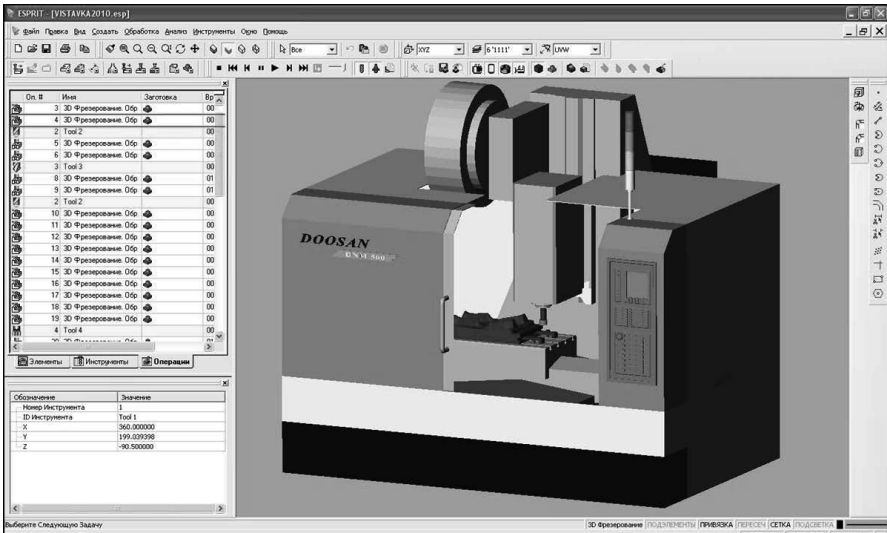


Рисунок 15.17 – Контроль і симуляція обробки в САМ системі Esprit

Наведені приклади наочно показують, що застосування сучасного обладнання та збірних твердосплавних ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями відкриває нові технологічні можливості в інтенсифікації процесів механічної обробки відповідальних деталей гідравлічних систем, а також інших деталей із важкооброблюваних матеріалів. У результаті досягається багаторазове збільшення продуктивності та зниження собівартості обробки за умови забезпечення високих показників точності та якості оброблюваних поверхонь.

### Сутність та етапи розвитку високих технологій

**Робототехніка.** Робот – це програмований механічний пристрій, здатний виконувати завдання та взаємодіяти із зовнішнім середовищем без допомоги з боку людини. Робототехніка – це наукова й технічна база для проектування, виробництва та застосування роботів (рис. 15.18) [21, 28].

До компонентів робота належать: тіло/рама (рис. 15.19), система управління, маніпулятори та ходова частина.

*Тіло, або рама, робота* може мати будь-яку форму й розмір, вона забезпечує конструкцію робота.



Рисунок 15.18 – Роботизоване виробництво



Рисунок 15.19 – Тіло/рама  
робота



Рисунок 15.20 – Робот  
на колесах

*Система управління робота є еквівалентом центральної нервової системи людини. Вона призначена для координування управління всіма елементами робота. Датчики реагують на взаємодію робота з зовнішнім середовищем. Відповіді датчиків відправляються в центральний процесор (ЦП), в якому обробляються дані за допомогою про-*

грамного забезпечення й приймається рішення на базі логіки. Те ж саме відбувається при введенні користувальницької команди.

*Маніпулятори.* Для виконання завдання більшість роботів взаємодіє із зовнішнім середовищем, а також навколишнім світом. Іноді потрібно переміщення об'єктів зовнішнього середовища без безпосередньої участі з боку операторів. Маніпулятори не є елементом базової конструкції робота, як його тіло/рама або система управління, тобто робот може працювати й без маніпулятора.

*Ходова частина.* Хоча деякі роботи можуть виконувати поставлені завдання, не змінюючи своє місце розташування, найчастіше від роботів потрібна здатність переміщатися з одного місця в інше. Для цього необхідна ходова частина, тобто привідний засіб переміщення. Роботи-гуманоїди оснащені ногами, тоді як ходова частина практично всіх інших роботів реалізована за допомогою коліс (рис. 15.20).

За областю застосування роботів розподіляють на три основні категорії: промислові роботи; дослідні роботи; освітні роботи.

*Промислові роботи.* У промисловості для виконання величезної кількості робіт необхідні висока швидкість та точність. Протягом багатьох років відповідали за виконання подібних робіт люди. Із розвитком технологій використання роботів дозволило прискорити й підвищити точність багатьох виробничих процесів: упакування, складання, фарбування й укладання на піддони. Спочатку роботи виконували тільки особливі види повторюваних робіт, де вимагалось дотримання простого заданого набору правил. Із розвитком технологій промислові роботи стали набагато більш рухливі, й тепер вони здатні приймати рішення на основі складної відповіді від датчиків. В даний час промислові роботи, як правило, оснащені системами технічного зору (рис. 15.21). Роботів можна використовувати для виконання складних, небезпечних завдань, а також завдань, які людина виконати не в змозі. Наприклад, роботи здатні знешкоджувати бомби, обслуговувати ядерні реактори, досліджувати глибини океану й досягати найвіддаленіших куточків космосу.

*Дослідницькі роботи.* Роботи мають широке застосування в світі досліджень, оскільки їх часто використовують для виконання завдань, у вирішенні яких людина безпорадна. Найбільш небезпечні й складні середовища знаходяться під поверхнею Землі. Із метою вивчення космічного простору й планет сонячної системи використовуються космічні апарати, посадочні модулі й всюдиходи з функціями роботів.



Рисунок 15.21 – Промислові роботи

*Роботи в освіті.* Робототехніка стала захоплюючим і доступним інструментом навчання та підтримки концепції – STEM (це об'єднання природничих наук, технології, інженерії та математики), проектування й підходів до вирішення завдань. В робототехніці учні отримують можливість реалізувати себе в ролі проектувальників, артистів і техніків одночасно, використовуючи власні руки й голову. Це відкриває величезні можливості застосування наукових і математичних основ.

У сучасній системі освіти, із урахуванням фінансових обмежень, середні й вищі навчальні заклади знаходяться в постійному пошуку економічно вигідних шляхів викладання складних програм (поєднують технології з безліччю дисциплін) учням для їх підготовки до професійної діяльності. Викладачі відразу побачили переваги робототехніки й даного навчального курсу, оскільки в них реалізовано міжпредметні методи поєднання різних дисциплін. Крім того, робототехніка пропонує найбільш доступне й відповідне для повторного використання обладнання.

Зараз школи застосовують робототехнічні програми в класі для "пожвавлення" навчальних курсів і забезпечення відповідності широко-

му спектру академічних стандартів, необхідних для учнів. Робототехніка не тільки є унікальною й широкою базою для викладання різноманітних технічних дисциплін, але також областю техніки, що значно впливає на розвиток сучасного суспільства.

*Призначення робототехніки.* Робототехніка є новою областю техніки, яка застосовується в багатьох сферах життя людини. Важливим чинником розвитку суспільства є освідченість всіх його членів в частині існуючих технологій. Але це не єдина причина зростаючої значущості робототехніки. Робототехніка унікально поєднує основи дисциплін STEM (природничі науки, технології, інженерію та математику). У процесі навчання студенти вивчають різні дисципліни та їх взаємозв'язки, використовуючи сучасні, технологічні інструменти. Крім цього, візуальне подання проектів, яке вимагається від студентів, стимулює їх до експериментів і прояви винахідливості в процесі пошуку естетичних і працездатних рішень. Комбінуючи ці аспекти праці, студенти підвищують свої знання й можливості на новий рівень.

### ***Технології штучного інтелекту***

*Штучний інтелект* – це технологія, а точніше напрямок сучасної науки, що вивчає способи навчити комп'ютер, роботизовану техніку й аналітичну систему розумно мислити, так як мислить людина [19].

Людей в середині 1950-х років значно вразили можливості обчислювальних машин, особливо здатності електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), безпомилково виконувати безліч завдань одночасно. У головах вчених і письменників відразу виникли фантастичні ідеї щодо машин, які мислять. Саме в цей період починають зароджуватися перші технології штучного інтелекту.

Дослідження в сфері штучного інтелекту проводяться шляхом вивчення розумових здібностей людини та перекладання отриманих результатів в поле діяльності комп'ютерів. Таким чином, штучний інтелект отримує інформацію з різних джерел й дисциплін: це й інформатика, математика, лінгвістика, психологія, біологія, машинобудування. На основі масиву даних за допомогою технології машинного навчання комп'ютери намагаються імітувати інтелект людини (рис. 15.22).

Головні цілі штучного інтелекту:

- створення аналітичних систем, які відзначаються розумною поведінкою, можуть самостійно або під наглядом людини навчатися, робити прогнози й будувати гіпотези на основі масиву даних;

- реалізація інтелекту людини в машині – створення роботів-помічників, які можуть поводитися як люди: думати, вчитися, розуміти й виконувати поставлені завдання.

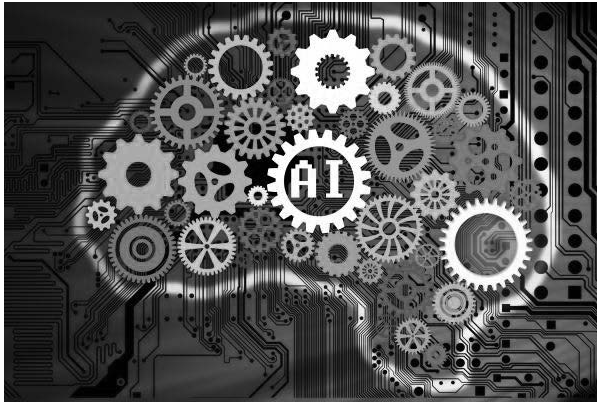


Рисунок 15.22 – Образ імітування інтелекту людини

Технологічні принципи штучного інтелекту:

*машинне навчання* (МН) – принцип розвитку штучного інтелекту на основі самонавчаючих алгоритмів. Участь людини при такому підході обмежується завантаженням у "пам'ять" машини масиву інформації та постановкою мети. Існує кілька методик МН:

- навчання з учителем – людина задає конкретну мету, хоче перевірити гіпотезу або підтвердити закономірність;
- навчання без вчителя – результат інтелектуальної обробки даних невідомий – комп'ютер самостійно знаходить закономірності, вчиться думати як людина;
- глибоке навчання – це змішаний спосіб, головна відмінність в обробці великих масивів даних і використання нейромереж (рис. 15.23).

*Нейромережа* – математична модель, яка імітує будову та функціонування нервових клітин живого організму. В ідеалі – це система, що самостійно навчається.

Якщо перенести принцип на технологічну основу, то нейромережа – це безліч процесорів, які виконують якусь одну задачу в масштабному проекті. Іншими словами, суперкомп'ютер – це мережа із безлічі звичайних комп'ютерів.

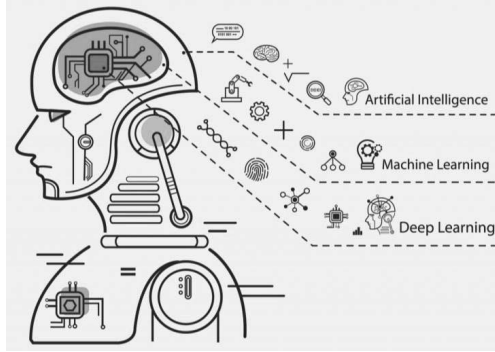


Рисунок 15.23 – Образне подання неймереж

Глибоке навчання відносять в окремий принцип штучного інтелекту, оскільки цей метод використовується для виявлення закономірностей в величезних масивах інформації. Для такої непосильної для людини роботі комп'ютер використовує вдосконалені методики.

*Когнітивні обчислення* – це один з напрямків штучного інтелекту, який вивчає та впроваджує процеси природної взаємодії людини й комп'ютера, на зразок взаємодії між людьми. Мета технології штучного інтелекту полягає в повній імітації людської діяльності вищого порядку: мова, образне та аналітичне мислення.

*Комп'ютерний зір* – цей напрям штучного інтелекту використовується для розпізнавання графічних- та відеозображень. Сьогодні машинний інтелект може обробляти та аналізувати графічні дані, інтерпретувати інформацію відповідно до навколишнього середовища (рис. 15.24).



Рисунок 15.24 – Комп'ютерний зір

*Синтезоване мовлення.* Комп'ютери вже можуть розуміти, аналізувати й відтворювати людську мову. Ми вже можемо управляти програмами, комп'ютерами та гаджетами за допомогою мовних команд.

Крім того, важко уявити існування штучного інтелекту без потужних графічних процесорів, які є серцем інтерактивної обробки даних. Для інтеграції штучного інтелекту в різні програми та пристрої необхідна технологія API – програмні інтерфейси додатків. Використовуючи API можна без вагань додавати технології штучного інтелекту в будь-які комп'ютерні системи: домашню безпеку, розумний будинок, обладнання на ЧПУ та ін.

Сфера використання штучного інтелекту:

*Медицина і охорона здоров'я.* Комп'ютерні системи ведуть облік пацієнтів, допомагають в розшифровці діагностичних результатів, наприклад, знімки УЗД, рентгену, томографа та іншого медобладнання. Інтелектуальні системи навіть можуть за наявності ознак у пацієнта визначати хворобу, пропонувати оптимальні варіанти лікування.

*Політика.* Інтелектуальні машини допомогли Бараку Обамі виграти другі президентські вибори. Для своєї кампанії тоді ще чинний президент США найняв кращу команду професіоналів в області аналізу даних. Фахівці використовували можливості інтелектуальних машин, щоб розрахувати найкращий день, штат й аудиторію для виступів Обами. За оцінками фахівців це дало перевагу в 10 – 12 %.

*Промисловість.* Штучний інтелект може аналізувати дані з різних виробничих ділянок і регулювати навантаження на устаткування. Крім того, інтелектуальні машини використовують для прогнозування попиту в різних галузях промисловості.

*Ігрова індустрія, освіта.* Штучний інтелект активно застосовується розробниками ігор. Розумні машини, робототехніка поступово впроваджуються в освітні процеси більшості держав.

Можливості штучного інтелекту на даній стадії розвитку не безмежні. До головних труднощів його розвитку можна віднести наступне:

1. Навчання машин можливо тільки на основі масиву даних, тобто будь-які неточності в інформації позначаються на кінцевому результаті.
2. Інтелектуальні системи обмежені конкретним видом діяльності: розумна система налаштована на виявлення шахрайства в сфері оподаткування, тоді як виявляти махінації в банківській сфері не може.



Отже, інтелектуальні системи є вузькоспеціалізованими програмами, яким ще далеко до багатозадачності людини.

3. Інтелектуальні машини не є автономними. Для забезпечення їх "життєдіяльності" необхідна ціла команда фахівців та значні ресурси.

Штучний інтелект тісно пов'язаний з розвитком комп'ютерної техніки, а також таких наук як математика, статистика, комбінаторика та ін.

**Нанотехнології.** Із розвитком технологій людство все більше прагне до автоматизації та оптимізації всього навколо себе. Багато в чому оптимізація зачіпає форму, матеріал і розміри оптимізованих об'єктів. Комп'ютери стають все компактнішими, екрани все тоншими, а деякі пристрої навіть неможливо розгледіти неозброєним оком. Тому, чим менше сам пристрій, тем менше його складові. Все це відноситься до нанотехнологій. Існує безліч описів даного терміну. Одним з таких описів є: використання та маніпулювання процесами й матеріалами об'єктів в нанометровому масштабі [45, 62, 78].

Слід зазначити, що розміри більшості атомів лежать в інтервалі від 0,1 до 0,2 нм, ширина молекули ДНК приблизно 2 нм, людської волосини – 80 000 нм. Термін "нанотехнологія" вперше запропонував японський фізик Норіо Танігуті в 1974 році, описуючи цим терміном процес створення об'єктів розміром в кілька нанометрів.

Починаючи із 2000-х років, нанотехнології вже щільно вкоренилися в умах багатьох вчених, змусивши їх усвідомити, що маніпуляції із наночастинками не тільки можливі, але й є ключем до колосального прориву.

На даний момент нанотехнології настільки поширені у нашому житті, що іноді ми навіть й уявити не можемо, де нам зустрічаються їх сліди. Найяскравішим і популярним прикладом використання наночасток і нанотехнологій є смартфони, планшети й різні кишенькові комп'ютери (рис. 15.25). Не менш вражаючі приклади: фарба, здатна змінювати свій колір, зубна паста з ефектом відновлення зубної емалі, лейкопластир з найтоншим срібним покриттям для кращого й швидкого загоєння ран та багато інших. Використання нанотехнологій настільки перспективно, що їх дослідження не припиняється ані на день, а в процесі проектування нових ідей та інновацій вже давно задіяні найкращі фахівці у цій галузі.

Із найостанніших відкриттів у наносфері можна назвати створення крихітного пристрою для передачі голографічного зображення (якому вже пророкують використання в рекламній індустрії, а також як допов-

нення в інтернет-комунікаціях), створення наноплівки для використання в гнучких сонячних батареях і в якості провідника електрики, створення нанороботів, здатних переміщуватися в рідині та в перспективі стати новим витком в наномедицині, створення нанороботів, здатних самостійно лагодити пошкодження в своїх електроланцюгах.

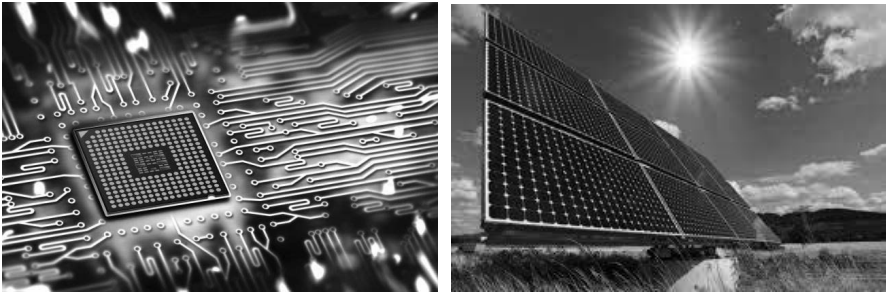


Рисунок 15.25 – Приклади використання нанотехнологій

Об'єктами нанотехнологій на мікрорівні є:

- наночастинки, нанопорошки – об'єкти, у яких три характеристичних розміри знаходяться в діапазоні до 100 нм;
- нанотрубки, нановолокна – об'єкти, у яких два характеристичних розміри знаходяться в діапазоні до 100 нм;
- наноплівки – об'єкти, у яких один характеристичний розмір знаходиться в діапазоні до 100 нм.

Об'єктом нанотехнологій можуть бути й макроскопічні об'єкти, атомарна або молекулярна структура яких створюється завдяки контрольованому запрограмованому розподілу мікрочастинок на рівні окремих атомів або молекул.

Нанотехнології якісно відрізняються від традиційних технологій, оскільки в таких масштабах звичні (макроскопічні) технології при роботі з матерією часто непридатні, а мікроскопічні явища, зневажливо слабкі в звичайних масштабах, стають набагато більш значущими й непередбачуваними: властивості й взаємодії окремих атомів і молекул (або агрегатів молекул), квантові ефекти приймають абсолютно новий характер.

На практиці нанотехнології – це технології виробництва пристроїв та їх компонентів, необхідних для створення, обробки й маніпуляції

атомами, молекулами та частинками, розміри яких знаходяться в межах від 1 до 100 нанометрів.

Під час роботи із розмірами на атомно-молекулярному рівні проявляються квантові ефекти та ефекти міжмолекулярних взаємодій, таких як Ван-дер-Ваальсові взаємодії. Нанотехнології й, особливо, молекулярна технологія – нові області, які зараз в світі інтенсивно досліджуються. Наприклад, розвиток сучасної електроніки йде шляхом зменшення розмірів пристроїв. Із іншого боку, класичні методи виробництва наближаються до свого природного економічного та технологічного бар'єру, коли розмір пристрою зменшується не набагато, але при цьому економічні витрати зростають за експоненціальним законом.

*Нанотехнології* – черговий логічний крок розвитку електроніки та інших наукоємних виробництв.

Вченим і технологам давно відомо, що дуже дрібні частинки різних речовин мають властивості неадекватні властивостям цих речовин у відносно великих об'ємних фазах. Наприклад, давні римляни застосовували свержмалі частки золота або срібла для додання різним



Рисунок 15.26 –  
Кубок

скляним виробам (келихам) специфічного забарвлення. На рис. 15.26 показано виготовлений кубок, який має рубінове забарвлення. Ефект досягнутий за рахунок введення в матеріал наночастинок золота, що надало склу благородні колірні рубінові оптичні властивості. Отриманий ефект не можна віднести до усвідомленого явища – це неусвідомлений процес складувів, отриманий в результаті багатовікової практики. Аналогічно можна сказати про колоїдні суспензії, коли системи з частинками менше мікрона в рідкому середовищі є лікарськими препаратами.

Початком ери нанотехнології й нанонауки можна вважати наступні події початку 1980-х років: народження науки про нанопорошки; винахід скануючого тунельного мікроскопа (STM). Ці досягнення, зокрема, призвели до відкриття фулеренів в 1986 році й вуглецевих нанотрубок через декілька років. Далі було вивчено синтез і властивості напівпровідникових нанокристалів. Це призвело до швидкого прогресу теоретичних і прикладних досліджень субмікроскопічних частинок.

Основним інструментом для роботи в області мікрочастинок на атомно-молекулярному рівні є мікроскопи. Історично без мікроскопа неможливо розглянути і пізнати мікросвіт. Підвищення здатності мікроскопа в пізнаванні мікросвіту та розширення знань щодо елементарних частинок відбуваються одночасно. В даний час за допомогою мікроскопів (атомно-силового мікроскопа (АСМ), сканіруючого електронного мікроскопа (СЕМ)) можна не тільки побачити окремі атоми, але також вибірково впливати на них, зокрема, переміщати атоми на поверхні. Вченим вже вдалося створити двовимірні наноструктури на поверхні, використовуючи даний метод.

Відмітна особливість нових матеріалів в процесі застосування нанотехнологій при їх отриманні – це непередбачувані одержувані фізико-технічні характеристики, які вони отримують. У зв'язку з цим з'являється можливість отримання нових квантових фізико-механічних характеристик в речовинах, у яких змінюються звичайні електронні структури, що змінює звичайну форму прояви в нових сполуках. Наприклад, можливість зменшення розміру частки не завжди піддається визначенню й вимірам розмірів елементарних частинок за допомогою макро- й мікровимірювань. Однак, це стає можливим, коли діапазон розмірів наночастинок знаходиться в зоні мілімікронів. Певна кількість фізико-механічних властивостей також змінюється зі зміною розмірів макроскопічних елементів. В даний час нові незвичайні механічні властивості наноматеріалів – предмет дослідження наномеханіки. Особливе місце в нанотехнологіях отримання нових речовин займає застосування каталізаторів, що впливають на незвичайну поведінку наноматеріалів у взаємодії з біоматеріалами.

Частинки, розмірами від 1 до 100 нанометрів, зазвичай називають *наночастинками*. Так, наприклад, виявилось, що наночастинки деяких матеріалів мають дуже хороші каталітичні та адсорбційні властивості. Інші матеріали показують дивовижні оптичні властивості, наприклад, отримані прозорі керамічні матеріали на основі нанопорошків розмірами 2 – 28 нм із властивостями, кращими, ніж у крона (коефіцієнт заломлення  $n = 2,08$  замість  $n = 1,52$ ) та ін. Отримано взаємодію штучних наночасток із природними об'єктами нанорозмірів – білками, нуклеїновими кислотами та ін. Ретельно очищені, наночастинки можуть самовстановлюватися в певні структури. Така структура містить строго впорядковані наночастинки й також набуває важливі властивості (рис. 15.27).

Нанооб'єкти діляться на 3 основні класи:

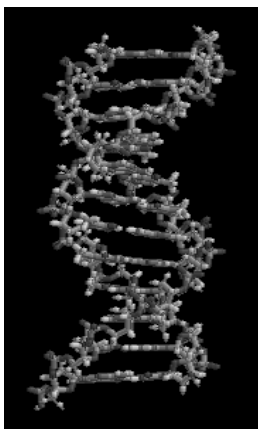


Рисунок 15.27 –  
Подвійна спіраль ДНК

- тривимірні частинки, що отримують вибухом провідників, плазмовим синтезом, відновленням тонких плівок та ін.;

- двовимірні об'єкти – плівки, що отримують методами молекулярного нашарування, CVD, ALD, методом іонного нашарування тощо;

- одномірні об'єкти – вік ери – ці об'єкти отримують методом молекулярного нашарування, введенням речовин в циліндричні мікропори тощо.

Також існують *нанокомпозити* – матеріали, отримані введенням наночастинок в будь-які матриці. На даний момент широк застосується тільки *метод мікролітографії*, який дозволяє отримувати на поверхні матриць плоскі острівкові об'єкти розміром від 50 нм та який застосовується в електроніці.

Особливо слід відзначити методи іонного та молекулярного нашарування, оскільки з їх допомогою можливе створення реальних покриттів-плівок (CVD, ALD) у вигляді моношарів.

Найважливішим завданням, що стоїть перед нанотехнологією – як змусити молекули або атоми групуватися певним способом, самоорганізовуватися, щоб у підсумку отримати нові матеріали або пристрої. Цією проблемою займається розділ хімії – *супрамолекулярна хімія*. Вона вивчає не окремі молекули, а взаємодії між молекулами, які, організовуючись певним способом, можуть призвести до появи нових речовин. Є надія на те, що природа дійсно має подібні системи та в ній здійснюються подібні процеси. Так, відомі біополімери, що здатні організовуватися в особливі структури. Один із прикладів – білки, які не тільки можуть згортатися в глобулярну форму, а й утворювати комплекси – тобто структури, що включають кілька молекул протеїнів (білків). Уже зараз існує метод синтезу, що використовує специфічні властивості молекули ДНК. До одного із кінців комплементарної ДНК приєднується молекула А або Б. Маємо речовини: ---- А і ---- Б, де ---- – умовне зображення одинарної молекули ДНК. Після змішування цих речовин, між двома одинарними ланцюжками ДНК утворюються водне-

ві зв'язки, які притягнуть молекули А і Б одна до одної. Отримане з'єднання: ===== АБ. Молекулу ДНК можна легко видалити після закінчення процесу.

*Молекулярна нанотехнологія*, яку ще називають молекулярним виробництвом, розглядає питання проектування наносистем (машин), що працюють і керують наночастинками на атомно-молекулярному рівні. Це особливо важливо для створення машин, здатних виготовляти інші машини, що призначені для відтворення потрібної подальшої системи, більш пристосованої до нових вимог.

До матеріалів, розроблених на основі наночасток із унікальними характеристиками, що впливають із мікроскопічних розмірів їх складових, відносять:

- *вуглецеві нанотрубки* – протяжні циліндричні структури діаметром від одного до декількох десятків нанометрів і завдовжки до декількох сантиметрів складаються із однієї або декількох згорнутих у трубку гексагональних графітових площин (графену) і закінчуються, зазвичай, напівсферичною головкою;

- *фулерени* – молекулярні сполуки, що належать до класу аллотропних форм вуглецю (інші – алмаз, карбін і графіт) й є опуклими замкнутими багатогранниками, складеними із парної кількості трьохкоординованих атомів вуглецю;

- *графен* – моношар атомів вуглецю (напівметал), отриманий у жовтні 2004 року в Манчестерському університеті. Графен можна використовувати детектором молекул ( $\text{NO}_2$ ), який дозволяє детектувати прихід та відхід одиничних молекул. Графен має високу рухливість при кімнатній температурі. Тому, коли вирішать проблему формування забороненої зони в ньому, можна буде розглядати графен як перспективний матеріал, що замінить кремній в інтегральних мікросхемах;

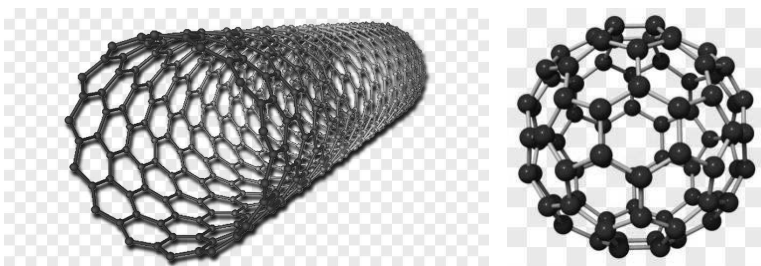


Рисунок 15.28 – Наноматеріали

- *наномедицина* – це напрям в сучасній медицині, заснований на використанні унікальних властивостей наноматеріалів і нанооб'єктів для відстеження, конструювання та зміни біологічних систем людини на наномолекулярному рівні;

- *ДНК* – використовують специфічні основи молекул ДНК і нуклеїнових кислот для створення на їх основі чітко заданих структур.

Більшість із нас регулярно користуються тими чи іншими досягненнями нанотехнологій, навіть не підозрюючи про це. Наприклад, сучасна мікроелектроніка вже не мікро-, а нано: вироблені сьогодні транзистори – основа всіх чіпів – лежать у діапазоні до 90 нм. І вже запланована подальша мініатюризація електронних компонентів до 60, 45 і 30 нм. Із новою технологією розміри деталей мікросхем опускаються суттєво нижче планки в 10 – 15 нанометрів, в масштаби, де традиційні напівпровідникові транзистори просто фізично не можуть працювати.

***Industry 4.0: розумний інструмент для розумного виробництва.*** Виготовлення виробів, що відповідають сучасним запитам суспільства: побутової техніки, сільгоспобладнання, економічних та надійних літальних апаратів, автомобілів та морських суден тощо, постійно потребує нових матеріалів, що мають покращені властивості. Вони повинні бути міцними, недорогими, теплостійкими, зносостійкими та стійкими до агресивних середовищ. Це, у свою чергу, стимулює провідних світових верстатобудівників удосконалювати обладнання, щоб обробляти вироби із необхідною потужністю, необхідною кінематикою та максимально можливою універсальністю. Але в цьому процесі між інноваційним матеріалом та верстатом завжди знаходиться ще один важливий елемент конструкції – інструмент. Наскільки він добрий, наскільки підходить саме для обробки даної деталі із даного матеріалу, для даного процесу та даного виробництва? – питання, яке хвилює технолога підприємства та яке стоїть перед вибором інструменту для виконання нового завдання замовника.

Незважаючи на те, що можливості програм (які значно зросли для тривимірного моделювання інструменту, а також конструкторсько-технологічних систем CAD/CAM) дозволяють досягати відмінних результатів, пропонуючи інноваційні конструкції державок і нові форми пластин для обробки екзотичних матеріалів, на наш погляд, недостатньо застосовувати тільки традиційні методи розробки ріжучого інструменту, спрямовані на досягнення кращої продуктивності та надійності.

Наприклад, у сучасних літаках значно збільшилася кількість деталей, виготовлених із композиційних матеріалів. А для їхньої ефективної механічної обробки потрібен спеціальний ріжучий інструмент із новими властивостями. Це є ключовим моментом для технологічного стрибка в аерокосмічній промисловості.

Сьогодні металообробні підприємства ставлять виробникам ріжучого інструменту інші завдання, ніж навіть 5 – 10 років тому. У цифрову епоху замовник чекає від них постійної участі не тільки у фізичному, а й у віртуальному виробництві, а отже – зручній інформації, необхідній фахівцям клієнта для моделювання процесів, для інтеграції складання інструментів та оснащення, а також для багато іншого, що впливає на процес підготовки виробництва.

Сучасним менеджерам підприємств все частіше потрібні вичерпні дані про інструмент, необхідний доступ до різної інформації, що дозволяє створювати моделі-близнюки, виконувати інженерні та економічні розрахунки, аналізувати термін служби інструменту, виконувати негайні налагодження та автоматичні заміни. Розробка ріжучого інструменту на основі всієї бази знань та компетенцій, а також оцифрування у форматах, зручних як для його споживача, так і виробника обладнання, стає вимогою часу. У цьому полягає основна особливість процесу розвитку ріжучого інструменту відповідно до концепції Industry 4.0, завдання якої у галузі промислового виробництва полягають у підвищенні його ефективності завдяки інтеграції у технологічні процеси кіберфізичних систем. Локомотивом у цьому процесі, як завжди, є найбільші світові компанії із виробництва металоріжучого інструменту.

Завдання Industry 4.0. у галузі промислового виробництва полягають у підвищенні його ефективності завдяки інтеграції у технологічні процеси кіберфізичних систем (CPS). При цьому все обладнання, інструмент, оснащення, матеріали оснащуються датчиками зворотного зв'язку та/або засобами ідентифікації, які формують загальну базу даних відносно своїх властивостей, положення, стану тощо та можуть обмінюватися між собою інформацією й переміщуватися згідно складеному алгоритму, без втручання людини, для того щоб виробити продукцію певної якості та у заданій кількості. У таких умовах дуже важливо, щоб процес підбору інструменту був швидким, простим та зручним для виробничників. Ось із цього і починається "Індустрія 4.0" для інструменту! Тобто його весь час має супроводжувати інформація, на



кожному етапі життєвого циклу. А для цього виробники ріжучого інструменту все інтенсивніше оцифровують процеси розроблення та виробництво щоб контролювати та покращувати якість, збільшувати надійність та передбачуваність терміну служби інструменту. При цьому на перший план виходить завдання розроблення такого інструменту, який "уміє спілкуватися" із іншими пристроями за допомогою технологій ІТ, мовою, єдиною для всіх засобів виробництва, на основі єдиних специфікацій, стандартів, баз даних. Тобто для ріжучого інструменту повинен створюватися цифровий двійник, який буде носієм всієї необхідної виробничникам інформації про нього.

Наприклад, якщо зараз машинобудівні підприємства використовують у своїй роботі сучасні CAD/CAM-системи, то цифровий двійник інструменту має бути інтегрований у них для того, щоб допомогти у виборі інструменту для певних завдань. При цьому може бути завантажений великий обсяг інформації відносно його геометричних параметрів, режимів різання, оброблюваних ним матеріалів, досвіду експлуатації тощо. Крім того, вся інформація повинна бути постійно оновлюваною. Дане програмне забезпечення має легко встановлюватися як на комп'ютер або планшет, так і смартфон. Це відкриває інструменту "двері" у виробництво, бо без цього він уже просто стоятиме, як сувенір на полиці.

### **Контрольні питання**

1. Чим відрізняється металорізальний верстат із ЧПУ типу "обробний центр" від традиційних металорізальних верстатів із ЧПУ?
2. За рахунок яких чинників досягається висока ефективність обробки на металорізальному верстаті із ЧПУ типу "обробний центр"?
3. Для чого призначено зносостійкі покриття, які наносяться на робочі поверхні ріжучих інструментів?
4. Для чого виконується симуляція механічної обробки?
5. У чому полягає призначення робототехніки?
6. Сформулюйте сутність штучного інтелекту.
7. Чим відрізняється штучний інтелект від робототехніки?
8. Приклади застосування штучного інтелекту та робототехніки.
9. У чому полягає ефективність застосування роботів?
10. Чим відрізняються нанотехнології від звичайних технологій?
11. Що таке нанометр?
12. Наведіть приклади застосування нанотехнологій.

## Список використаних джерел

1. Алмазная обработка: учебное пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. – Київ: ІЗМН, 1996. – 168 с.
2. Беззубенко Н. К. Підвищення ефективності алмазного шліфування шляхом введення в зону обробки додаткової енергії у формі електричних розрядів: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / М. К. Беззубенко. – Харків, 1995. – 56 с.
3. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
4. Високопродуктивне шліфування : навчальний посібник / О. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, О. О. Якимов. – Київ: ІСДО, 1995. – 180 с.
5. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків: НТУ "ХПІ", 2020. – 275 с.
6. Гаращенко Я. М. Удосконалення технологічної підготовки адитивного виробництва складних виробів: монографія / Я. М. Гаращенко. – Харків: НТУ "ХПІ", 2023. – 388 с.
7. Грабченко А. І. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні : навчальний посібник / А. І. Грабченко. – Харків: ХДПУ, 1999. – 436 с.
8. Гусарев В. С. Модели процессов. Алгоритмы. Структуры технологических машин : научное издание / В. С. Гусарев. – Одесса: Печатный дом, 2018. – 227 с.
9. Гусарев В. С. Технологи машиностроения (биографии основоположников) / В. С. Гусарев. – Одесса: Печатный дом, 2017. – 112 с.
10. Деталі машин : підручник / А. В. Міняйло, Л. М. Тіщенко, Д. І. Мазоренко та ін. – Київ: Агроосвіта, 2013. – 448 с.
11. Дитиненко С. О. Підвищення ефективності технології фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.08 / С. О. Дитиненко. – Харків, 2005. – 20 с.
12. Дудко П. Д. Основы технологических систем : учебное пособие / П. Д. Дудко, А. Г. Крюк, Н. Ф. Савченко. – Харьков : Изд. ХГЭУ, 2002. – 248 с.

13. Желібо Є. П. Основи технологій виробництва в галузях народного господарства : навч. посібник / Є. П. Желібо. – 2 вид. зі змін. та доп. – Київ: Кондор, 2009. – 520 с.
14. Жовтобрюх В. А. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ : монография / В. А. Жовтобрюх, Ф. В. Новиков. – Днепр : ЛИРА, 2019. – 480 с.
15. Захаров В. П. Лазерная техника : учеб. пособие / В. П. Захаров, Е. В. Шахматов. – Самара : Из-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 278 с.
16. Инновационное развитие современных технологий : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, В. С. Гусарев, В. Б. Наддачин, А. А. Якимов, А. А. Андилахай, А. С. Сергеев, Д. Ф. Новиков. – Днепр : ЛИРА, 2021. – 480 с.
17. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления : монография / Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, А. И. Грабченко, С. И. Чернышов, Н. В. ВЕРЕЗУБ, Ю. Б. ВИТЯЗЕВ, В. Л. ДОБРОСКОК, Х. КНУТ, Ф. ЛИЕРАТ. Под ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСКОГО, А. И. ГРАБЧЕНКО. – Харьков: ОАО "Модель Вселенной", 2005. – 224 с.
18. Имитационное моделирование в задачах машиностроительного производства в 2-х томах, Т. 2: учеб. пособие / А. В. Беловол, А. А. Ключко, Е. В. Набока, А. О. Скоркин, А. Н. Шелковой; под ред. А. Н. Шелкового. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2016. – 323 с.
19. Искусственный интеллект : применение в интегрированных производственных системах / Под ред. Э. Кьюсиака; пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 400 с.
20. Иванчук А. В. Деталі машин: навчальний посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А. В. Иванчук. – Вінниця: ТОВ фірма "Планер", 2010. – 336 с.
21. Карпенко А. П. Робототехника и системы автоматизированного проектирования : учебное пособие / А. П. Карпенко. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 71 с.
22. Ключко А. А. Технологические основы обеспечения процесса зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес [Текст] / А. А. Ключко, А. Н. Кравцов; Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС". – Краматорск: ДГМА; Ирбит: ОНИКС, 2014 – 299 с.: ил., табл.; – (Се-

- рия: "Проектирование и применение режущего инструмента в машиностроении" / Общ. ред. Ю. М. Соломенцев).
23. Кремнев Г. П. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении : учебное пособие / Г. П. Кремнев, Ф. В. Новиков. – Днепропетровск: ЛИРА, 2016. – 297 с.
  24. Кремнев Г. П. Системы технологий : учебное пособие / Г. П. Кремнев, Ф. В. Новиков, В. М. Колесник. – Днепропетровск : ЛИРА, 2015. – 140 с.
  25. Лавриненко В. И. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки: монография / В. И. Лавриненко, В. Ю. Солод. – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.
  26. Лавріненко В. І. Інструментальні матеріали: від природного каменю до штучних алмазів / В. І. Лавріненко; Ін-т надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. – Київ: Академперіодика, 2023. – 336 с.
  27. Лавріненко В.І. Надтверді матеріали в механообробні / В. І. Лавріненко, М. В. Новіков; за ред. М.В. Новікова. – Київ : ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.
  28. Макаров И. М. Робототехника : история и перспективы / И. М. Макаров, Ю. И. Топчеев. – М.: Наука; Изд-во МАИ, 2003.
  29. Макурін М. С. Виробництво електронних засобів : навчальний посібник / М. С. Макурін. – Харків: ХДУРЕ, 1999. – 180 с.
  30. Методичні рекомендації до виконання технологічної частини дипломної роботи для студентів спеціальностей 8.050108, 8.150208 усіх форм навчання / Уклад. В. Г. Шкурупій. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2005. – 76 с.
  31. Моделирование систем / Г. А. Оборский, А. Ф. Дашченко, А. В. Усов и др. – Одесса: Астропринт, 2013. – 664 с.
  32. Моделювання процесу алмазного шліфування методом кінцевих елементів : монографія / В. О. Федорович, Д. О. Федоренко, Д. В. Ромашов, Є. В. Островерх, Л. І. Пупань. – Харків: НТУ "ХПІ", 2023. – 257 с.
  33. Наддачин В. Б. Методы производства заготовок в машиностроении: учебное пособие / В. Б. Наддачин. – Одесса: Изд. Интерпринт, 2017. – 264 с.
  34. Новиков Г. В. Задачи точности и производительности обработки в технологии машиностроения // Авиационно-космическая техника и технология : труды Гос. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского "ХАИ". – Харьков: ХАИ, 2000. – Вып. 14. – С. 31–35.

35. Новиков Д. Ф. Условия выбора эффективных режимов резания / Д. Ф. Новиков // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении : материалы междунар. научн.-техн. конф., 21–23 сентября 2016, г. Одесса. – Одесса: ОНПУ, 2016. – С. 131–135.
36. Новіков Д. Ф. Ефективне управління технологіями машинобудівних підприємств – важливий фактор підвищення якості їх продукції, соціальної відповідальності, збільшення прибутку та конкурентоспроможності / Д. Ф. Новіков // Бізнес Інформ. – 2019. – №12. – С. 432–437.
37. Новіков Ф. В. Безпека життєдіяльності та інноваційні технології виробництва : навч. посібник / Ф. В. Новіков, Г. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх. – Дніпро: ЛІРА, 2023. – 220 с.
38. Новіков Ф. В. Високопродуктивне алмазне шліфування : монографія / Ф. В. Новіков. – Харків: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 412 с.
39. Новіков Ф. В. Математичне моделювання і оптимізація процесів металообробки : монографія / Ф. В. Новіков. – Харків: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 385 с.
40. Новіков Ф. В. Сучасні технологічні системи [Електроний ресурс] : навчальний посібник / Ф. В. Новіков, С. О. Дитиненко, Д. Ф. Новіков ; Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця. – Електрон. текстові дан. (71,2 МБ). – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2020. – 446 с.
41. Обработка резанием деталей с покрытиями / С. А. Клименко, В. В. Коломиец, М. Л. Хейфец и др.; под общ. ред. С. А. Клименко. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.
42. Оптимизация технологических процессов в машиностроении : учебное пособие / А. В. Якимов, В. П. Ларшин, А. А. Якимов и др. – Одесса: ОГПУ, 1995. – 105 с.
43. Основи технології виробництва машин : навчальний посібник / Г. П. Кремнев, В. М. Колеснік, Ф. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх. – Дніпро: ЛІРА, 2022. – 136 с.
44. Основи технології складання : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 "Прикладна механіка" / Г. П. Кремнев, Ф. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх, В. В. Стрельбіцький. – Дніпро: ЛІРА, 2021. – Частина 1. – 159 с.
45. Попова Л. М. Введение в нанотехнологию : учебное пособие / Л. М. Попова. – СПб.: СПбГТУРП, 2013. – 96 с.

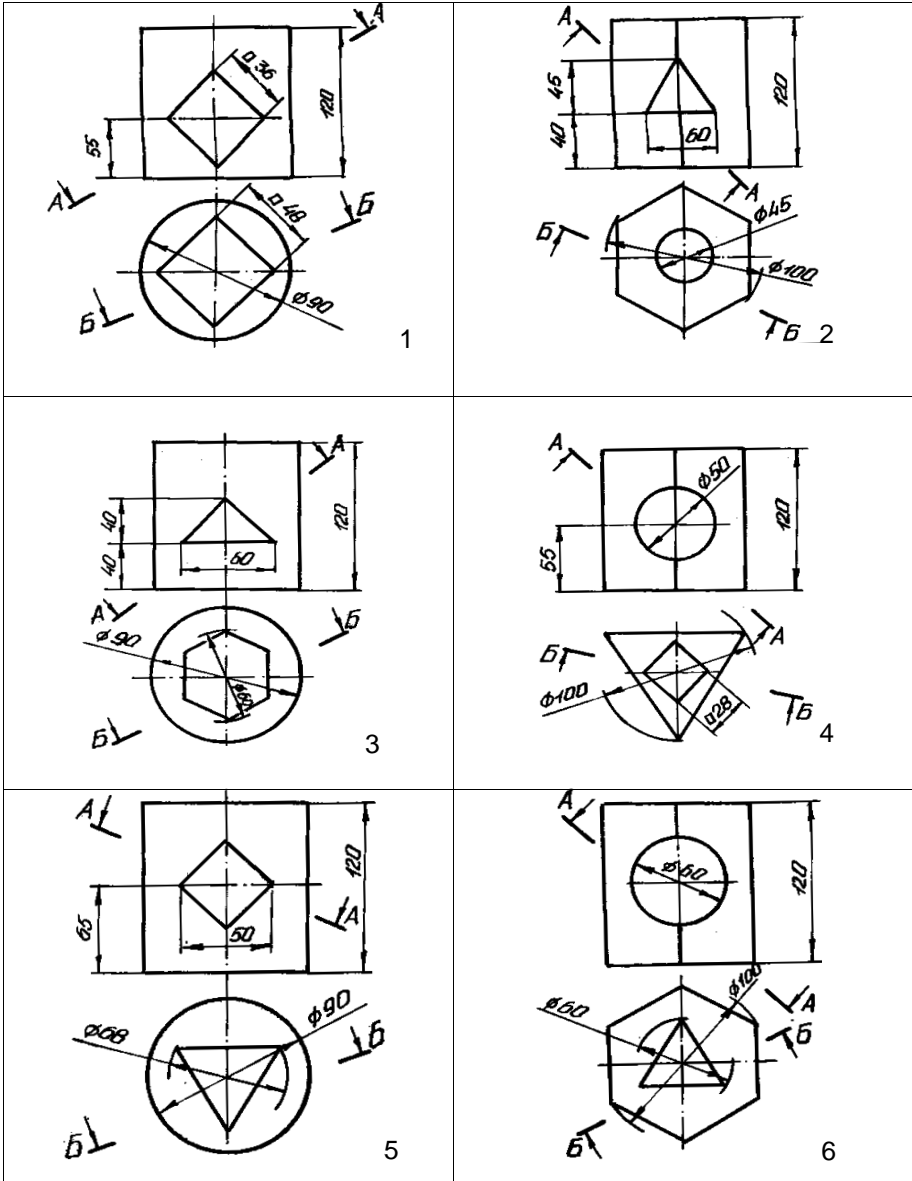
46. Прасок О. Г. Інженерна графіка. Конспект лекцій для студентів напрямів підготовки 08.04 "Комп'ютерні науки", 05.01 "Економіка і підприємництво", 05.02 "Менеджмент" усіх форм навчання / О. Г. Прасок, В. П. Свідерський. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2007. – 192 с.
47. Прищепя М. М. Мікроелектроніка. У 3-х частинах. Ч. 2. Елементи мікросхемотехніки : навчальний посібник / М. М. Прищепя, В. П. Погребняк. – Київ: Вища школа, 2006. – 503 с.
48. Прогрессивные методы получения заготовок из листового проката в машиностроении: учеб. пособие / Г. П. Кремнев, И. П. Коновалов, В. Б. Наддачин и др. – Одесса: Изд. Печатный дом, 2016. – 48 с.
49. Прогресивні технології механічної обробки : монографія / Ф. В. Новіков, А. Г. Крюк, В. Г. Шкурупій та ін.; за заг. ред. докт. техн. наук, професора Новікова Ф. В. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2012. – 372 с.
50. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / Под общ. ред. В. И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
51. Романенко Л. Г. Теоретична механіка : навч. посіб. для технічних ВУЗів / Л. Г. Романенко, В. Г. Солодов. – Харків: ХДАДТУ, 2000. – 268 с.
52. Свідерський В. П. Економічна ефективність технологічного забезпечення виготовлення корпусних деталей локальним деформуванням: наукове видання / В. П. Свідерський. – Харків: Вид. ХДЕУ, 2003. – 196 с.
53. Сизый Ю. А. Динамика и теплофизика шлифования / Ю. А. Сизый, Д. В. Сталинский. – Харьков : ГП УкрНТЦ "Энергосталь", 2016. – 448 с.
54. Сизый Ю. А. Основи наукових досліджень технологій машинобудування : навчальний посібник / Ю. А. Сизый, Д. В. Сталінський. – Харків: УкрДНТЦ "Енергосталь", "Видництво САГА", 2007. – 212 с.
55. Системы технологий. Раздел 1. Основы конструирования и проектирования машин : конспект лекций / В. П. Свидерский, А. Г. Прасок. – Харьков: ХГЭУ, 2002. – 80 с.
56. Системы технологий : учебное пособие / В. Н. Гринева, П. Д. Дудко, В. С. Пономаренко, А. М. Тимонин, А. Г. Крюк, Н. Ф. Савченко, В. Г. Чистяк, В. Г. Шкурупий. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2003. – 292 с.
57. Системы технологий: навчальний посібник / В. С. Пономаренко, М. А. Сіроштан, М. І. Белявцев, А. Д. Дудко, О. М. Тимонін; Під ред. П. Д. Дудко. – Харків: Око, 2000. – 376 с.

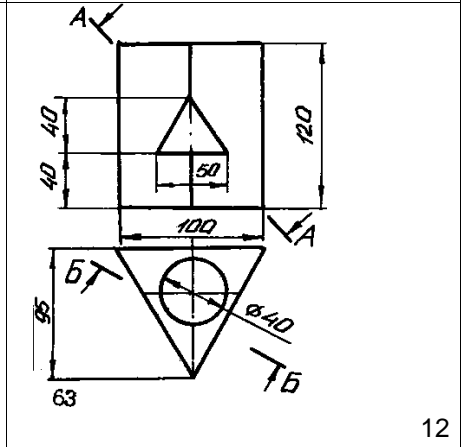
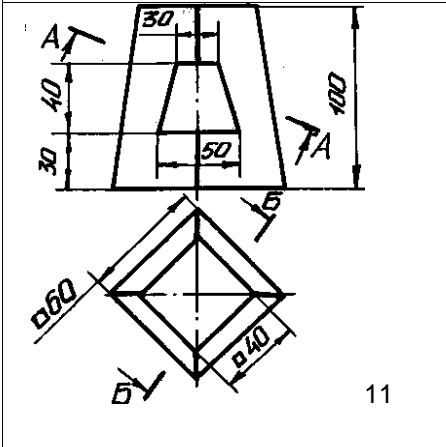
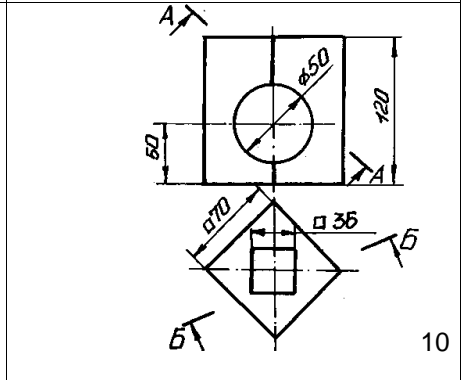
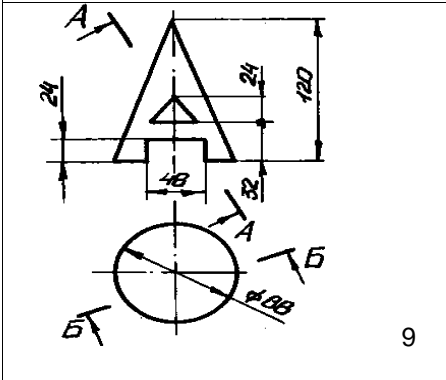
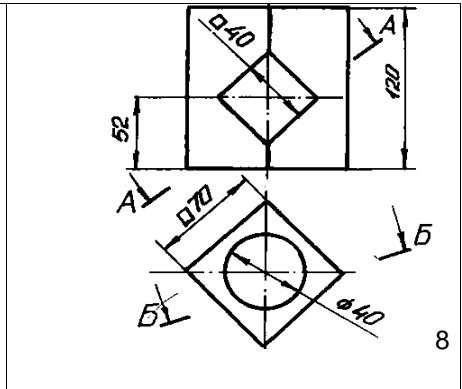
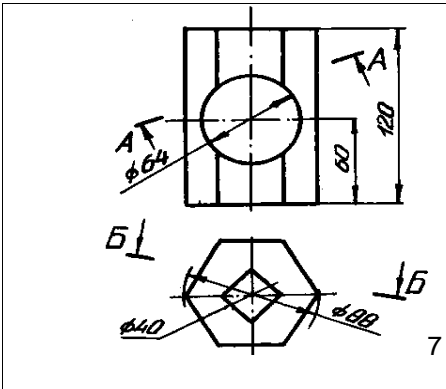
58. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, А. А. Андилахай, Д. Ф. Новиков, В. И. Полянский. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 400 с.
59. Справочник технолога машиностроителя / Под ред. А. Г. Касиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 495 с.
60. Теоретические основы технологии машиностроения : учебник / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, А. А. Якимов, Г. В. Новиков, Н. И. Решетнев. – Одесса : ОНПУ, 2002. – 492 с.
61. Теплофізика механічної обробки / О. В. Якимов, А. В. Усов, П. Т. Слободяник та ін. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с.
62. Техніко-економічне обґрунтування сучасних технологій виробництва: навчальний посібник / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, О. А. Єрмоленко, В. О. Жовтобрюх. – Дніпро: ЛІРА, 2022. – 256 с.
63. Технологии и технологии : научно-информационное издание / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко, Д. Ф. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2020. – 352 с.
64. Технологии производства: проблемы и решения : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко, А. Г. Крюк, Н. Ф. Савченко, В. Г. Шурупий, В. И. Полянский, И. А. Рябенков, Д. Ф. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 536 с.
65. Технологія автоматизованого машинобудування : підручник / О. В. Якимов, В. С. Гусарев, О. О. Якимов, П. А. Лінчевський та ін. – 6-е видання. – Харків: ГП ХМЗ "ФЕД", 2008. – 410 с.
66. Технологія машинобудування : підручник / П. Н. Мельничук, А. І. Боровик, П. А. Лінчевський та ін. – Житомир: ЖДТУ, 2006. – 882 с.
67. Технологія машино- та двигунобудування : підручник / О. В. Якимов, Ф. В. Новіков, В. М. Тонконогий, О. О. Якимов, Г. О. Оборський, В. П. Ларшин, Г. В. Новіков, Ю. М. Кривошапка. – Одеса: ОНПУ, 2005. – 720 с.
68. Технологія машино- та приладобудування : підручник / О. В. Якимов, В. І. Марчук, П. А. Лінчевський, О. О. Якимов, В. П. Ларшин. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2005. – 712 с.
69. Ткачук А. І. Технічна механіка. Статика абсолютно твердого тіла. Опір матеріалів: Курс лекцій. Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів напряму підготовки 6.010103 "Технологічна освіта" за освітньокваліфікаційним рівнем

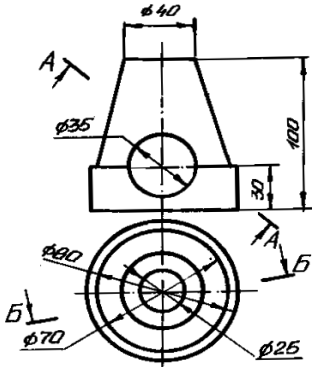
- "бакалавр" / А. І. Ткачук. – Кіровоград: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард". – 2015. – 260 с.
70. Туромша Е. П. Производственные технологии : учебно-метод. комплекс / Е. П. Туромша; ГИУСТ БГУ. – Минск: ГИУСТ БГУ, 2014. – 342 с.
71. Узунян М. Д. Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов / М. Д. Узунян. – Харків: НТУ "ХПІ", 2003. – 359 с.
72. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 1. Механика резания материалов. – 580 с.
73. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 4. Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов. – 802 с.
74. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2003. – Т. 6. Качество обработки деталей машин. – 716 с.
75. Чистяк В. Г. Техника и технология производства курса "Системы технологий" : конспект лекцій / В. Г. Чистяк. – Ч. 1. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2003. – 108 с.
76. Шкурупій В. Г. Системи технологій : навчальний посібник / В. Г. Шкурупій, Ф. В. Новіков, Ю. В. Шкурупій. – Ч. 1. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 288 с.
77. Шкурупій В. Г. Системи технологій : навчальний посібник / В. Г. Шкурупій, Ф. В. Новіков, Ю. В. Шкурупій. – Ч. 2. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 480 с.
78. Эрлих Г. Малые объекты – большие идеи. Широкий взгляд на нанотехнологии / Г. Эрлих. – М.: Бином, 2011. – 254 с.



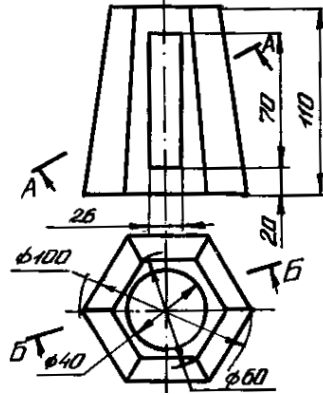
Ескізи геометричних тіл в двох проекціях



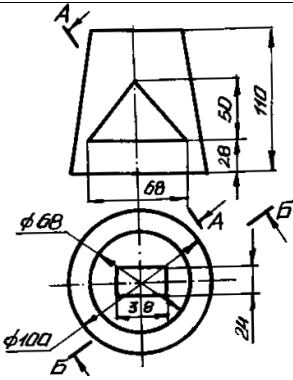




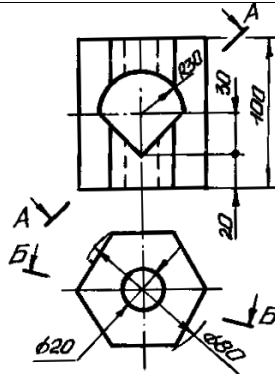
13



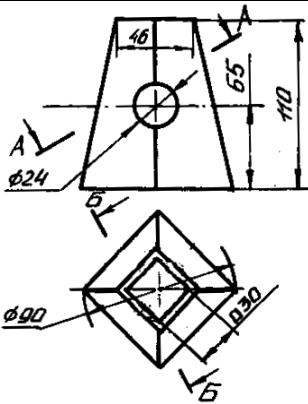
14



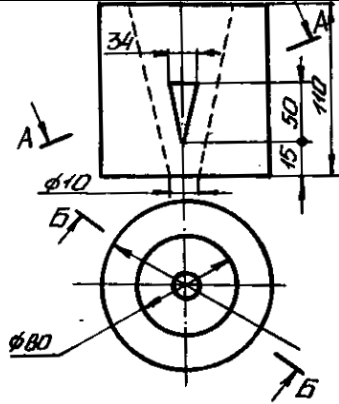
15



16



17



18

## Зміст

Вступ .....	3
Робота 1. Історичні етапи та основні напрями розвитку технологій .....	5
Робота 2. Машини та їх складові частини .....	55
Робота 3. Загальні відомості щодо правил виконання конструкторської документації .....	91
Робота 4. Основні поняття та визначення у технології .....	111
Робота 5. Метали у промисловому виробництві та способи їх видобутку. Виробництво чорних і кольорових металів та порошків металів .....	135
Робота 6. Матеріали у промисловому виробництві та їхні властивості .....	173
Робота 7. Види заготовок деталей машин і способи їхнього отримання .....	183
Робота 8. Технологічні процеси обробки матеріалів різанням .....	251
Робота 9. Технологічні можливості механічної обробки на металорізальних верстатах .....	307
Робота 10. Методика розрахунку раціональних параметрів механічної обробки деталей машин .....	351
Робота 11. Статистичний аналіз точності операцій механічної обробки .....	397
Робота 12. Вимірювальні інструменти та прилади .....	409
Робота 13. Економічне оцінювання ефективності технологічного процесу виготовлення деталі .....	419
Робота 14. Технологія складального процесу .....	429
Робота 15. Високоєфективні технології виробництва .....	441
Список використаних джерел .....	473
Додаток А .....	480

**Навчальне видання**

**Федір Васильович Новіков  
Дмитро Федорович Новіков  
Валерій Олексійович Жовтобрюх**

# **ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ МАШИН**

**Навчальний посібник**

Відповідальний за випуск **Новіков Ф. В.**

В авторській редакції

На обкладинці використані фрагменти зображень,  
надані FANUC Europe Corporation.

Підп. до друку 31.10.2023 р.  
Формат 60x84/16. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 28,13.  
Наклад 300 пр. Заказ № 174

Видавництво та друкарня ПП "Ліра ЛТД"  
49107, м. Дніпро, вул. Наукова, 5  
Свідоцтво про внесення до Держреєстру  
ДК № 6042 від 26.02.2018.

ДНІПРО | ЛІРА | 2023



Ф. В. НОВІКОВ  
Д. Ф. НОВІКОВ  
В. О. ЖОВТОБРЮХ

# ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ МАШИН

ЛІРА

ВИДАВНИЦТВО  
ДРУКАРНЯ

— ДНІПРО —