

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра технічного сервісу**

# **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

## **«ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ В ГАЛУЗІ»**

**для студентів ОС «Магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія»  
денної та заочної форми навчання**

СУМИ 2021

**УДК 001.891**

**Укладачі:** Кирик Г.В., д.т.н., доцент, професор кафедри технічного сервісу;  
Радіонов О.В., д.т.н., с.н.с., професор кафедри технічного сервісу;  
Коноплянченко Є. В., к.т.н., доцент, доцент кафедри технічного сервісу;  
Пирогов В.О., аспірант кафедри технічного сервісу.

Технологія машинобудування в галузі: Конспект лекцій для студентів ОС «Магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форми навчання. - Суми, 2021. - 214с.

Конспект лекцій спрямований для надання методичної допомоги при опануванні курсу «Технологія машинобудування в галузі».

**Рецензенти:** Тарельник В.Б. д.т.н., професор кафедри «Технічний сервіс»;  
Зубко В.М. к.т.н., доцент, завідувач кафедри тракторів, с.-г. машин та транспортних технологій.

Відповідальний за випуск: Коноплянченко Є.В., доцент кафедри «Технічний сервіс».

Рекомендовано до друку Методичною радою інженерно-технологічного факультету СНАУ

Протокол № 5 від "29" березня 2021 р.

© Сумський національний аграрний університет, 2021  
© Кирик Г.В., Радіонов О.В., Коноплянченко Є.В., Пирогов В.О., 2021

## ЗМІСТ

Тема 1. Вступ. Основні поняття і визначення.	4
Тема 2. Основи базування.	21
Тема 3. Точність і якість у машинобудуванні.	40
Тема 4. Технологічність конструкції виробу.	69
Тема 5. Основи проектування технологічних процесів.	84
Тема 6. Технологія виготовлення деталей типу круглих стержнів.	104
Тема 7. Обробка корпусних деталей.	121
Тема 8. Обробка концентричних деталей типу втулок.	149
Тема 9. Основні напрямки подальшого розвитку технологічних методів машинобудівного виробництва.	158
Тема 10. Якість поверхонь деталей машин.	165
Тема 11. Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей.	180
Тема 12. Проектування технологічних процесів складання виробів	195
Рекомендована література	212

## **Тема 1. Вступ. Основні поняття і визначення.**

1.1 Вступ в науку "Технологія машинобудування".

1.2 Основні поняття і визначення.

1.3 Класифікація технологічних процесів і форми технологічної документації.

1.4 Форми і принципи організації технологічних процесів механічної обробки і складання.

### **1.1 Вступ в науку "Технологія машинобудування"**

Будь-яка галузь народного господарства, виконуючи роботи з видобутку корисних копалин, їхньої переробки або виготовлення необхідної продукції, не може обійтися без машин, механізмів, приладів і іншої продукції [машинобудування](#). У зв'язку з особливою важливістю цієї галузі у всіх розвинутих країнах темпи її зростання завжди були вищими за темпи зростання промисловості в цілому.

Один із видатних вчених-технологів професор Б.С.Балакшин назвав машинобудування головним технологом усіх галузей народного господарства. У зв'язку з цим ця галузь повинна на базі новітніх досягнень науки і техніки безупинно розробляти нові технологічні процеси, для здійснення яких потрібно створювати і випускати в необхідних кількостях знаряддя виробництва і машини, що відповідають своєму службовому призначенню при найменшій собівартості.

Технологія машинобудування - галузь науки, що займається вивченням закономірностей, що діють у процесі виготовлення машин, із метою використання цих закономірностей для забезпечення якості машин при найменшій собівартості.

За деякими даними слово "технологія" запозичене з грецької мови (techne - мистецтво, майстерність; logos - навчання, наука) і в перекладі означає - наука про майстерність або навчання про ремісничє мистецтво.

Розвиток технології [машинобудування](#) як науки пов'язаний з появою великої промисловості. Історичний шлях розвитку й удосконалювання технології машинобудування є темою самостійного дослідження і може скласти цілий розділ історії розвитку людського суспільства. Початок придбання людиною навичок і знань з обробки матеріалів і виготовлення з них виробів можна сміливо віднести до часів первісного суспільства. Протягом багатьох століть відбувалося накопичення цього досвіду. У минулому технологія машинобудування одержала найбільший розвиток у майстернях і заводах, де виготовлялися різні види зброї в кількостях, більших, ніж будь-які інші вироби. Історія зберігає багато унікальних досягнень технології. Практично у всіх історичних музеях можна побачити колекції стародавньої зброї. Більше 400 років знаходиться у Московському Кремлі відомі Цар-гармата масою 40 тонн, відлита Андрієм Чоховим у 1587 році, і Цар-дзвін масою 200 тонн, виготовлений знаменитими ливарниками Іваном і Михайлом Моторіними в першій половині XVIII століття. У 1761 році на Тульському заводі рушниць вперше у світі було розроблено та впроваджено виготовлення взаємозамінних деталей і їхній вимір калібрами.

Розвитком технології [машинобудування](#) займалися багато видатних особистостей: А.К. Нартов (1693-1756), М.В. Ломоносов (1711-1765) і багато інших. Як правило, це були різнобічно досвідчені люди. Наприклад, А.К. Нартов - "Петра Великого механік і токарного мистецтва вчитель" не тільки сам винаходив верстати, у тому числі і токарний верстат із механічним супортом, машини для монетного двору, механізм для підйому Цар-дзвона, що важить майже 200 т., але й у 1742-1743 р. керував Академією наук і мистецтв. Різноманітність таланту М.В. Ломоносова представляти не має смислу. Ім'я цього генія відоме всім ще зі шкільної лави.

Накопичений досвід був вперше описаний професором Московського університету І.В. Двигубським, що випустив у 1807 році книгу "Початкові

підстави технології або короткий опис робіт на заводах і фабриках виконуваних".

Подальше узагальнення досвіду і розвиток технології машинобудування пов'язане з виходом капітальної праці професора І.І.Тіме (1838-1920 р.) - "Основа машинобудування, організація машинобудівних фабрик у технічному та економічному відношенні і виробництво робіт на них", що була надрукована у 1885 році у трьох томах. Наукова праця професора А.П. Гавриленка (1861-1914 р.) "Технологія металів" довгі роки була основним курсом підготовки декількох поколінь російських інженерів.

І все ж таки основні досягнення технологічної науки припадають на 20 століття. Передумовами цьому є бурхливий розвиток промисловості, поява мережі проектних інститутів, збільшення мережі вищих і середніх спеціальних закладів, шкіл ФЗН, курсів майстрів і робітників. Одним із головних основоположників науки "Технологія машинобудування" є проф. А.П. Соколовський. Його перші наукові праці вийшли у 1930-1932 р.р. В цей же час з'являються праці професорів О.І. Каширіна і В.М. Кована, що узагальнили досвід автотракторної промисловості. У 1933 році професор Б.С. Балакшин публікує результати своїх теоретичних досліджень з теорії розмірних ланцюгів, що забезпечило підвищення якості і точності виготовлення машин. Початок науковому аналізу причин виникнення похибок обробки і складання поклали праці професорів М.А. Бородачева, К.В. Вотінова, А.А. Зикова, А.Б. Яхіна й інших вчених. У 1959 р. вийшов з друку добре відомий підручник професора В.М.Кована "Основи технології машинобудування", що містив основні наукові положення технології, загальні для різних машинобудівних галузей.

На розвиток технології машинобудування (ТМБ) робили і роблять істотний вплив досягнення видатних фахівців інших суміжних наук. Найбільш відомими з них є такі видатні особи.

В.І. Дикушин - академік, Герой Соціалістичної праці, керівник проекту агрегативання верстатів, головний інженер проекту першого автоматизованого заводу поршнів, директор інституту ЕНІМВ;

Л.Ф. Верещагін - академік, Герой Соціалістичної праці, керівник робіт, що привели до створення у 1960 р. штучних діамантів;

В.Н. Бакуль - академік, Герой Соціалістичної праці, керівник робіт із реалізації промислового синтезу діамантів. У Києві створений Інститут надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля.

Є.О. Патон - академік, Герой Соціалістичної праці, один із творців Дрезденського вокзалу, фахівець-мостобудівник. У 60 років змінює напрямок наукових інтересів і займається електрозварюванням. Організатор першого у світі Інституту електрозварювання в м. Києві, що нині носить його ім'я. У 70 років винайшов спосіб зварювання під флюсом. У 80 років (1950 р.) керує проектуванням і будівництвом першого в країні суцільнозварного моста через Дніпро. Міст названий ім'ям Є.О.Патона.

Л.М. Кошкін – академік, автор створення обладнання принципово нового типу – роторних та роторно-конвеєрних ліній, в яких процеси обробки заготовок проводяться в процесі їх транспортування.

А.О. Маталін – д-р.техн.наук, проф. – започаткував школу з дослідження технологічних засобів забезпечення якості поверхні і вивчення їх впливу на експлуатаційні характеристики деталі.

В.С. Корсаков – д-р.техн.наук, проф. - розробляв теоретичні питання проектування пристосувань, розрахунку точності технологічних процесів, питання їх автоматизації.

Б.С. Балакшин – д-р.техн.наук, проф. - лауреат Ленінської премії 1972 року, як вже згадувалося вище, родоначальник розмірного аналізу, керівник робіт з адаптивного керування верстатами.

С.П. Митрофанов – д-р.техн.наук, проф. - лауреат Ленінської премії 1957 року, автор ідеї групової форми організації серійного виробництва як

розвиток ідеї професора А.П. Соколовського щодо типізації технологічних процесів.

Г.К. Горанський - чл.-кор. АН БРСР - один із перших ідеологів створення систем автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП).

Цей перелік найвизначніших вчених в області ТМБ можна продовжувати. В даний час наукові дослідження в цій сфері проводяться в багатьох дослідницьких і навчальних закладах різних міст України, Росії, а також в інших містах як ближнього, так і далекого зарубіжжя.

## **1.2 Основні поняття і визначення**

### **1.2.1 Види виробів. Побудова технологічної схеми складання**

Продукцією машинобудівного виробництва, як правило, є машини.

**МАШИНА** - це механізм або сполучення механізмів, які виконують доцільні дії для виконання роботи або перетворення енергії. У той же час існують підприємства, які виготовляють у великих обсягах продукцію, що використовується при виготовленні машин, наприклад, завод поршнів, куле- і роликотітників заводи. І ті, і інші види продукції називають **ВИРОБАМИ**.

У залежності від призначення вироби поділяються на вироби основного і допоміжного виробництва. Вироби основного виробництва призначені для реалізації у вигляді товарної продукції, а допоміжного виробництва - для споживання усередині підприємства, наприклад, продукція інструментального цеху, нестандартне устаткування, засоби механізації і т. ін. ГОСТ 2.101-68 установлює такі види виробів: деталь, складальна одиниця, комплекс, комплект.

**ДЕТАЛЬ** - виріб, виготовлений з однорідного матеріалу без застосування складальних операцій. Деталі можуть бути піддані гальванічному або лакофарбовому покриттю.

**СКЛАДАЛЬНА ОДИНИЦЯ** - частина виробу, що збирається окремо і надалі бере участь у складанні як єдине ціле.



**КОМПЛЕКС** - два або більше специфікованих виробів, не з'єднаних на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями, але призначених для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій. Наприклад, верстат із системою числового програмного керування (ЧПК), робототехнічний комплекс (РТК) тощо.

**КОМПЛЕКТ** - два або більше виробів, не з'єднані на підприємстві складальними операціями, але є набором, що має загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру (комплект ключів, запасні частини машин і т.п.).

У технології механоскладального виробництва складальні одиниці (СО) часто називають **ВУЗЛАМИ** або **ПІДВУЗЛАМИ**. Кожна машина (як кінцевий виріб виробництва) може бути розчленована на більш дрібні вироби - складальні одиниці і деталі. Тоді її структурна схема може бути подана в такому вигляді (див. рисунок 1.1):

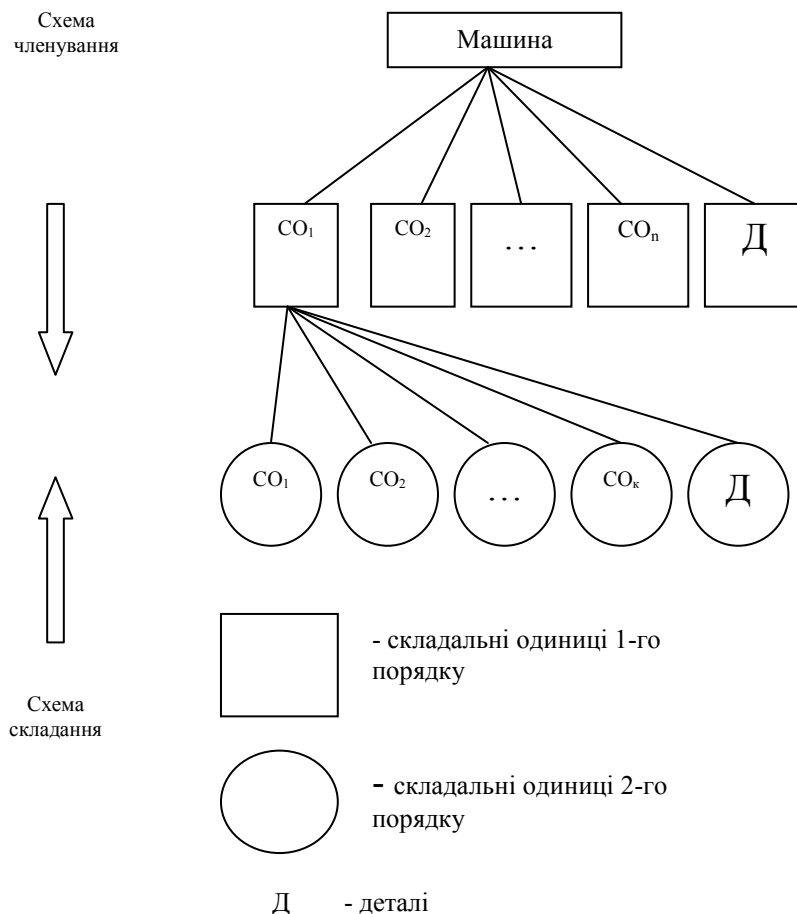


Рисунок 1.1 - Схема членування і складання машини

Деталі можуть безпосередньо входити у виріб на будь-якому рівні членування.

Правильне членування машини на вузли різних порядків дозволяє правильно організувати процес складання, визначити черговість запуску окремих деталей у виробництво, тобто раціонально організувати виготовлення машини. При цьому вузли можуть збиратися паралельно в часі, що підвищує продуктивність праці.

На підставі схеми членування виробу розробляється технологічна схема складання. Вона являє собою графічне зображення послідовності з'єднання деталей і складальних одиниць до перетворення базової деталі у готовий виріб. В загальному вигляді схема складання показана на рисунку 1.2.

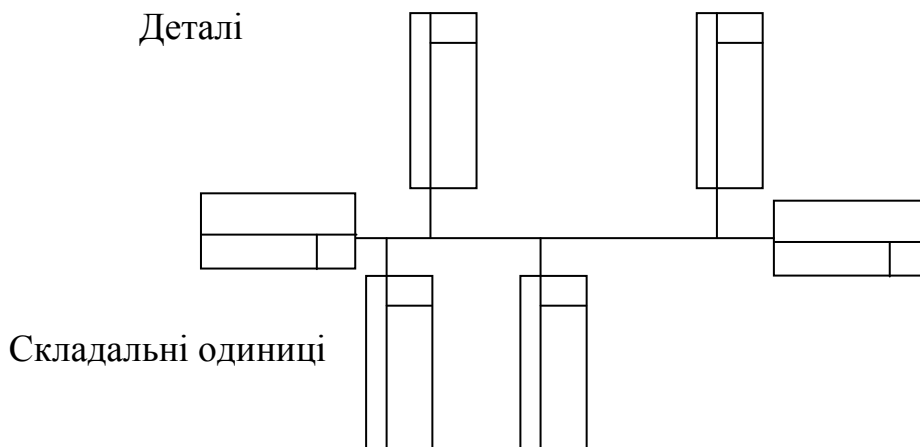


Рисунок 1.2 - Приклад оформлення технологічної схеми складання

При зображенні схеми складання деталі зображують над середньою лінією, а складальні одиниці під нею. При цьому складальні одиниці 1-го порядку (ті, що входять безпосередньо в машину) можуть бути подані своїми схемами складання.

Рекомендується таке заповнення граф, що позначають деталі і складальні одиниці (рисунок 1.3).

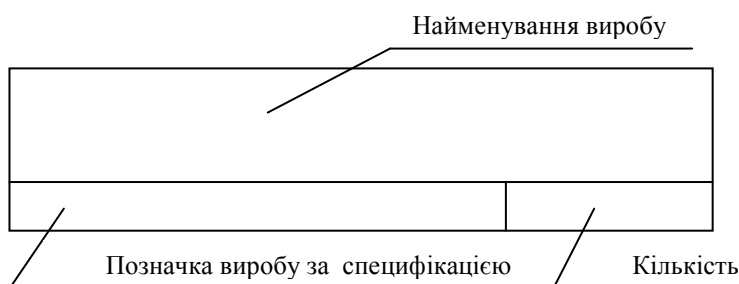


Рисунок 1.3 - Заповнення граф елемента схеми складання

Іноді у точках приєднання елементів виробу вказують спосіб з'єднання: спаяти, згвинтити, зашплінтувати і т. ін. Технологічна схема складання є вихідною інформацією для проектування технологічного процесу складання.

### 1.3 Класифікація технологічних процесів і форми технологічної документації

У залежності від умов виробництва і призначення ТП можна виділити ТП для виготовлення одного або декількох виробів. У зв'язку з цим за призначенням можна виділити одиничний та уніфікований ( типовий або груповий ) технологічні процеси.

**ОДИНИЧНИЙ** - це ТП виготовлення або ремонту виробу одного найменування, типорозміру і виконання незалежно від типу виробництва.

**ТИПОВИЙ** - це ТП виготовлення групи виробів, для яких зміст і послідовність більшості технологічних операцій і переходів збігаються. Вони застосовуються як інформаційна база для розробки одиничних ТП, а також стандартів на типові ТП. Автором ідеї типізації технології був професор А.П. Соколовський.

Типізація ТП базується на класифікації деталей за ознаками спільності конфігурації і схожості технологічних процесів. Наприклад, проф. А.П. Соколовський виділяв такі класи деталей: вали, осі, втулки, диски, плити,

станини, рами і т. ін. Типізація ТП дозволяє узагальнити існуючі передові ТП, поширювати досвід впровадження прогресивного оснащення, інструменту. Ця ідея впроваджена на багатьох підприємствах.

**ГРУПОВИЙ** - це ТП виготовлення групи виробів із різними конструктивними, але загальними технологічними ознаками. Автор групової технології - проф. С.П. Митрофанов. Групова технологія є розвитком ідей типізації і ставить своїм завданням таку побудову технології виготовлення або складання виробів, при якій різко знижуються витрати часу на переналагодження устаткування. В основі групової технології також покладено класифікацію виробів і комплектування груп. Але конструктивна подібність виробів при цьому є вторинною ознакою. При груповій технології технологічний процес проектується на комплексну деталь, що є або реально існуючою найбільш складною деталлю групи, або штучно створюється як деталь, що містить усі поверхні окремих деталей групи, наприклад ( див. рис. 1.4). Комплексна деталь – А.

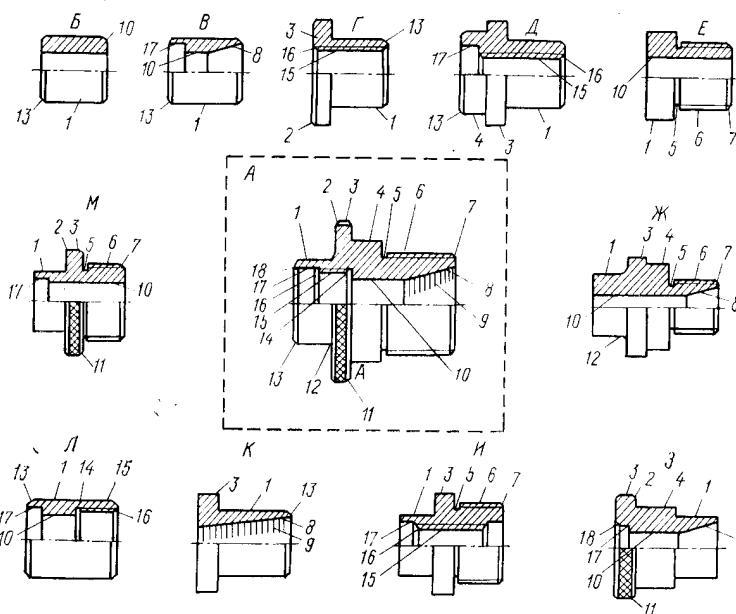


Рисунок 1.4 – Схема формування комплексної деталі

Розроблений для комплексної деталі ТП є, як правило, надлишковим для конкретних деталей, тому що може містити технологічні операції і

переходи для обробки відсутніх у неї поверхонь. На основі групового ТП розробляють одиничні технологічні процеси шляхом виключення з групового зайвих операцій і переходів, уточнюючи технологічне оснащення. На цьому принципі побудований один з напрямків САПР ТП - проектування одиничних технологічних процесів на основі уніфікованого.

За рівнем досягнень науки і техніки ТП можна розділити на робочі та перспективні.

**РОБОЧИЙ** - це ТП виконуваний за робочою [документацією](#), що відбиває можливості конкретного виробництва.

**ПЕРСПЕКТИВНИЙ** - це ТП, що відповідає технічним рішенням, які цілком або частково ще повинні бути впроваджені на підприємстві ( нові верстати, способи обробки, оснащення та ін.).

**ТИМЧАСОВИЙ** - це ТП, застосований на підприємстві протягом обмеженого періоду через ремонт обладнання, оснащення або в зв'язку з аварією.

**КОМПЛЕКСНИЙ** - це ТП, який містить не тільки технологічні операції, але й операції переміщення, контролю, очищення заготовок і т. ін.

Усі перелічені вище технологічні процеси можуть бути розроблені з різним ступенем деталізації технічних рішень. У залежності від цього технологічні процеси записують на різних формах бланків технологічної документації. Найбільш поширеними з них є: маршрутні карти (МК), карти технологічного процесу (КТП), операційні карти (ОК), карти ескізів (КЕ).

Відповідно до ГОСТу 3.1109-82 можуть бути виконані такі види опису технологічних процесів:

**МАРШРУТНИЙ ОПИС** технологічного процесу являє собою скорочений опис на бланках МК усіх технологічних операцій у послідовності їх виконання без вказівки переходів і технологічних режимів. При цьому вказуються номери і найменування операцій, застосовуване обладнання, розряд роботи, норма часу на виконання операції. Застосовується як

самостійний документ в одиничному, дрібносерійному і дослідному виробництвах.

**МАРШРУТНО-ОПЕРАЦІЙНИЙ** опис технологічного процесу припускає як і маршрутний - скорочений опис всіх операцій у послідовності їх виконання. Але при цьому найбільш складні операції викладають до рівня переходів із вказівкою одержуваних розмірів і режимів обробки. Такий опис виконується на бланках КТП або МК. Для описаних на рівні переходів операцій оформляють карти ескізів на бланках КЕ. Такий опис застосовується в одиничному, дрібносерійному, середньосерійному і навіть у дослідному виробництві для складних деталей.

**КАРТИ ЕСКІЗІВ** – технологічний документ, на якому зображують заготовку в положенні обробки на даній операції, проставляють умовними позначеннями схему її базування з вказівкою форми установчих елементів пристосування і кількістю позбавлених при цьому ступенів вільності, а також одержувані на даній операції розміри з допусками, шорсткість поверхонь і інші технічні вимоги.

**ОПЕРАЦІЙНИЙ** опис технологічного процесу містить опис усіх технологічних операцій на рівні переходів з вказівкою застосовуваного оснащення (пристосування, різальних, допоміжних і вимірювальних інструментів), а також режимів обробки, основний, допоміжний і штучний часи. Виконується на бланках ОК. Операційний опис технологічних процесів завжди доповнюється маршрутним описом і картами ескізів. Застосовується в серійному і масовому виробництвах, а для особливо складних деталей - і в більш дрібних типах виробництва.

#### **1.4 Форми і принципи організації технологічних процесів механічної обробки і складання**

##### **Форми організації технологічних процесів механічної обробки**

Форми і принципи організації технологічних процесів механічної обробки і складання в значній мірі залежать від типу виробництва. Наприклад, в

умовах одиничного і дрібносерійного виробництв в механічних цехах устаткування розміщують за видами робіт –дільниця токарних, фрезерних верстатів, слюсарна дільниця і так далі.

В умовах середньосерійного виробництва застосовують групову форму організації. Її сутність полягає в організації предметно-замкнених дільниць для виготовлення групи конструктивно і технологічно подібних деталей. Обладнання на таких дільницях встановлено в порядку виконання технологічних операцій відповідно до групового технологічного процесу. Така дільниця постійно налагоджена на виготовлення будь-якої деталі групи. Число деталей у групі може досягати десятків і навіть сотень найменувань, що дозволяє різко скоротити час переналагодження обладнання і застосувати в умовах середньосерійного виробництва більш продуктивне обладнання. Принципи організації такого виробництва були розроблені в 1950 році професором С.П. Митрофановим і викладені в його численних монографіях і методичних рекомендаціях.

Як правило, у великосерійному і масовому виробництвах організуються потокові лінії, на яких устаткування встановлене в послідовності виконання технологічних операцій. Такі лінії можуть бути:

- безперервно-потоківі (заготовка переміщується від одного верстата до іншого без меж операційного пролежування. Операції за часом синхронізовані - однакові за тривалістю або кратні такту). У випадку, коли тривалість операції кратна такту, але перевищує його, для її виконання передбачають не одне, а декілька робочих місць.

- прямоточні (операції виконуються в порядку технологічного процесу, але їх тривалість несинхронізована. Тому на окремих робочих місцях утворюють міжопераційні заділи).

Як перші, так і другі потокові лінії можуть бути однономенклатурними і багатноменклатурними (із послідовним виготовленням декількох виробів).

### **Форми організації технологічних процесів складання**

На вибір форми організації [технологічного процесу](#) складання впливає не тільки тип виробництва, а і складність технологічної схеми складання, схема членування виробу, його розміри. На першому рівні класифікації можна виділити такі три організаційні форми складання (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 - Організаційні форми складання

У свою чергу непотокове складання може бути таким (рис. 1.6).

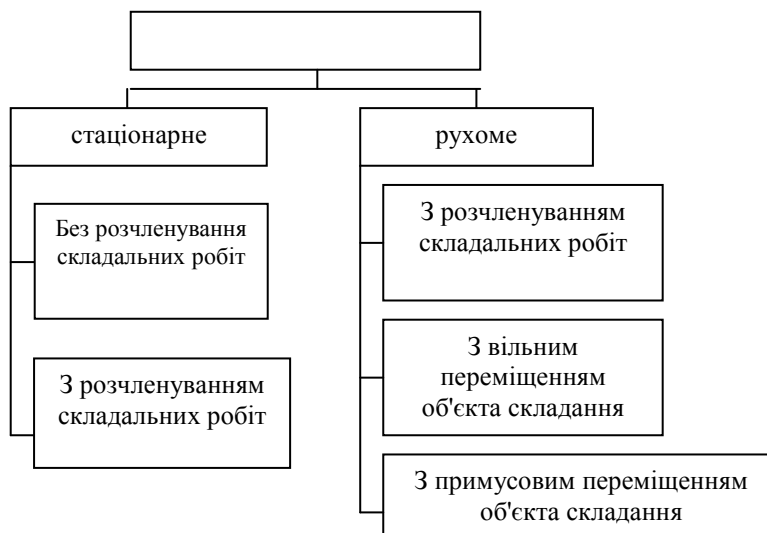


Рисунок 1.6 - Види непотокового складання

Непотокове стаціонарне складання характеризується тим, що виріб, який складають, залишається впродовж всього процесу складання на одному робочому місці з установкою базової [деталі](#) на стенді або просто на підлозі. Усі необхідні для складання деталі, складальні одиниці і комплектуючі вироби надходять на це робоче місце.

Цей вид складання може виконуватися без розчленування складальних робіт, коли все складання робиться одним робітником або бригадою від початку до кінця, тобто має місце загальне складання. Якщо складання здійснює бригада, то закріплення окремих складальних переходів за



робітниками здійснює бригадир. Таке складання застосовується в одиничному і дрібносерійному виробництвах при складанні дрібних виробів (одним робітником), а також в одиничному виробництві при складанні середніх і великих виробів бригадою.

Непотокове стаціонарне складання з розчленовуванням складальних робіт передбачає наявність, крім загального, ще і вузлового складання. При цьому складальні одиниці 1-го, 2-го і так далі порядків складають паралельно різні складальники або цілі бригади. Такий вид складання доцільний для складання середніх і великих виробів у дрібносерійному виробництві.

Непотокове рухоме складання характеризується послідовним переміщенням виробу, що складають, від одного робочого місця до іншого.

Технологічний процес при цьому розбивається на операції, які виконуються одним робітником або невеликою бригадою.

Переміщення виробу може бути вільним, коли в міру закінчення виконання операції воно переміщується на наступне робоче місце вручну або за допомогою підйомно-транспортних механізмів.

Складання з примусовим переміщенням виробу, що збирається, передбачає його переміщення за допомогою конвеєра або візків, замкнутою транспортною системою з привідним ланцюгом. Непотокове рухоме складання доцільне в серійному виробництві при збільшенні серії ближче до середньосерійного типу.

Потокове складання, а воно завжди передбачає розчленовування складальних робіт, може бути реалізоване в таких варіантах (рисунок 1.7):

Потокове стаціонарне складання застосовується при складанні великих і громіздких виробів, наприклад, важких верстатів, судових дизелів, літаків і тому подібних. При цьому видові складання усі вироби, що складають, знаходяться на одному місці нерухомо, а робітники або бригади одночасно переходять від одного об'єкта, що складають, до наступного через періоди часу, що дорівнюють такту. Кожен робітник або бригада на кожному з

об'єктів, що складають, виконують ту саму операцію. Межі застосування - середньосерійне виробництво великих виробів.

Потокове рухоме складання стає доцільним в умовах великосерійного і масового виробництва. Як правило, тривалість складальних операцій дорівнює або кратна такту. При цьому на більш тривалих операціях паралельно працюють декілька складальників.



Рисунок 1.7 – Види потокового складання

Потокове складання може бути організоване з вільним або з примусовим переміщенням об'єкта. У першому випадку робітник передає виріб, що складають, на наступну операцію в міру виконання власного обсягу робіт, а в другому - момент переміщення виробу визначається сигналом ( світловим або звуковим) після чого починається примусове періодичне переміщення конвеєра. В деяких випадках конвеєр рухається безупинно з швидкістю, що дозволяє виконати обсяг робіт, передбачений на операцію, за час проходження об'єкта складання повз зону робочого місця.

Таким чином, міжопераційне переміщення виробу, що складають, здійснюється:

- вручну або за допомогою візків, похилого лотка або рольганга;
- за допомогою конвеєра з періодичним переміщенням, у період зупинки якого робиться виконання складальних операцій;

- за допомогою конвеєра, що безупинно рухається, зі швидкістю, що забезпечує можливість виконання складальних операцій (швидкість руху такого конвеєра 0,25-3,5 м/хв).

Розглянуті вище організаційні форми складання можна звести в таблицю (таблиця 1).

Таблиця 1.1 – Організаційні форми складання

Ознаки, що визначають форму організації складання		Тип виробництва											
		одиничний		дрібносерійний		середньосерійний		великосерійний		масовий			
Розмір виробів	дрібні	+		+		+		+		+		+	
	середні		+		+		+		+		+		+
	великі			+		+		+		+		+	
Потокове складання										+	+	+	+
Непотокове складання		+	+	+	+	+	+	+					
Стаціонарне складання		+	+	+	+	+				+	+		+
Рухоме складання							+	+	+	+	+	+	+
Без розчленування складальних робіт		+	+	+	+								
З розчленуванням складальних робіт			+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
З вільним переміщенням об'єкта складання							+	+					
З примусовим переміщенням об'єкта складання										+	+		+
Переміщення бригад складальників									+			+	

### Питання для самоперевірки

1. Значення технології машинобудування для розвитку суспільства.
2. Назвіть провідних вчених в галузі технології машинобудування та їхній внесок в розвиток цієї науки.
3. Види виробів.

4. Методи і форми організації технологічних процесів механічної обробки в різних типах виробництва. Такт випуску виробів.
5. Методи і форми організації технологічних процесів складання в різних типах виробництва.

## Тема 2. Основи базування.

2.1 Класифікація поверхонь.

2.2 Основи базування виробів.

2.3 Класифікація баз і приклади їхньої реалізації.

2.4 Умовні позначення баз у технологічній документації.

2.5 Типові позначення схем базування на операційних ескізах.

2.6 Правила вибору баз.

### 2.1 Класифікація поверхонь

Уся множина поверхонь деталей зводиться до трьох видів:

- виконавчі;
- базові;
- вільні.

**ВИКОНАВЧІ** - поверхні, за допомогою яких виріб виконує своє службове призначення безпосередньо (поверхня шківів, що стикається з приводним пасом, поверхня різів в гвинтових механізмах, робоча поверхня зубів коліс, поверхні лопаток, що взаємодіють із робочим середовищем у твердому, рідкому, газоподібному станах, поверхні відбивачів світлових, теплових і інших потоків).

**БАЗОВІ** - поверхні, за допомогою яких визначається положення даного виробу у виробі більш високого рівня або положення інших виробів, що приєднуються до нього.

**ВІЛЬНІ** - поверхні, що не стикаються з поверхнями інших виробів, але визначають габарити, масу, жорсткість і інші параметри деталей. Ці поверхні можуть підлягати обробці, а можуть не оброблятися, тобто залишатися в стані вихідної заготовки.

Усі ці поверхні утворюють множину поверхонь, що сполучаються і не сполучаються. Перші виконують певні функції виконавчих або базових, другі – вільних.

## 2.2 Основи базування виробів

При складанні елементів машини необхідно забезпечити правильне розміщення деталей і вузлів у складальних одиницях, а при обробці заготовок їх необхідно правильно орієнтувати щодо елементів верстата. Завдання взаємного орієнтування виробів у складальних одиницях і заготовок при обробці вирішуються їх базуванням.

**БАЗУВАННЯ** - надання заготовці або виробу необхідного положення щодо обраної системи координат (ГОСТ 21495 – 84).

При механічній обробці заготовок на верстатах базуванням прийнято вважати надання заготовці необхідного положення щодо елементів верстата. Фіксація положення, досягнутого при базуванні, здійснюється закріпленням заготовок. У зв'язку з цим при установці заготовок перед обробкою вирішуються два завдання: базування і закріплення.

Відомо, що будь-яке матеріальне тіло в тривимірному просторі має шість ступенів вільності – три переміщення уздовж координатних осей і три обертання навколо цих осей. При базуванні на тіло накладається деяке число позиційних зв'язків (обмежники переміщень та обертань), що позбавляють його визначених ступенів вільності. Таким чином визначається числове значення положення по відповідній координаті. У реальних умовах базування позиційні зв'язки заміняються контактом відповідних поверхонь або опорних точок заготовки і пристосування. Число опорних точок заготовки повинно бути таким, що дорівнює числу заміненних ними позиційних зв'язків. При цьому під опорною точкою мається на увазі ідеальна точка контакту, що позбавляє заготовку одного ступеня вільності. Згідно з ГОСТом 21495-84 опорні точки позначають: - для вигляду збоку, - для вигляду зверху.

## 2.3 Класифікація баз і приклади їх реалізації

**БАЗА** - поверхня або виконуючі ту ж функцію сполучення поверхонь, вісь, точка, що належать заготовці або виробові і використовуються для базування.

Бази класифікуються за такими ознаками:

### **А За призначенням:**

- конструкторські (основні та допоміжні);
- технологічні;
- вимірювальні.

### **Б За числом ступенів вільності , що вони позбавляють (таблиця 1).**

Таблиця 1- Характеристика баз за числом ступенів вільності, що вони позбавляють

<b>Найменування бази</b>	<b>Ступінь вільності, що позбавляється</b>	<b>Вид поверхні, що реалізує базу</b>
Встановлювальна (ВБ)	3 (1 перем., 2 оберти)	Площина
Напрямна (НБ)	2 (1 перем., 1 оберт)	Площина
Опорна (О)	1 (1 перем. або 1 оберт)	Площина, зрізаний палець
Подвійна напрямна (ПНБ)	4 (2 перем., 2 оберти)	Довгий циліндр
Подвійна опорна (ПОБ)	2 (2 перем.)	Короткий циліндр

### **В За характером прояву (див. рисунок 2.1):**

- явні (у вигляді реальних поверхонь, розмічувальних рисок або точок);
- сховані (у вигляді уявної площини, осі симетрії тощо).

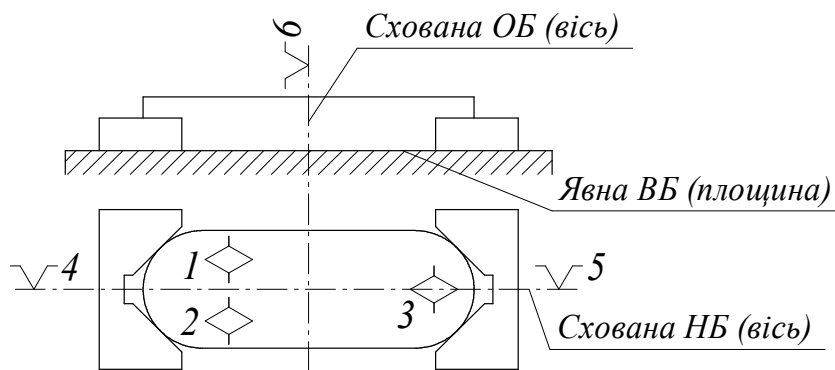


Рисунок 2.1 - Базис явні і сховані

- **ОСНОВНА КОНСТРУКТОРСЬКА БАЗА (ОКБ)** використовується для визначення положення самої деталі або складальних одиниць у виробі (рисунок 2.2).

- **ДОПОМІЖНА КОНСТРУКТОРСЬКА БАЗА (ДКБ)** використовується для визначення положення деталей або складальних одиниць, що приєднуються до даного виробу (рисунок 2.2).

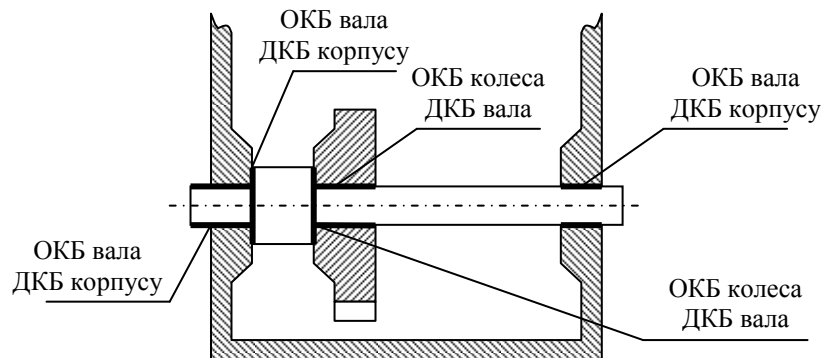


Рисунок 2.2 - Основні і допоміжні конструкторські бази

- **ТЕХНОЛОГІЧНА БАЗА (ТБ)** - база, що використовується для визначення положення заготовки або виробу при виготовленні, складанні або ремонті (рисунок 2.3).



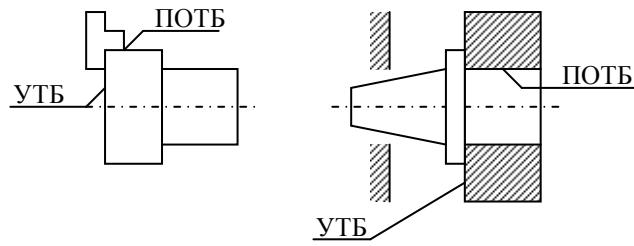


Рисунок 2.3 - Технологічні бази

Технологічні бази можуть бути реальними (реальні поверхні виробу) і штучними (поверхні спеціально створені для базування при виготовленні, складанні або ремонті, наприклад, центрові гнізда у вала).

**ВИМІРЮВАЛЬНА БАЗА (ВБ)** – база, що використовується для визначення відносного положення поверхонь або виробів і засобів виміру (рисунок 2.4).

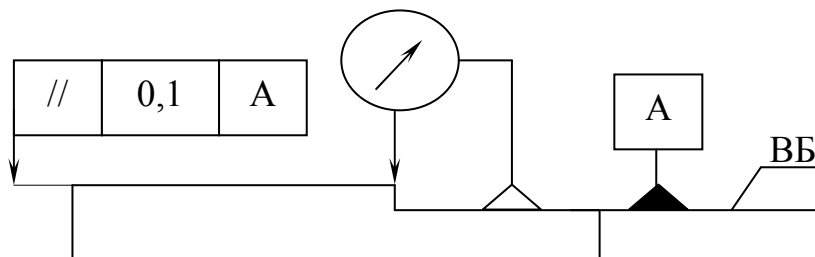


Рисунок 2.4 - Вимірювальна база (ВБ)

**Характеристика баз за числом ступенів вільності, які вони позбавляють**

**ВСТАНОВЛЮВАЛЬНА БАЗА (ВБ)** – позбавляє [виріб](#) 3 ступенів вільності, подана завжди площиною. За установчу базу рекомендується брати [поверхню](#) виробу, що має найбільшу площу.

**НАПРЯМНА БАЗА (НБ)** – позбавляє виріб 2 ступенів вільності, подана завжди площиною. За напрямну базу рекомендується брати поверхню, що має найбільшу довжину ( для максимального рознесення опорних точок).

**ОПОРНА БАЗА (ОБ)** - позбавляє виріб 1-ї ступені вільності. Подана або площиною, або, як особливий випадок, циліндричним зрізаним пальцем.

**ПОДВІЙНА НАПРЯМНА БАЗА (ПНБ)**– позбавляє виріб 4 ступенів вільності. Подана довгою ( $L > D$ ) зовнішньою або внутрішньою циліндричною поверхнею ( рисунок 5). Іноді ПНБ може бути реалізована за допомогою двох рознесених у просторі коротких циліндричних поверхонь.

**ПОДВІЙНА ОПОРНА БАЗА (ПОБ)**– позбавляє виріб 2 ступенів вільності. Подана короткою ( $L < D$ ) зовнішньою або внутрішньою циліндричною поверхнею.

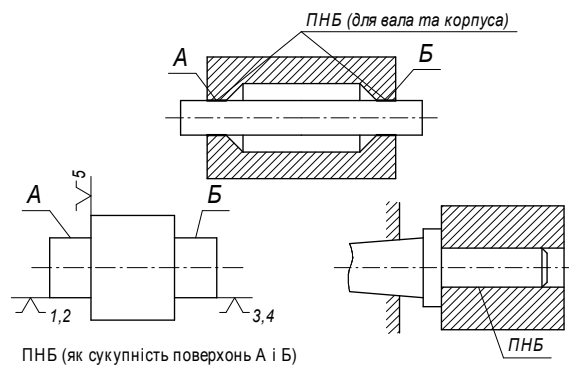


Рисунок 2.5 – Приклади подвійної напрямної бази ( ПНБ)

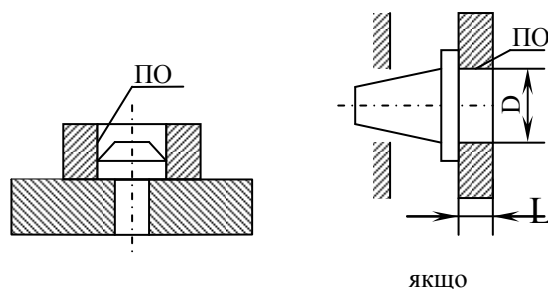


Рисунок 2.6 - Приклад подвійної опорної бази (ПОБ)

Розглянемо теоретичні схеми базування заготовок різних класів.

Теоретична схема базування паралелепіпеда.

Вона моделює схеми базування заготовок типу корпусів, плит та подібних до них деталей. Теоретична схема наведена на рисунку 2.7.

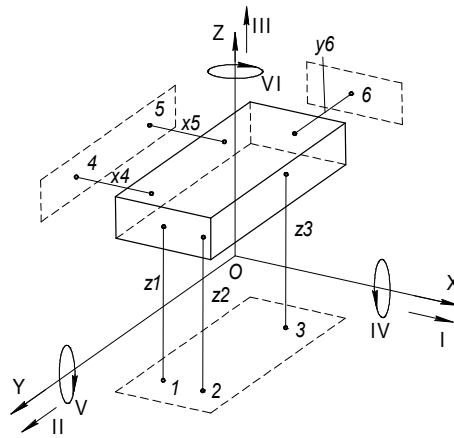


Рисунок 2.7 - Схема базування призматичних заготовок

Відповідні цій схемі таблиця відповідностей і матриця зв'язків показані нижче.

Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені вільності (див. рисунок 7)
1,2,3	III,IV,V
4,5	I,VI
6	II

Матриця зв'язків

	X	Y	Z	
L	0	0	1	Встановлювальна база
$\alpha$	1	1	0	
L	1	0	0	Напрямна база
$\alpha$	0	0	1	
L	0	1	0	Опорна база
$\alpha$	0	0	0	

У таблиці відповідностей зазначаються ступені вільності (I-VI), що позбавляються при накладенні визначених зв'язків (1 – 6).

У матриці зв'язків "1" означає, що дана база визначає положення виробу по лінійній (L) або кутовій координаті ( $\alpha$ ) у відповідній координатній системі і "0" - у протилежному випадку.

Теоретична схема базування довгих циліндрів подана на рисунку 2.8. Вона моделює базування заготовок при установці з використанням довгих циліндричних поверхонь, торців і радіальних елементів у пристосуваннях із установчими елементами типу призм.

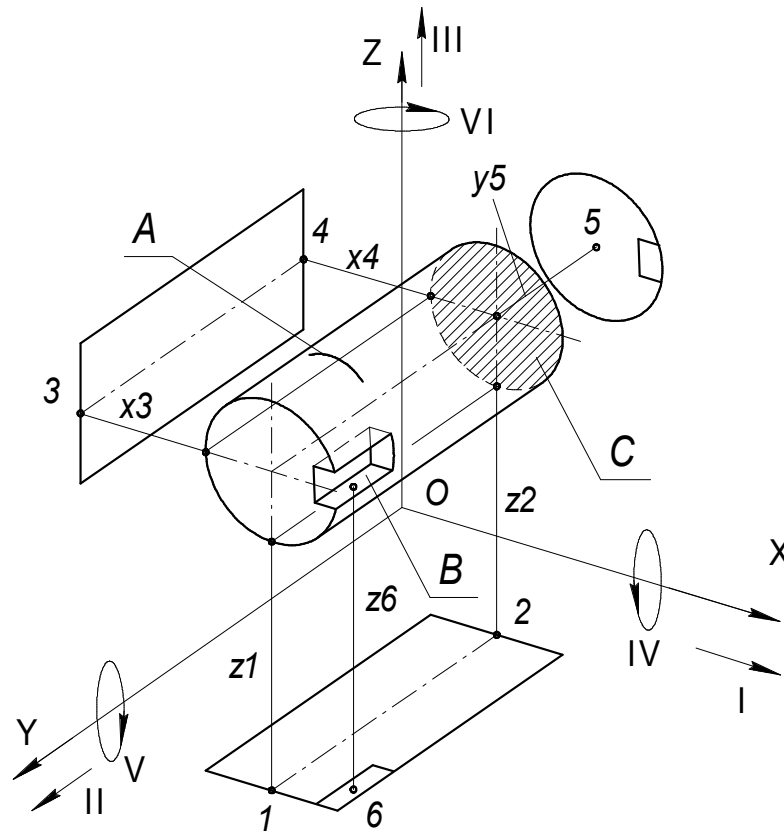


Рисунок 2.8 - Схема базування довгих циліндрів

Нижче подані відповідні цій схемі таблиця відповідностей і матриця зв'язків.

Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені вільності
1,2,3,4	I,III,IV,VI
5	II
6	V

Матриця зв'язків

	X	Y	Z	
L	1	0	1	Подвійна напрямна база
$\alpha$	1	0	1	
L	0	1	0	Опорна база
$\alpha$	0	0	0	
L	0	0	0	Опорна база
$\alpha$	0	1	0	

Теоретична схема базування заготовок типу дисків подана на рисунку 2.9.

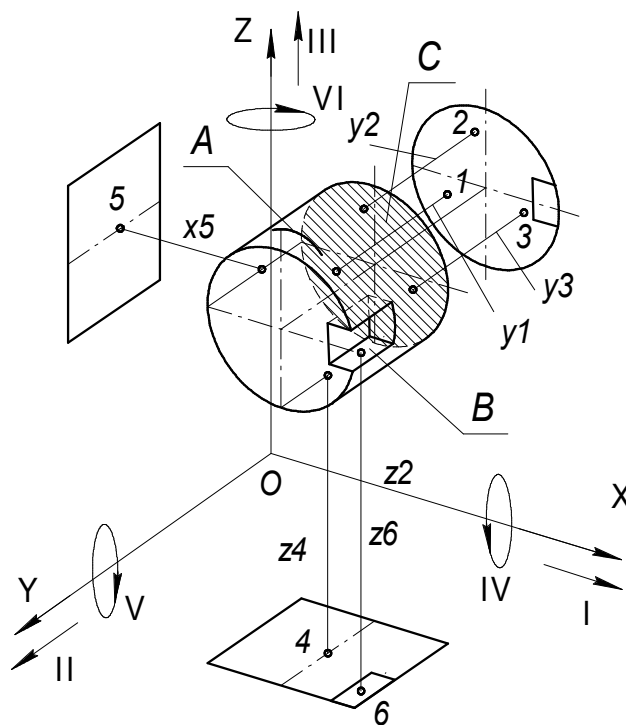


Рисунок 2.9 - Схема базування дисків

Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені вільності
1,2,3	II,IV,VI
4,5	III,I
6	V

Матриця зв'язків

	X	Y	Z	
L	0	1	0	Встановлювальна база
$\alpha$	1	0	1	
L	1	0	1	Подвійна опорна база
$\alpha$	0	0	0	
L	0	0	0	Опорна база
$\alpha$	0	1	0	

Потрібно відзначити, що для тіл обертання позбавлення заготовки шостого ступеня вільності необхідно лише у випадках наявності кутових координуючих розмірів для поверхонь, які обробляють на різних операціях, наприклад, при свердленні отвору в заготовці, показаній на рисунку 2.10а, її досить позбавити 5 ступенів вільності (неповне базування), а заготовку, показану на рисунку 2.10б, необхідно додатково орієнтувати відносно раніше виготовленого радіального паза й у такий спосіб позбавити ще однієї – шостої ступені вільності (повне базування).

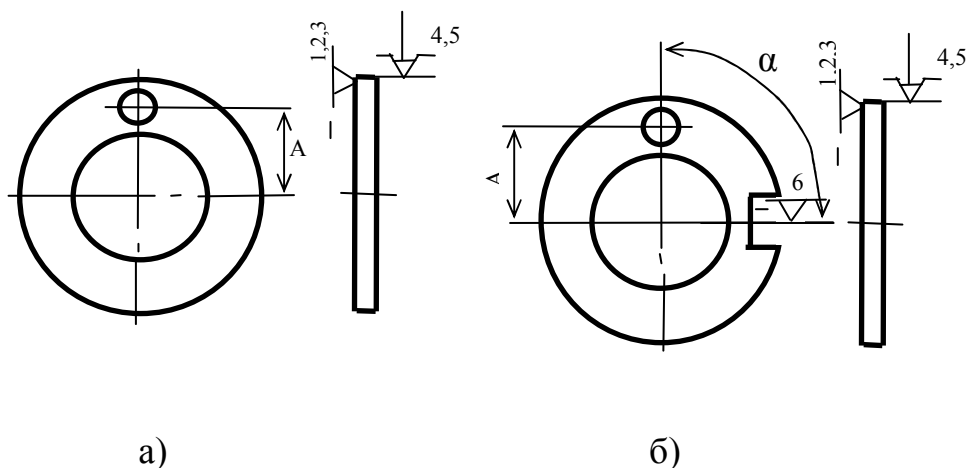


Рисунок 2.10 - Приклад повного і спрощеного базування

Правило 6 точок. Для повного базування заготовки в пристосуванні необхідно і досить створити в ньому шість опорних точок, розташованих певним чином відносно базових поверхонь заготовки.

#### 2.4 Умовні позначення баз у технологічній документації

При розробленні різних технологічних документів - операційних ескізів, схем базування і закріплення при проектуванні оснащення, тощо - необхідно позначити бази і зазначити форму поверхонь, застосовуваних для базування, число ступенів вільності, що вони позбавляють, точки прикладання сил затиску, зазначити джерело їх виникнення.

Для цього використовуються спеціальні умовні позначення згідно з ГОСТом 3.1107-81 "Обозначения условные графические, применяемые в технологических процессах. Опоры и зажимы." Деякі з них, що мають найчастіше застосовуються, наведені нижче:

$\triangle$	опора нерухома;	$\sphericalangle$	центр жорсткий;
$\triangle$	опора рухома;	$\circ$	центр обертовий;
$\sphericalangle$	опора плаваюча;	$\circ$	центр плаваючий.

## 2.5 Типові позначення схем базування на операційних ескізах.

### Схеми базування призматичних заготовок

При базуванні призматичних заготовок як бази найбільш часто використовуються площини й отвори (рисунки 2.11-2.13).

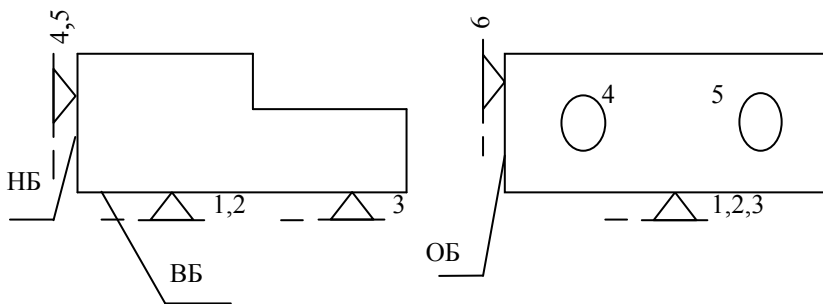


Рисунок 2.11- Базування по трьох площинах

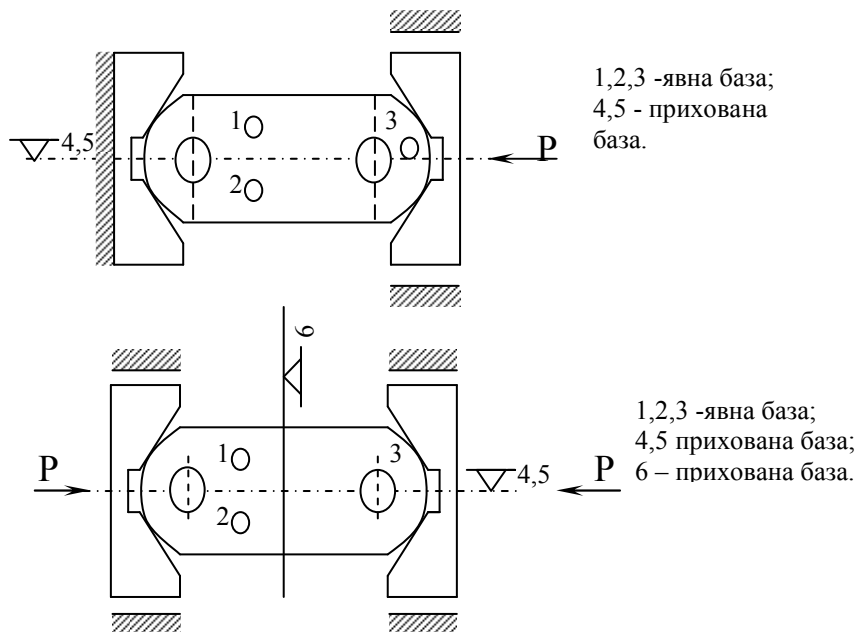


Рисунок 2.12 - Базування з використанням призм для реалізації прихованих

баз



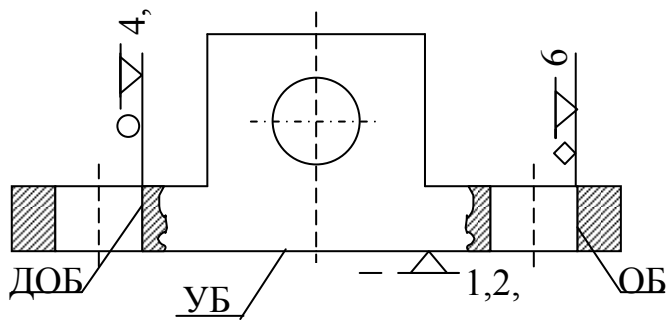


Рисунок 2.13 - Базування на площину і два пальці

### Схеми базування заготовок типу валів

Заготовки типу валів, як правило, при обробці встановлюються в центрах або призмах. Довгі вали ( із співвідношенням  $L / d > 12$ ) обробляються із застосуванням люнетів. Центри можуть бути жорсткими, плаваючими й обертовими. Деякі типові схеми базування з їх використанням наведені нижче.

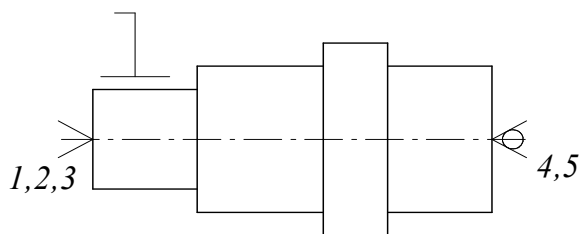


Рисунок 2.14 - Базування в жорсткому лівому та обертовому правому центрах

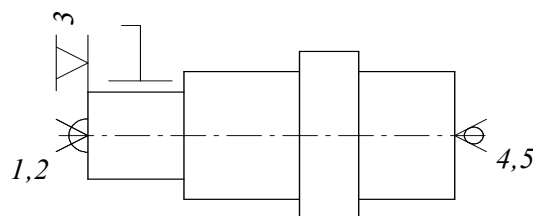


Рисунок 2.15 - Базування з використанням лівого плаваючого та обертового правого центра

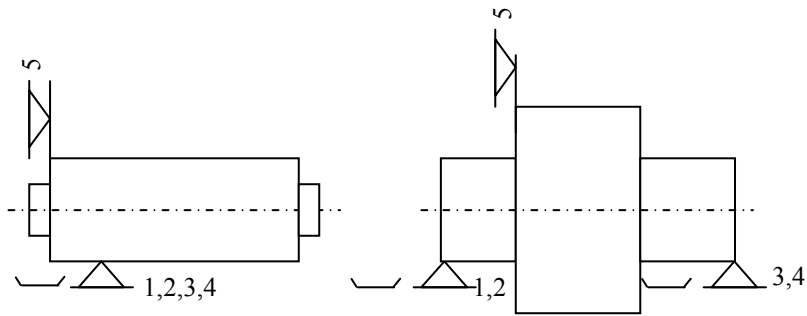


Рисунок 2.16 – Варіанти базування в призмах

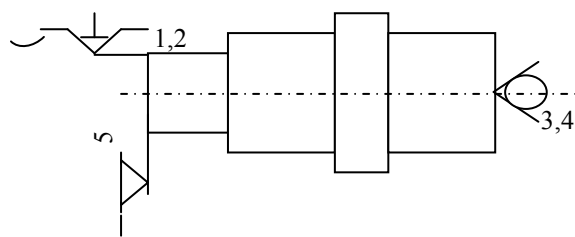


Рисунок 2.17 - Базування в патроні з підтиском заднім обертовим центром

### Схеми базування заготовок типу дисків, кілець

Заготовки цих класів при обробці встановлюються в більшості випадків у самоцентруючих патронах, на спеціальних оправках та інших пристосуваннях. При цьому як бази використовуються площини, циліндричні поверхні, радіальні елементи. Деякі зі схем базування наведені нижче.

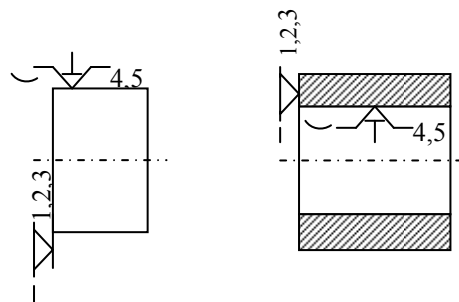


Рисунок 2.18 - Базування в трикулачковому патроні

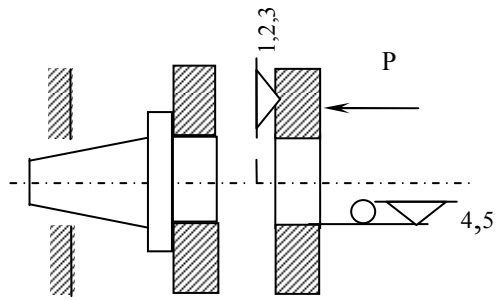


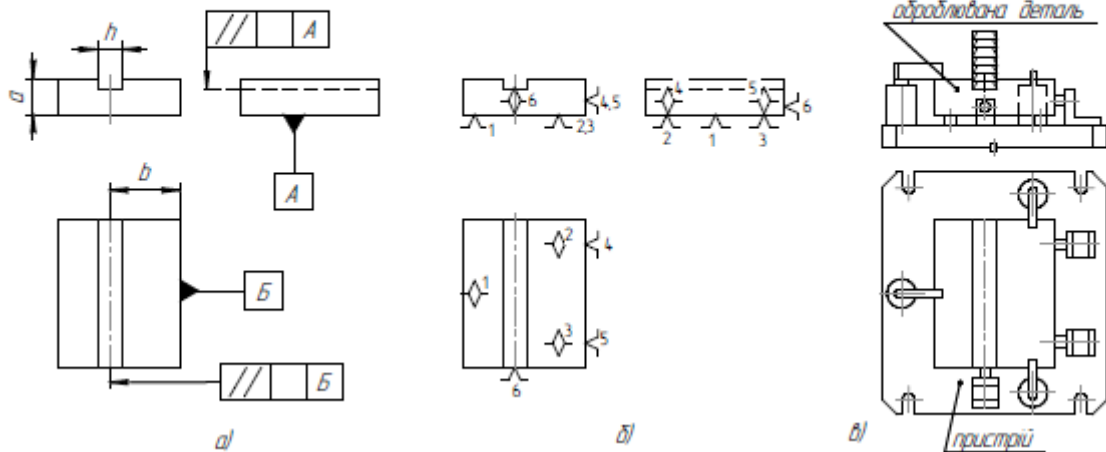
Рисунок 2.19 - Базування на короткій оправці

Це далеко не повний перелік можливих випадків базування різних заготовок. Деякі інші випадки наведені у вищезгаданому державному стандарті, а багато інших схем є похідними від розглянутих вище.

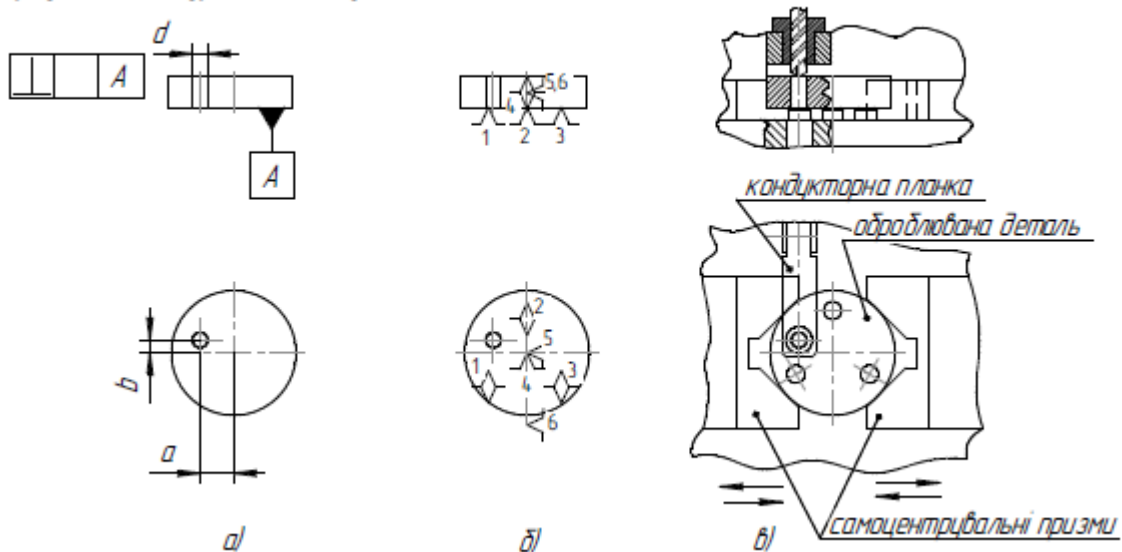
**Приклади розроблення та реалізації схем базування**

а) ескіз деталі; б) теоретична схема базування; в) приклад реалізації теоретичної схеми базування

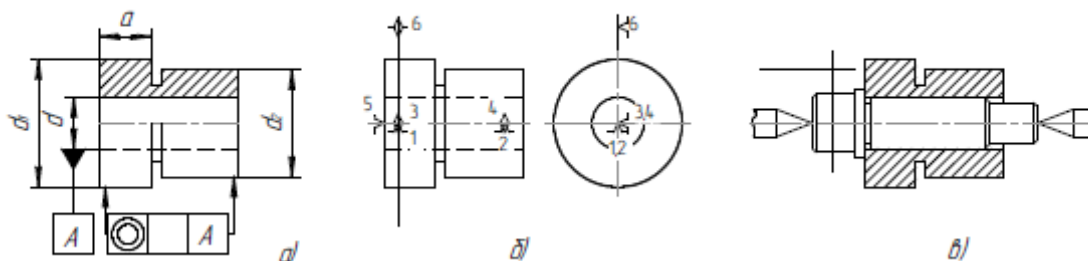
*Задача 1.* При фрезеруванні паза шириною  $h$  необхідно витримати розміри  $a$  і  $b$  та забезпечити паралельність осі паза відносно поверхні  $B$  і паралельність дна паза відносно поверхні  $A$



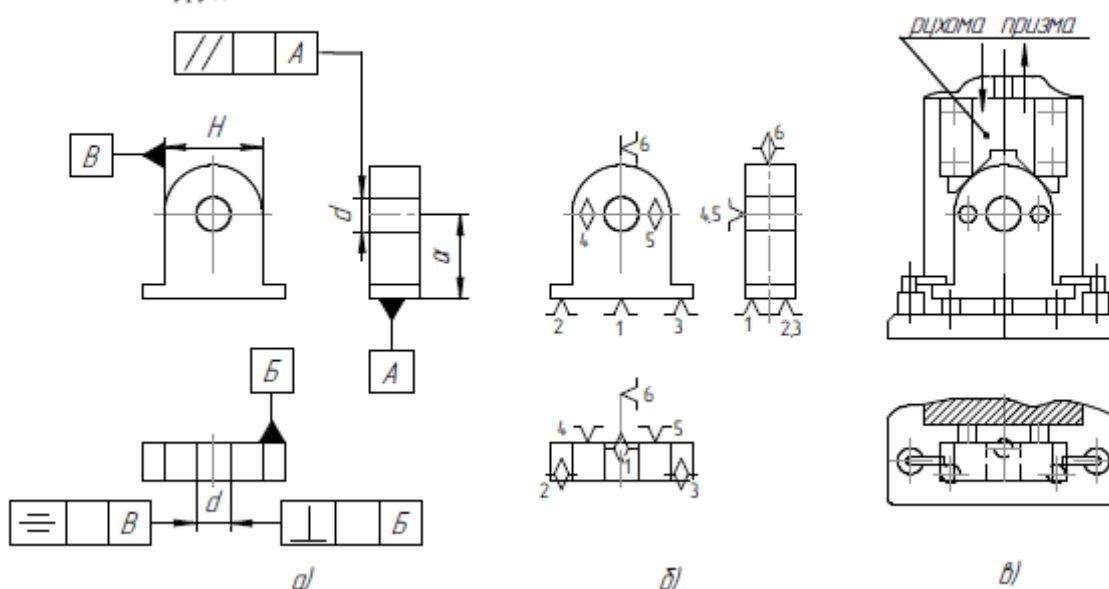
Задача 2. При обробленні отвору у диску у розмір  $d$  необхідно витримати розміри  $a$  і  $b$  та забезпечити перпендикулярність осі отвору відносно поверхні  $A$



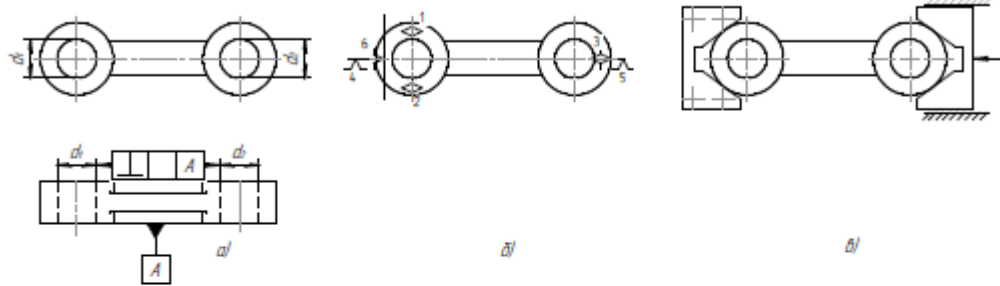
Задача 3. При обробленні циліндричних поверхонь у розмір  $d_1$  і  $d_2$  необхідно забезпечити їх співвісність з отвором  $d$  та витримати розмір  $a$



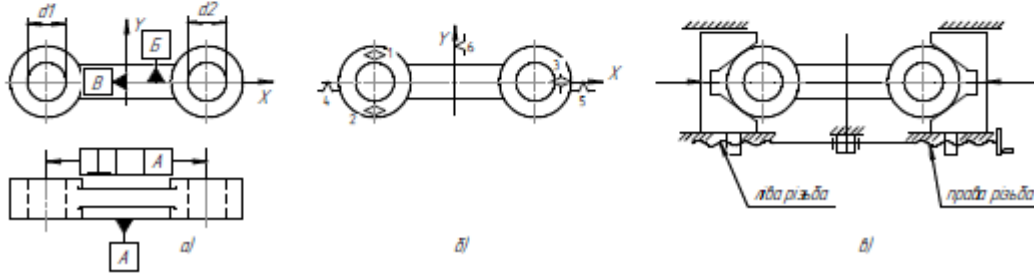
Задача 4. При розточуванні отвору у розмір  $d$  необхідно витримати розмір  $a$  та забезпечити паралельність осі отвору до поверхні  $A$ , перпендикулярність осі отвору до площини  $B$  у перетині  $I-I$ , симетричність отвору відносно зовнішнього контуру деталі



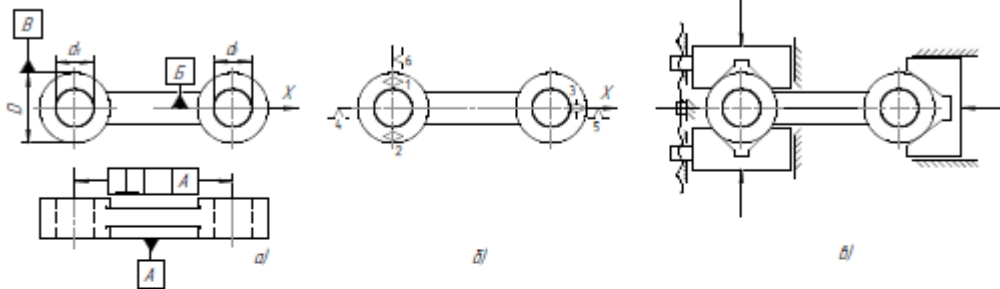
**Задача 5.** При обробленні (з використанням кондуктора) отворів у розмірі  $d_1$  і  $d_2$  у втулках важеля необхідно забезпечити перпендикулярність осей отворів до поверхні  $A$  і симетричність отворів відносно загальної площини симетрії втулок важеля



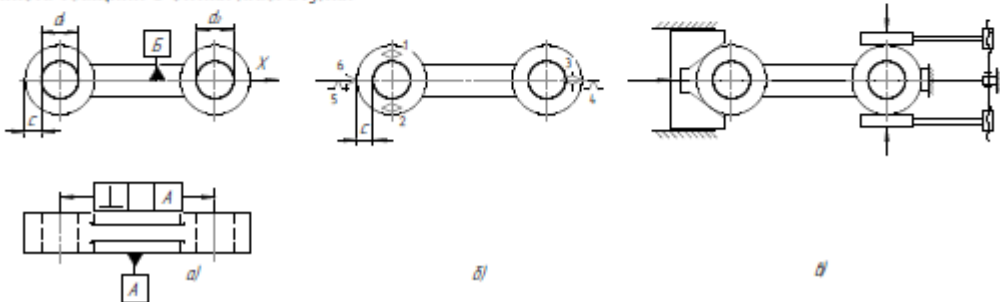
**Задача 6.** При обробленні (з використанням кондуктора) отворів у розмірі  $d_1$  і  $d_2$  у втулках важеля необхідно забезпечити перпендикулярність осей отворів до поверхні  $A$  і симетричність отворів відносно площин симетрії втулок  $X$  і  $Y$



**Задача 7.** При обробленні (з використанням кондуктора) отворів у розмірі  $d_1$  і  $d_2$  у втулках важеля необхідно забезпечити перпендикулярність осей отворів до поверхні  $A$ , симетричність отворів відносно площин симетрії втулок  $X$  і  $Y$ , співвісність отвору  $d_1$  відносно зовнішньої поверхні втулки  $D_1$



**Задача 8.** При обробленні (з використанням кондуктора) отворів у розмірі  $d_1$  і  $d_2$  у втулках важеля необхідно забезпечити перпендикулярність осей отворів до поверхні  $A$ , симетричність отворів відносно площини симетрії  $X$  і постійність товщини  $C$  стінки лівої втулки



## 2.6 Правила вибору баз

Усі поверхні деталі в загальному випадку можуть бути поділені на дві групи:

- такі, що не підлягають обробці після одержання вихідної заготовки;
- такі, що підлягають обробці з заданою точністю.

Точність і взаємне розташування перших між собою забезпечуються методом одержання вихідної заготовки. Точність взаємного розташування поверхонь першої і другої груп між собою досягається шляхом правильного вибору технологічних баз.

Технологічні бази поділяються на чорнові та чистові. Існують деякі правила для їх призначення.

Чорнові бази – бази, використовувані на першій механічній операції. Ці бази призначені для підготовки чистових баз. Чорнові бази використовуються тільки один раз, на першій технологічній операції. При їх виборі потрібно враховувати такі принципи:

- якщо в деталі є поверхні, що не підлягають обробці, то їх потрібно застосувати для чорнових баз;
- за чорнові бази не можна брати поверхні рознімання штампів, такі, що мають ливники й інші особливості заготовок;
- за чорнові бази потрібно брати поверхні, на яких передбачений мінімальний припуск.

Чистові бази - бази, що використовуються для чистової обробки.

1 Чистові технологічні бази повинні по можливості бути елементами деталі, що є її конструкторськими або вимірювальними базами ( принцип суміщення баз).

2 Чистові бази повинні забезпечувати обробку заготовок на різних технологічних операціях без зміни баз ( принцип постійності баз).

3 Якщо таких поверхонь у деталі немає, то створюють штучні чистові бази ( центрові гнізда, штучні прилиски тощо).

Чистові бази - бази, що використовуються для чистової обробки.

1 Чистові технологічні бази повинні по можливості бути елементами деталі, що є її конструкторськими або вимірювальними базами ( принцип суміщення баз).

2 Чистові бази повинні забезпечувати обробку заготовок на різних технологічних операціях без зміни баз ( принцип постійності баз).

3 Якщо таких поверхонь у деталі немає, то створюють штучні чистові бази ( центрові гнізда, штучні прилипки тощо).

### **Питання для самоперевірки**

- 1 Що таке базування, база, ступінь вільності ?
- 2 Наведіть класифікацію баз за призначенням.
- 3 Наведіть класифікацію баз за кількістю ступенів вільності.
- 4 Теоретичні схеми базування деталей різних форм.
- 5 Наведіть приклади реалізації схем базування для заготовок класу корпусів, плит за допомогою різних пристроїв.
- 6 Наведіть приклади реалізації схем базування для заготовок класу валів за допомогою різних пристроїв.
- 7 Наведіть приклади реалізації схем базування для заготовок класу дисків за допомогою різних пристроїв.
- 8 Правила вибору технологічних баз.

### Тема 3. Точність і якість у машинобудуванні.

- 3.1 Точність та її показники щодо деталей машин.
- 3.2 Економічна і досяжна точність.
- 3.3 Методи досягнення точності при механічній обробці і складанні.  
Методи досягнення точності при механічній обробці. Методи досягнення точності замикаючої ланки при складанні.
- 3.4 Основні чинники, що впливають на точність обробки.
- 3.5 Похибка установки заготовки  $\epsilon_u$  перед обробкою.
- 3.6 Геометричні похибки верстата  $\Delta_{\text{верст}}$ .
- 3.7 Похибка налагодження верстата  $\Delta_n$ .
- 3.8 Похибка від температурних деформацій  $\Delta_t$  елементів Т- системи.
- 3.9 Похибка від зносу різального інструмента  $\Delta_{\text{зн}}$ .
- 3.10 Похибка від пружних деформацій  $\Delta_{\text{пр}}$  елементів Т –системи.
- 3.11 Шорсткість поверхні і методи її цінки.
- 3.12 Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин.

#### 3.1 Точність та її показники щодо деталей машин

Технологія [машинобудування](#) розглядає точність як ступінь відповідності параметрів готового [виробу](#) розмірам, формі й іншим характеристикам, заданим у кресленні.

Точність виготовлення і шорсткість поверхонь призначає конструктор, виходячи з вимог для забезпечення функціонального призначення виробу. Точність у машинобудуванні має велике значення для підвищення експлуатаційних якостей [машин](#), збільшення їх довговічності, надійності, швидкісних та інших характеристик.



Наприклад, дослідженнями проф. А.О. Маталіна встановлено, що зменшення зазору в рухомих з'єднаннях з 20 до 10 мкм збільшує термін їх використання з 740 до 1200 годин.

Стосовно до деталей машин точність оцінюється наступними показниками:

- точністю розмірів;
- точністю форми [поверхні](#);
- точністю взаємного розташування поверхонь;
- шорсткістю поверхні.

При оцінці точності розмірів використовують такі поняття:

- **НОМІНАЛЬНИЙ РОЗМІР** - розмір, визначений конструктором при проектуванні виробу й округлений до значення з нормального ряду;

-**ДІЙСНИЙ РОЗМІР** - розмір, отриманий в результаті обробки і вимірний з необхідною точністю;

-**КВАЛІТЕТ** - сукупність допусків одного рівня точності для заданого діапазону розмірів. Існує 19 квалітетів ( 01,.....,17), при цьому точність знижується від квалітета 01 до квалітета 17.

Точність форми поверхонь може бути оцінена згідно з ГОСТом 24642-81 "Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения", а також з ГОСТом 26643-81 "Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения".

Основні відхилення форми циліндричних поверхонь та площин діляться на такі види (див. Рисунок 3.1).

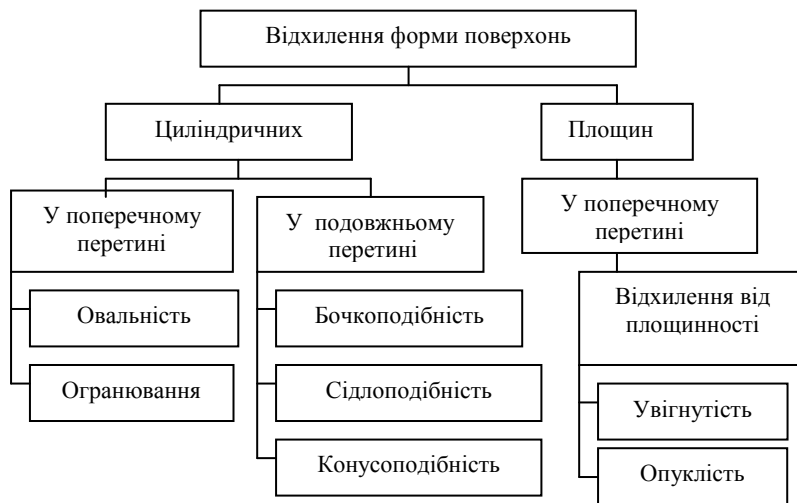


Рисунок 3.1 - Класифікація деяких відхилень форми поверхонь

**Овальність** (Рисунок 3.2) – відхилення від круглості, при якому реальний профіль являє собою овалоподібну фігуру, найбільший і найменший діаметри якої знаходяться у взаємно перпендикулярних напрямках. Допуск на овальність може в деяких випадках перевищувати допуск на діаметр, наприклад, при виготовленні тонкостінних втулок, що деформуються при обробці, і набувають правильної форми при складанні.

**Огранювання** (Рисунок 3.3)- відхилення форми від круга, при якому реальний профіль являє собою багатогранну фігуру. Огранювання означає, що контур поперечного перетину [деталі](#) складений із сполучених дуг різного радіуса. Огранювання класифікується за числом граней. Зокрема, огранювання з непарним числом граней характеризуються тим, що діаметри профілю поперечного перетину у всіх напрямках однакові (див. Рисунок 3.3).

**Бочкоподібність, сідлоподібність та конусоподібність** розглядають в подовжньому перетині як відхилення твірних від паралельності (рисунки 4, 5, 6).

Похибки площин найчастіше характеризуються такими показниками:

- відхиленням від прямолінійності;
- відхиленням від площинності.

Відхилення від площинності може бути у вигляді увігнутості або опуклості (рисунки 7, 8).

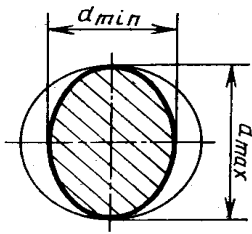


Рисунок 3.2 - Овальність

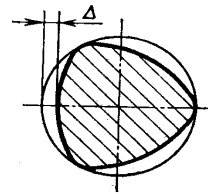


Рисунок 3.3 - Огранювання

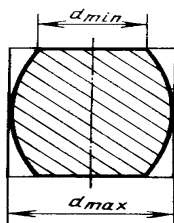


Рисунок 3.4 - Бочкоподібність

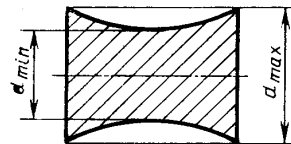


Рисунок 3.5 - Сідлоподібність

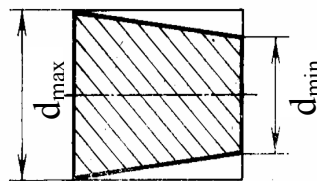


Рисунок 3. 6 – Конусоподібність

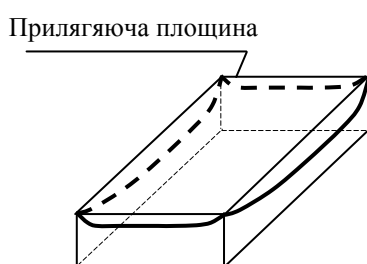


Рисунок 3.7 - Увігнутість

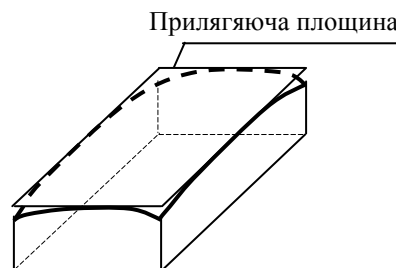


Рисунок 3.8 - Опуклість

Відхилення взаємного розташування поверхонь найчастіше оцінюється такими параметрами, як відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, торцеве биття, радіальне биття та ін. (Рисунок 3.9).

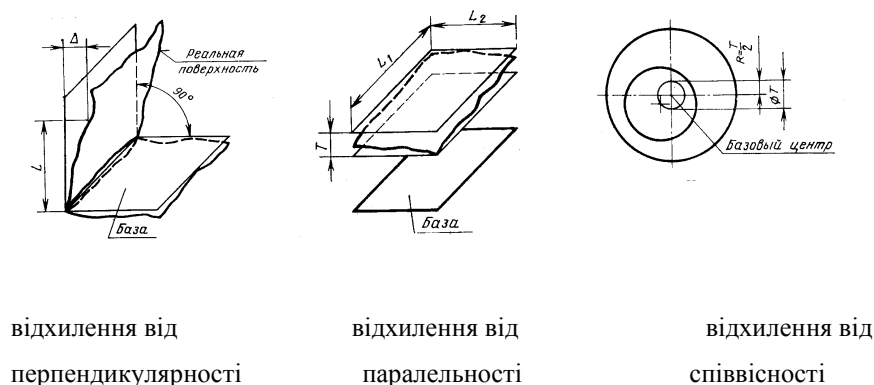


Рисунок 3. 9 – Деякі види відхилень взаємного розташування поверхонь

Потрібно пам'ятати, що точність геометричної форми і взаємного розташування поверхонь призначається, виходячи з умов роботи, і позначається на кресленні текстом або умовними позначками. Якщо ці вимоги окремо не зазначені, то вони все-таки є і повинні знаходитись в межах допуску на відповідний розмір.

Одною із найважливіших завдань технолога є проектування [технологічних процесів](#), що забезпечують досягнення заданих кресленням технічних вимог за точністю, а також аналіз факторів, що викликають відхилення параметрів від заданих у кресленні, і розроблення заходів щодо їх усунення.

### 3.2 Економічна і досяжна точність

У технології [машинобудування](#) розрізняють поняття економічної і досяжної точності.

**Економічна точність** - точність, яка може бути отримана в нормальних виробничих умовах при мінімальній собівартості.

Під нормальними виробничими умовами розуміють виконання робіт на справному устаткуванні з застосуванням необхідних інструментів і пристосувань робітниками відповідної кваліфікації. Іноді вживають термін “середньоекономічна точність”. Поняття економічної точності застосовується для призначення технологічних допусків при проектуванні технології в умовах серійного і масового виробництва.

Кожному методу обробки відповідає своя економічна точність. Таблиці економічної точності обробки наводяться практично у всіх довідниках з технології машинобудування, наприклад, чорнова обробка – 14-15-й квалітет, способи чистової лезової обробки – 10-11-й квалітет.

**Досяжна точність** - точність, яку можна отримати при виконанні обробки в особливо сприятливих умовах, на спеціально налагодженому чи модернізованому верстаті, висококваліфікованими фахівцями, без обліку витрат часу і не зважаючи на собівартість.

Досяжна точність найчастіше використовується в умовах ремонтного чи дослідного виробництва або при виконанні унікальних робіт, а також при виробництві спеціального інструмента.

### **3.3 Методи досягнення точності замикаючої ланки при складанні**

Однією з задач, що виникає при проектуванні технологічних процесів складання, є вибір чи призначення способу досягнення заданої конструктором точності замикаючої ланки (ЗЛ). Під замикаючою ланкою у даному випадку потрібно розуміти параметр складальної одиниці, необхідний для її нормального функціонування, що виходить у готовому виробі останнім, як результат установки складових елементів (наприклад, розмір зазору між корпусом і торцем вала в редукторі). Розв’язання цієї задачі проводиться з урахуванням типу виробництва, кількості складових ланок, що формують замикаючу ланку, допусків на розмір самої ЗЛ ( $T_{\Sigma}$ ) і розмірів складових ланок.

На першому етапі необхідно розрахувати очікувану похибку ЗЛ -  $[T_{\Sigma}]$  на основі розмірів і допусків складових ланок, зазначених у складальному кресленні виробу (розв'язати перевірну задачу для конструкторського розмірного ланцюга).

Розмірним ланцюгом називається сукупність розмірів, розташованих по замкнутому контуру, що беруть участь у розв'язанні визначеної задачі.

Конструкторський розмірний ланцюг визначає відстані або відносний поворот між поверхнями чи осями поверхонь у виробі (складальній одиниці, машині і т. ін.).

Кожен розмірний ланцюг має одну замикаючу ланку (та, що формується останньою при складанні) і безліч складових ланок. Складовими ланками складального розмірного ланцюга реально можуть бути розміри деталей (лінійні чи діаметральні), які формують параметри ЗЛ. Складові ланки поділяються на такі, що збільшують (зі збільшенням розміру яких розмір ЗЛ збільшується), і такі, що зменшують (зі збільшенням розміру яких розмір ЗЛ зменшується). При зображенні і розрахунку розмірних ланцюгів застосовують такі позначення:

- ЗЛ -  $A_{\Sigma}$  ;

- ланки, що збільшують -  $\vec{A}_i$  ; ланки, що зменшують -  $\overleftarrow{A}_i$  .

Приклад конструкторського розмірного ланцюга наведений на рисунку 10.

При перевірному визначенні параметрів ЗЛ ( номінальний розмір, очікувана похибка, верхнє і нижнє відхилення, та ін.) можуть бути використані методи максимуму-мінімуму та імовірнісний метод.

Розглянемо основні положення цих методів.

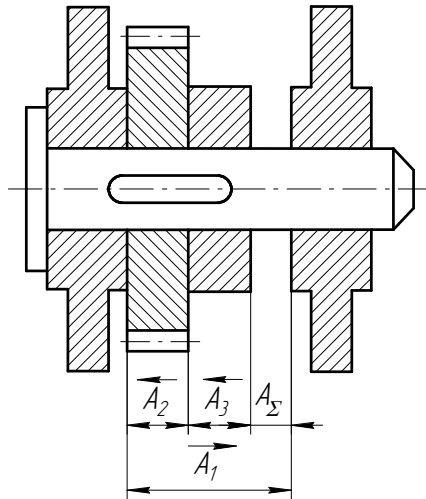


Рисунок 3.10 - Конструкторський розмірний ланцюг

Очікувана похибка ЗЛ ( $T_{\Sigma}$ ) при заданих конструктором допусках складових ланок визначається за формулами:

а) для методу максимуму - мінімуму:

$$T_{\Sigma} = \sum_1^{m-1} TA_i, \quad (1)$$

де  $TA_i$  - допуск  $i$ -ї складової ланки;

Верхнє ( $ES_{\Sigma}$ ) і нижнє ( $EI_{\Sigma}$ ) відхилення допуску ЗЛ визначаються за формулами:

$$ES_{\Sigma} = \sum_1^n ES \vec{A}_i - \sum_{n+1}^{m-1} EI \overleftarrow{A}_i, \quad (2)$$

$$EI_{\Sigma} = \sum_1^n EI \vec{A}_i - ES \overleftarrow{A}_i, \quad (3)$$

де  $n$  - число ланок, що збільшують, РЛ;  $m$  - загальне число ланок РЛ;

б) для імовірнісного методу:

$$T_{\Sigma} = t \sqrt{\sum \lambda T^2 A_i}, \quad (4)$$

де  $t$  - коефіцієнт, що визначає ступінь ризику появи браку (дивися таблицю 3.1);  $\lambda$  - коефіцієнт, що враховує закон розподілу дійсних значень розмірів складових ланок ( для закону Гаусса  $\lambda = 1/9$  ).

Таблиця 3.1- Залежність відсотка браку від ступеня ризику

$t$ (ступінь ризику)	1	2	3
Відсоток браку	32	4.5	0.27

При цьому у залежності від співвідношення між допуском ЗЛ  $[T_\Sigma]$  і його очікуваною похибкою  $T_\Sigma$  можливі такі варіанти:

$$T_\Sigma \leq [T_\Sigma]; \quad (5)$$

$$T_\Sigma = (1,1, \dots, 1,3) [T_\Sigma]; \quad (6)$$

$$T_\Sigma > 1,5 [T_\Sigma]. \quad (7)$$

З урахуванням цих співвідношень, типу виробництва і кількості ланок розмірного ланцюга можна запропонувати такі методи досягнення точності розміру замикаючої ланки.

#### **Метод повної взаємозамінності**

Сутність методу полягає в тому, що необхідна точність замикаючої ланки (ЗЛ) розмірного ланцюга (РЛ) досягається у всіх виробках шляхом включення в РЛ складових ланок без вибору, підбора чи зміни їх розмірів. Це можливо при дотриманні умови 3.5.

Іншими словами, при складанні робітник складає виріб зі складових елементів без їх вибору з множини наявних відповідно до специфікації і обсягу партії складання. Цей метод раціональний при малому числі



складових ланок РЛ ( 3 –4 ) у великосерійному і масовому виробництві. Він заснований на розрахунку параметрів РЛ за методом max-min.

Недолік методу - необхідність зменшення допусків на розміри складових ланок, а також у зв'язку з цим деяке збільшення собівартості виробів.

### **Метод неповної взаємозамінності**

Сутність методу полягає у тому, що точність ЗЛ досягається в заздалегідь обумовленій частині виробів шляхом включення в них складових ланок без підбору, сортування чи зміни розміру. Тобто принцип складання залишається таким самим, як і в попередньому методі, але визначений відсоток виробів, що враховується коефіцієнтом ризику  $t$  ( див. таблицю 3.1 ), може мати розмір замикаючої ланки, який виходить за межі заданого конструктором поля допуску (такі вироби будуть браком).

Метод раціональний при багатоланкових ланцюгах (до 10 ланок). При цьому застосовується імовірнісний метод розрахунку очікуваної похибки

$$T_{\Sigma} = t \sqrt{\sum \lambda T^2 A_i},$$

ЗЛ, що дозволяє розширити допуски на розміри складових ланок при встановленні допустимого для даних умов виробництва ступеня ризику і виконанні умови 3.6:

де  $t$  – коефіцієнт ризику;

$\lambda$  - коефіцієнт, що враховує закон розподілу дійсних розмірів складових ланок; для закону Гаусса  $\lambda = 1/9$ ;

$T$  - допуск розміру  $A_i$  – тої складової ланки.

Область застосування великосерійне і масове виробництво.

### **Метод групової взаємозамінності**

Сутність методу полягає в тому, що точність ЗЛ досягається шляхом включення в РЛ складових ланок, що належать до однієї групи попередньо обміряних і розсортованих виробів.

Застосовують для РЛ із малим числом ланок (циліндр, поршень, зазор) підшипники та ін.

Таке складання ще називається селективним складанням.

При цьому усередині групи складання ведеться за методом повної взаємозамінності. Метод вимагає застосування додаткових заходів і тому застосовується у великосерійному і масовому виробництві. Застосування методу дозволяє істотно розширити допуски складових ланок без порушення вимог до точності ЗЛ ( див. Рисунок 3.11 ).



Рисунок 3. 11 - Схема реалізації методу групової взаємозамінності,

де  $TA_1$  – допуск розміру 1-ї ланки;  $TA_2$  – допуск 2-ї ланки;

$S^{max}$  – максимальний зазор;

$S^{гр}$  – зазор для визначеної групи (на рисунку 3.11 для групи 1).

Як бачимо, зазор для окремих груп  $S^{гр}$  залежить від їх кількості, визначається необхідною точністю ЗЛ і завжди менший, ніж  $S^{max}$ .

### Метод регулювання

Сутність методу - точність ЗЛ досягається шляхом зміни розміру (наприклад, за рахунок набору кількості дистанційних шайб тощо) чи положення однієї з раніше намічених складових ланок без зняття з неї шару матеріалу. Складова ланка, за рахунок якої досягається точність ЗЛ, називається такою, що компенсує. При цьому методі висока точність виготовлення складових ланок не потрібна.

Позитивні якості методу - можливе досягнення високої точності ЗЛ у багатоланкових РЛ, а також наявність можливості відновлювати необхідну

точність ЗЛ при ремонті машини. Метод знаходить застосування практично у всіх типах виробництва. Його використання не потребує виконання умов 3.5 або 3.6.

### **Метод пригону**

Сутність методу - точність ЗЛ досягається шляхом зміни розміру однієї із заздалегідь наміченої складової ланки (компенсатора) шляхом зняття з неї необхідного шару матеріалу.

При використанні методу пригону на всі складові ланки встановлюють допуски згідно з економічною точністю способу обробки. Пригінні роботи складаються з двох стадій: визначення величини необхідного для видалення шару матеріалу і самого процесу видалення вручну чи за допомогою механічної обробки. Метод має підвищену трудомісткість і вимагає для реалізації працівника високої кваліфікації. Застосовується в умовах одиничного і дрібносерійного виробництв. Кількість ланок розмірного ланцюга не обмежується.

### **3.4 Основні чинники, що впливають на точність обробки**

На сумарну  $\Delta\Sigma$  точність обробки впливає велика кількість факторів, найбільш важливими серед яких є такі:

$$\Delta\Sigma = f(\varepsilon_y, \Delta_{\text{верст}}, \Delta_n, \Delta_t, \Delta_{zn}, \Delta_{\text{пр}}), \quad (9)$$

де  $\varepsilon_y$  – похибка установки заготовки перед обробкою;

$\Delta_{\text{верст}}$  – геометричні похибки верстата;

$\Delta_n$  – похибка налагодження верстата;

$\Delta_t$  – похибка від температурних деформацій елементів Т- системи;

$\Delta_{zn}$  – похибка від зносу різального інструмента;

$\Delta_{\text{пр}}$  – похибка від пружних деформацій елементів Т – системи.

Розглянемо причини виникнення та наслідки впливу на точність обробки цих факторів.

### 3.5 Похибка установки заготовки $\epsilon_u$ перед обробкою

Ця похибка є наслідком декількох первісних складових, до яких належать похибка базування  $\epsilon_b$ , похибка закріплення  $\epsilon_z$  та похибка пристосування  $\epsilon_{пр}$ . Похибка базування  $\epsilon_b$  є наслідком невиконання принципу суміщення баз, тобто якщо технологічна база не збігається з основною конструкторською або вимірювальною. Тому при розробці схеми базування технолог повинен знати, що найвища точність досягається для розмірів, якщо технологічна та вимірювальна бази збігаються (дивись Рисунок 3.12). Для розміру А цей принцип виконується, а для розміру Б – ні.

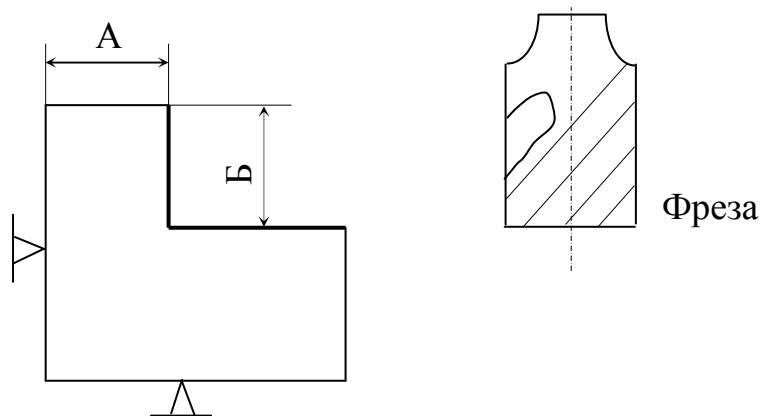


Рисунок 3.12 - Приклад виникнення похибки базування

Сумарне значення похибки установки можна визначити для різних умов обробки з таблиць, що наведені в багатьох довідниках з ТМБ.

### **3.6 Геометричні похибки верстата $\Delta_{\text{верст}}$**

Ці похибки пов'язані з неточністю, що виникає під час виготовлення окремих елементів верстата та його складання. Тому зовсім новий верстат вже має ці похибки, вплив яких переноситься на точність розмірів та форми поверхонь, що обробляють на ньому. До таких похибок відносять відхилення від точності взаємного розміщення окремих елементів верстата, наприклад, відхилення від співвісності передньої та задньої бабок токарного верстата, торцеве та радіальне биття шпинделів токарних, свердлувальних, розточувальних та інших верстатів тощо. Допустиме значення цих похибок залежить від класу точності верстата (Н – нормальна, П – підвищена і так далі) і записане в паспорті верстата. Там же викладені схеми вимірювання значення цих похибок в процесі експлуатації верстата. За станом верстата в виробничих умовах слідкує служба головного механіка, яка за спеціальним графіком ППР (планово - попереджувального ремонту) виконує періодичні огляди, а за потреби і ремонти верстата. Вимірювання дійсних значень геометричних похибок верстатів виконують на непрацюючому верстаті, тобто в не навантаженому режимі.

### **3.7 Похибка налагодження верстата $\Delta_n$**

При використанні методу досягнення точності розмірів на заздалегідь налагодженому верстаті існує два основних засоби налагодження інструментів в необхідне положення – статичний і динамічний.

При статичному засобі налагодження використовують еталони (копії виробів за формою і розмірами у відповідності до цих же параметрів обробки на даній операції), а також вимірювальні прилади (індикатори тощо) або різноманітні за конструкцією упори, які обмежують переміщення вузлів верстата. Точність такого виду налагодження верстатів коливається в межах 0,03 – 0,1 мм.

При динамічному налагодженні необхідне положення інструментів досягається шляхом поступового знаходження їх необхідного положення при обробці пробної партії заготовок (5 - 10 штук). Точність такого виду налагодження коливається в межах 0,02 – 0,05 мм.

### **3.8 Похибка від температурних деформацій $\Delta_t$ елементів Т- системи**

При механічній обробці виникає певна кількість теплової енергії, джерелами якої є зона різання, двигуни, агрегати, пари тертя тощо. Для різних засобів обробки ця тепла енергія в різних пропорціях розподіляється в окремих елементах Т-системи (сам верстат, різальний інструмент, заготовка, охолоджувальна рідина, навколишнє середовище тощо).

Температурні деформації верстата, як правило, підвищують його геометричні похибки і таким чином зменшують точність обробки.

Температурні деформації різального інструмента впливають на точність обробки в залежності від виду інструмента (мірний, немірний). Для мірного інструмента (свердло, розвертка, шпоночна фреза тощо) ці деформації безпосередньо переходять на розмір поверхні, що підлягає обробці. Для немірного інструмента (різці, торцеві фрези і тому подібні інструменти) температурні деформації можна компенсувати шляхом урахування цих деформацій в налагоджувальному розмірі. Значення цих деформацій для інструментів можна визначити дослідним шляхом для конкретних умов обробки.

Температурні деформації заготовки можна зменшити шляхом інтенсивного охолодження зони різання, також шляхом використання оптимальних режимів різання.

### 3.9 Похибка від зносу різального інструмента $\Delta_{zn}$

У процесі різання спостерігається знос різального інструмента, який в різні часи роботи змінюється від припрацювання (зменшення шорсткості різальної частини) на пропорційний нормальний знос, який в певний час переходить в катастрофічний знос. Раціональним є використання інструмента до початку катастрофічного зносу. Після цього інструмент треба змінювати або переточувати. Для мірного інструмента, за умови коли поле допуску розміру, що обробляє інструмент, менше, ніж допустимий його знос, заміна інструмента може бути потрібна раніше ніж точка його катастрофічного зносу. Для немірного інструмента його знос в межах допуску на розмір поверхні, що ним обробляється, може бути врахований в розмірі настройки. В загальному випадку на знос різального інструмента впливають матеріал та стан поверхні заготовки, матеріал різальної частини інструмента, режими обробки тощо. Як правило, розмірний знос інструментів вимірюється в мкм / км шляху різання.

### 3.10 Похибка від пружних деформацій $\Delta_{пр}$ елементів Т – системи

При обробці верстат, пристосування, заготовка, різальний інструмент являють собою замкнуту пружну систему, в елементах якої мають місце пружні деформації, викликані дією сил різання. Для оцінки здатності окремих елементів Т-системи до опору зовнішнім навантаженням проф. А.П.Соколовський ввів поняття жорсткості. Жорсткість оцінюється коефіцієнтом жорсткості  $j$ , який являє собою відношення сили  $P$ , що прикладена до елемента Т-системи, до його переміщення –  $Y$ .

$$j = \frac{P}{Y} \text{кН / мм, Н / мкм} . \quad (10)$$

Для визначення жорсткості використовують два засоби: статичний і динамічний. При статичному засобі на верстат, що знаходиться в вимкненому стані, накладають за допомогою динамометра зовнішнє навантаження і за допомогою точних приладів, наприклад, індикаторів вимірюють переміщення робочих органів верстата. Для токарного верстата це переміщення передньої та задньої бабок, супорта, деформація самої заготовки. Навантаження здійснюють поступово з деяким кроком (5-10 Н), що дозволяє для кожного кроку зафіксувати переміщення окремих елементів верстата і потім визначити для кожного з них коефіцієнт жорсткості. Цей засіб дозволяє розробити заходи щодо підвищення жорсткості окремих елементів Т-системи, але не дає уяви про її сукупну жорсткість в процесі роботи.

При динамічному засобі жорсткість Т-системи визначають при обробці на верстаті заготовки спеціальної форми, що дозволяє на різних ділянках обробки знімати різні за товщиною шари матеріалу, а це, в свою чергу, викликає різні сили обробки і, як наслідок, різні дійсні розміри оброблених поверхонь. Розрахувавши діючі сили обробки та визначивши за результатами вимірів різницю дійсних розмірів поверхонь можна зробити розрахунок коефіцієнта жорсткості всієї Т-системи в цілому.

Недоліки в жорсткості елементів Т-системи призводять до похибок, як правило, форми і взаємного розміщення поверхонь, що підлягали обробці.

Наприклад, недостатня жорсткість заготовки при обробці в центрах приводить до появи бочкоподібності поверхні, а недостатня жорсткість передньої та задньої бабок – до сідлоподібності.

Досвідчений технолог повинен знати вплив різних складових сумарної похибки обробки на точність, а також знати засоби усунення чи зменшення їх впливу.





Базова лінія (поверхня) - лінія (поверхня) заданої, геометричної форми, певним чином проведена щодо профілю (поверхні) і, що служить для оцінки геометричних параметрів поверхні.

Значення параметрів шорсткості поверхні визначаються від єдиної бази, за яку взята середня лінія  $m$ . Середня лінія  $m$  - базова лінія, що має форму номінального профілю і проведена так, що в межах базової довжини середньоквадратичне відхилення профілю до цієї лінії мінімальне (Рисунок 3.13).

Шорсткість поверхні оцінюється на довжині  $L$ , що може містити одну чи декілька базових довжин ( $\ell$ ).

Значення базової довжини вибирають з ряду : 0,01; 0,03;0,08; 0, 25; 0, 80; 2,5; 8; 25 мм.

Відхилення профілю - відстань між будь-якою точкою профілю і середньою лінією.

Параметри і характеристики шорсткості поверхні (Рисунок 3. 3.13) встановлені ГОСТом 2789-73.

Лінія виступів профілю - лінія, що є еквідистантою відносно середньої лінії і проходить через вищу точку профілю в межах базової довжини.

Лінія западини профілю - лінія, що є еквідистантою відносно середньої лінії і проходить через нижчу точку профілю в межах базової довжини.

Встановлено шість параметрів шорсткості поверхні.

1 **Ra**- середнє арифметичне відхилення профілю - середнє арифметичне з абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини

$$Ra = \frac{1}{l} \int |y(x)| dx; Ra \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (11)$$

де  $\ell$ - базова довжина, n- число обраних точок на базовій довжині.

2 **Rz** - висота нерівностей профілю за десятьма точками - сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибини п'яти найбільших западин у межах базової довжини

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}, \quad (12)$$

де  $Y_{pi}$  - висота  $i$ -го найбільшого виступу профілю;  $Y_{vi}$  - глибина  $i$ -ї найбільшої западини профілю.

3 **Rmax** - найбільша висота нерівностей профілю - відстань між лінією виступів профілю і лінією западин у межах базової довжини  $\ell$ .

4 **Sm** - середній крок нерівностей профілю - середнє значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини

$$Sm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}, \quad (13)$$

де  $n$ - число кроків у межах базової довжини  $\ell$ ;  $S_{mi}$  - крок нерівностей профілю, який дорівнює довжині відрізка середньої лінії, що обмежує нерівність профілю.

5 **S** - середній крок місцевих виступів профілю - середнє значення кроку місцевих виступів профілю в межах базової довжини

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (14)$$

де  $n$ - число кроків нерівностей по вершинах у межах базової довжини  $\ell$ ;  $S_i$  - крок нерівностей профілю по вершинах, який дорівнює довжині відрізка середньої лінії між проєкціями на неї двох найвищих точок сусідніх місцевих виступів профілю.

6 **tp**- відносна опорна довжина профілю - відношення опорної довжини профілю  $\eta_p$  до базової довжини  $\ell$ :

$$t_p = \eta_p / \ell. \quad (15)$$

Опорна довжина профілю  $\eta_p$  - сума довжин відрізків  $b_i$  у межах базової довжини, що відтинаються на заданому рівні  $P$  в матеріалі профілю лінією, яка еквідистантна до середньої лінії  $m$ :

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i. \quad (16)$$

Значення параметрів шорсткості поверхні  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ,  $S_m$ ,  $t_p$  наведені в ГОСТі 2789-73. На практиці рекомендується використовувати значення параметрів  $R_a$ , тому що зразки для порівняння параметрів шорсткості поверхні виготовляють саме за цим параметром.

ГОСТ 2.309-73 встановлює позначення шорсткості поверхонь і правила нанесення їх на кресленнях виробів.

У позначенні шорсткості поверхні, вид обробки якої конструктор не встановлює, застосовують знак, зображений на рисунку 3.14. У позначенні шорсткості поверхні, що утворюється при видаленні шару матеріалу (гострінням, фрезеруванням, свердленням, шліфуванням, поліруванням, травленням і ін.), використовують знак, зображений на рисунку 3.15. У позначенні шорсткості поверхні, що утвориться без видалення шару матеріалу (литтям, куванням, об'ємним штампуванням, прокатом, волочінням і ін.), застосовують знак, зазначений на рисунку 3.16. Цей же знак застосовують для позначення поверхонь, що не підлягають обробці, тобто залишаються в стані вихідної заготовки.



Рисунок 3. 14



Рисунок 3.15



Рисунок 3.16

### **3.12 Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин**

Взаємозв'язок параметрів якості поверхні деталей і їхніх експлуатаційних властивостей є одним з основних напрямків досліджень в області машино - і приладобудування.

В даний час достатньо вивчені питання зв'язків якості обробленої поверхні з важливими експлуатаційними показниками деталей і вузлів машин і приладів (тертя і знос при ковзанні і коченні, рідинне тертя, контактна твердість, міцність пресових з'єднань, відбивна здатність, зносостійкість при змінних навантаженнях, корозійна стійкість і якість лакофарбових покриттів, точність вимірів, співвідношення між допусками розміру і шорсткістю поверхні і т. ін.). Не усі фізико-хімічні властивості поверхневого шару впливають на експлуатаційні характеристики деталей машин; визначальними є його хімічний склад і будівля (мікроструктура).

Тертя і знос деталей у значній мірі пов'язані з макронерівностями, хвилястістю, мікронерівностями, а також з напрямком штрихів (слідів) обробки.

Характеристики макронерівності і хвилястості позначаються на розмірах тих ділянок, у яких є зони фактичного контакту, тобто визначають контурну площу торкання. Наявність хвиль приводить до зменшення опорної площі в 5-10 разів у порівнянні з рівною шорсткуватою поверхнею. Висота хвилястості  $W_z$  важливіше, ніж її крок  $S_w$ , у зв'язку з тим, що перший параметр сильніше позначається на розмірі опорної площі і, як наслідок, на зносі (Рисунок 3.17). Процес контактування поверхонь, що мають макронерівності, у значній мірі визначається формою і розмірами останніх. Для оцінки цього впливу варто враховувати не тільки граничні значення відхилень від правильної геометричної форми, але і взаємне розміщення і форму макронерівностей поверхонь деталей, що сполучаються між собою.

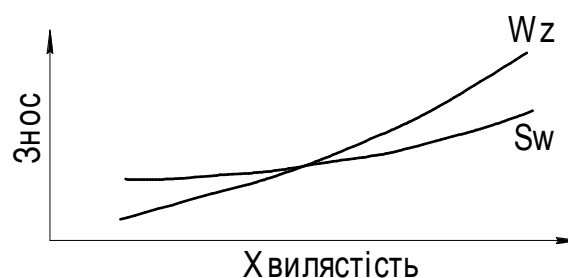


Рисунок 3.17- Вплив висоти  $W_z$  і кроку  $S_w$  хвилястості на знос

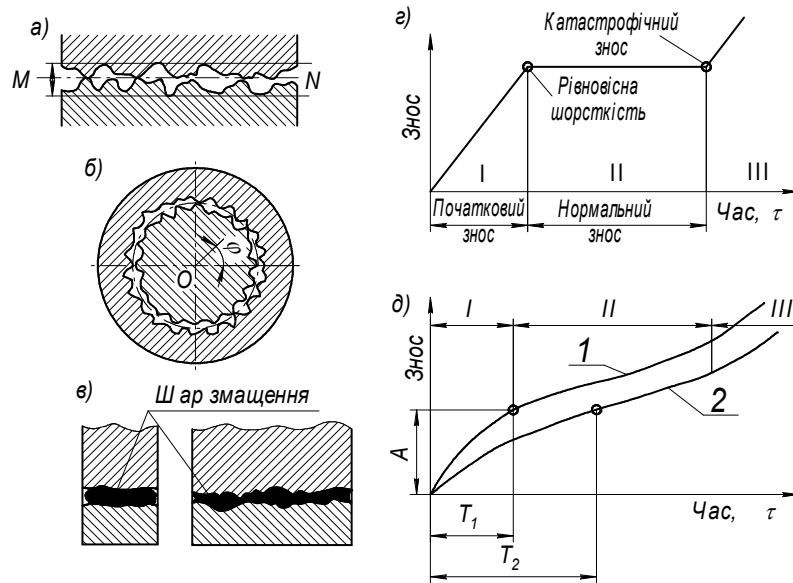


Рисунок 3.18 - Вплив шорсткості поверхні на зносостійкість деталей машин:

- а, б — схеми контакту сполучених деталей по утворюючій (уздовж осі) і по колу;  
 в — ідеалізований і фізичний контакт поверхонь;  
 г, д — типові графіки зносу в часі

При взаємному переміщенні площин, що контактують, (Рисунок 3.18а) чи циліндричних (Рисунок 3.18б) поверхонь, що мають макронерівності (шорсткість), на початку роботи відбуваються зріз, відламування і пластичне зрушення вершин нерівностей, тому що їх контакт відбувається по вершинах нерівностей. Залежність зносу від часу роботи тертьових поверхонь показана на графіках (рисунок 3.18 г, д). Спочатку порівняно швидко (ділянка I) за період часу  $T_1$  відбувається початкове зношування (припрацювання). При правильному режимі змащення (Рисунок 3.18 в) зношування проходить повільно (ділянка II), що обумовлено утворенням рівноважної шорсткості. Цей період часу визначає термін служби деталі. Катастрофічне зношування пари характеризується ділянкою III.

На рисунку 3.18д крива 2 характеризує знос поверхонь з меншими початковими шорсткостями, ніж крива 1. У цьому випадку величина і час припрацювання зменшуються, а інтенсивність експлуатаційного зношування залишається тією ж. Тривалість роботи тертьових пар у межах розміру А припустимого зношування буде різною. При меншій шорсткості сполучених поверхонь час роботи деталей буде більшим ( $T_2 > T_1$ ).

Під час початкового зношування (припрацювання) технологічний рельєф переходить в експлуатаційний (Рисунок 3.19а). В результаті цього відбувається зміна розмірів і форми нерівностей, а також напрямків рисок від обробки.

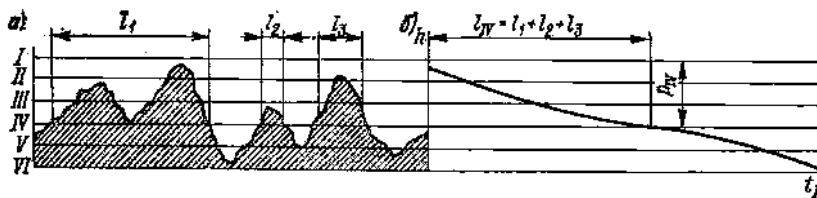


Рисунок 3.19 - Перехід технологічного рельєфу в експлуатаційний

Фактична площа контактування поверхонь при цьому збільшується, тому що збільшується відносна опорна довжина профілю  $t_p$  (крива опорної поверхні подана на рисунку 3.19б).

У процесі припрацювання висота нерівностей зменшується чи збільшується до деякого оптимального значення, різного для різних умов. Експериментально встановлено, що найменший знос має місце не при мінімальній шорсткості тертьових поверхонь, а при шорсткості, що має оптимальне значення  $R_{\text{опт}}$ , відхилення від якого ліворуч або праворуч призводить до збільшення зношування (Рисунок 3.20, крива 1). У більш важких умовах роботи крива зносу 2 зміщується вправо і вгору, а точки оптимальної шорсткості - вправо у бік збільшення висоти нерівностей.

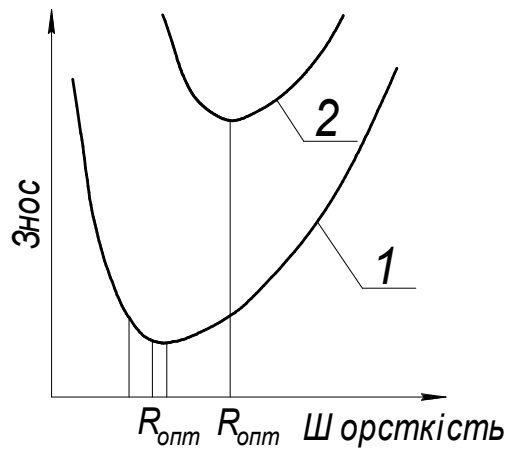


Рисунок 3.20 - Залежність зносу від висоти нерівностей поверхні і умов роботи

Збільшення висоти нерівностей у порівнянні з оптимальним значенням підвищує зношування за рахунок зростання механічного зчеплення, сколювання і зрізу нерівностей. Зменшення висоти нерівностей у порівнянні з оптимальним значенням різко збільшує зношування за рахунок молекулярного зчеплення і заїдання поверхонь, чому сприяє видавлювання мастильного матеріалу і погане змащення ним дзеркально-чистих поверхонь. Тому поверхні, що підлягали шабруванню, краще притертих, оскільки вони мають поглиблення («кишені»), що утримують мастильний матеріал. Гарне утримання мастильного матеріалу забезпечується шаром пористого хрому, пористою структурою металокерамічних деталей, а також системою дрібних мастильноутримуючих каналів, одержуваних віброобкатуванням.

Оптимальна шорсткість характеризується висотою, кроком і формою нерівностей (радіусом западин, кутом нахилу нерівностей у напрямку руху й ін.). Параметри оптимальної шорсткості залежать від якості мастильного матеріалу й інших умов роботи тертьових поверхонь, їх конструкції і матеріалу. Діапазон  $R_{опт}$ , як правило, дуже малий. Гостровершинні мікронерівності зношуються швидше плосковершинних (Рисунок 3.21), тому що площа контакту у них менша.



Мікротвердість поверхневого шару впливає на зносостійкість. Попереднє деформаційне зміцнення (наклеп) металу цього шару зменшує зминання і стирання поверхонь за наявності їх поверхневого контакту. Наприклад, деформаційне зміцнення, що виникає в результаті обробки різанням, зменшує знос поверхонь у 1,5-2 рази. Позитивний вплив попереднього деформаційного зміцнення на зносостійкість деталей виявляється не тільки в умовах тертя з мастильним матеріалом, але й у такій же мірі виявляється і при сухому терті: зносостійкість збільшується в 1,5-2 рази і більше. Особливо сильний вплив деформаційного зміцнення на зносостійкість спостерігається для більш пластичних і порівняно м'яких сталей, для яких навіть незначне підвищення мікротвердості викликає істотне зниження зносу.

У період припрацювання тертьові поверхні не тільки здобувають оптимальну шорсткість, але і формують оптимальну мікротвердість металу поверхневого шару. Позитивний вплив деформаційного зміцнення на зносостійкість тертьових поверхонь виявляється тільки до визначеної величини. При високій мікротвердості в результаті «перенаклепу» знос зростає через відшаровування частинок металу. Тому зміцнення металу поверхневого шару в процесі обробки деталей при використанні спеціальних зміцнюючих операцій повинно проводитися при строго регламентованому значенні деформаційного зміцнення, щоб запобігти виникнення «перенаклепу».

Зношування значно зменшується при термічній і хіміко-термічній обробці деталей (поверхневому загартуванні, цементації, ціануванні, азотуванні, дифузійному хромуванні, боруванні, алітуванні, сіліціюванні й ін.), наплавленню і плазмовому напилюванню деталей твердими сплавами, а також при гальванічному нанесенні твердих покриттів (хромуванні).

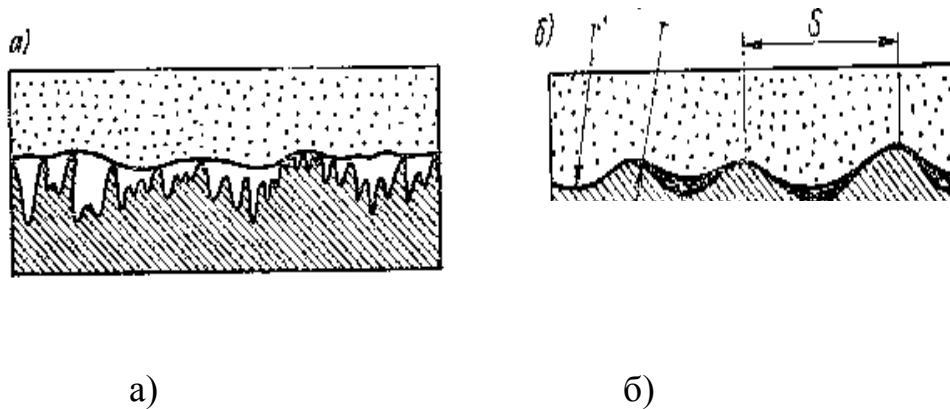


Рисунок 3.12- Площа контакту в залежності від форми нерівностей:

*a* — гостровершинних; *б* — плосковершинних;

$r, r'$  — радіуси вершин нерівностей,  $S$  — крок нерівностей

На зменшення зношування впливають твердість, структура і хімічний склад поверхневого шару. Наявність у шарі залишкових напруг стиску трохи зменшує зношування, а залишкових напруг розтягання - збільшує. Цей вплив більше виявляється при пружному контакті і менше при пружно-пластичному. Зношування змінює залишкові напруги в поверхневому шарі деталі. Міцність деталей також залежить від шорсткості поверхні. Руйнування деталі, особливо при змінних навантаженнях, більшою мірою викликається концентрацією напруг внаслідок наявності нерівностей. Чим менше шорсткість, тим менше можливість виникнення поверхневих тріщин від утомлюваності металу. Оздоблювальна обробка деталей (доведення, полірування і ін.) забезпечує значне підвищення межі їх міцності від утомленості.

Зменшення шорсткості поверхні значно підвищує антикорозійну стійкість деталей. Це має особливо важливе значення в тому випадку, коли для поверхонь не можуть бути використані захисні покриття (поверхні циліндрів двигунів та ін.).

Важливою геометричною характеристикою якості поверхні є спрямованість штрихів - слідів механічного й іншого видів обробки. Вона впливає на зносостійкість поверхні, визначеність посадок, міцність пресових з'єднань. У відповідальних випадках конструктор повинен обмовляти спрямованість слідів обробки на поверхні деталі. Це може виявитися необхідним, наприклад, у зв'язку з напрямком відносного ковзання сполучених деталей чи з напрямком руху по деталі струменя рідини чи газу.

Зношування зменшується і досягає мінімуму при збігу напрямку ковзання з напрямком нерівностей обох деталей.

Шорсткість і хвилястість поверхні взаємозалежні з точністю розмірів, тому що точність сполучення, встановлена й обумовлена розміром зазору в з'єднанні, у значній мірі залежить від співвідношення висоти нерівностей і поля допуску (точності обробки) кожної з деталей, що сполучаються. Якщо врахувати, що в період початкового зношування висота нерівностей може зменшитися на 65-75 % (при більшій висоті, ніж при оптимальній шорсткості), то в з'єднанні з'явиться збільшений зазор, що може досягти значення допуску на виготовлення деталі, і точність з'єднання буде цілком порушена (наприклад, замість необхідного за кресленням з'єднання 6-го квалітета точності фактично виникає з'єднання 7-го чи 8-го квалітетів, замість посадки з натягом з'являються перехідні посадки і ін.). Для запобігання цьому у всіх відповідальних випадках сполучень, від яких потрібно тривале збереження встановленої конструктором точності, необхідно обробку деталей вести до досягнення оптимальної шорсткості третьових поверхонь.

Високій точності завжди відповідають малі шорсткості і хвилястості поверхні. Це визначається не тільки умовами роботи сполучених деталей, але і необхідністю одержання надійних результатів виміру у виробництві. Зменшення шорсткості поверхні вносить додаткову визначеність у характер сполучення, тому що розмір зазору (чи натягу), отриманий у результаті контролю деталей, відрізняється від розміру ефективного зазору чи натягу, що має місце при складанні, а потім при експлуатації. Ефективний натяг при

складанні зменшується, а зазор у процесі роботи механізму збільшується, причому тим більше і швидше, ніж більш грубо оброблені поверхні, що сполучаються.

Малу шорсткість поверхні часом необхідно використовувати і для додання гарного зовнішнього вигляду деталі чи для зручності підтримування поверхонь у чистоті при експлуатації.

### **Питання для самоперевірки**

1. Точність та її показники щодо деталей машин.
2. Точність розмірів. Номінальний і дійсний розміри. Квалітет.
3. Похибки форми циліндричних поверхонь та площин.
4. Економічна та досяжна точність.
5. Точність та її показники щодо деталей машин.
6. Точність розмірів. Номінальний і дійсний розміри. Квалітет.
7. Похибки форми циліндричних поверхонь та площин.
8. Економічна та досяжна точність.
9. Досягнення точності методом пробних ходів та вимірів.
10. Методи досягнення точності на налагодженому верстаті.
11. Методи досягнення точності замикаючої ланки при складанні.
12. Шорсткість поверхні та її показники.
13. Вплив шорсткості поверхні на її експлуатаційні якості.

## **Тема 4. Технологічність конструкції виробу.**

- 4.1 Основні положення про технологічність і конструктивне відпрацювання конструкції.
- 4.2 Методика оцінки технологічності розробки.
- 4.3 Технологічність конструкції деталей, обумовлена обробкою різанням.
- 4.4 Відпрацювання технологічності конструкцій елементів виробів з урахуванням методів отримання заготовок.
- 4.5 Вплив технологічності конструкції на її собівартість.

### **4.1 Основні положення про технологічність і конструктивне відпрацювання конструкції**

Безперервне удосконалення конструкції виробу обумовлюється його призначенням та умовами експлуатації. Конструкція повинна бути найменш трудомісткою та матеріаломісткою, технологічною при виготовленні, надійною і зручною при експлуатації.

Технологічність конструкції характеризується сукупністю оптимальних витрат праці, засобів, матеріальних ресурсів і часу в процесі технічної підготовки виробництва, виготовлення, експлуатації та ремонту виробу. Ці показники оцінюються у порівнянні з існуючими однотипових конструкцій виробу. Технологічна конструкція відрізняється від існуючої високими експлуатаційними показниками, мінімальними трудо- і матеріаломісткістю, а також собівартістю. У свою чергу, показники технологічності суттєво залежать від технологічного процесу виробництва заготовок, їх обробки різанням та складання деталей. Із сукупності варіантів технологічного процесу з економічних позицій необхідно вибрати такий, який забезпечував задані показники в якісному та кількісному відношеннях і точність деталей, складальних одиниць і виробу в цілому. Зміна обсягу випуску виробів і типу виробництва вимагає переходу технологічного процесу виготовлення деталей і

їх складання до іншого. У зв'язку з цим технологічна конструкція виробу для одного обсягу виробництва може бути нетехнологічною для іншого. Залежно від обсягу виробництва вибирають найбільш економічний технологічний процес. Отже, технологічність конструкції є важливим показником її якості.

Відпрацювання конструкції виробу на технологічність передбачає вирішення комплексу заходів з метою забезпечення її рівня за регламентованими показниками. Відпрацювання спрямоване на більш повне використання конструкторських і технологічних можливостей, а також підвищення техніко-економічних показників виробництва. Вона здійснюється безперервно, починаючи з проектування виробу і продовжуючи при підготовці виробництва та наступного випуску виробу. Технологічність конструкції вирішується за наступними напрямками: **виробничому**, що визначається щодо виготовлення виробу; **експлуатаційному** – до підготовки та обслуговуванні виробу під час експлуатації, транспортуванні й зберіганні, а також виконанні його технічного обслуговування; **ремонтному** – зручності й простоти ремонту. Таким чином, відпрацювання конструкції на технологічність полягає в конструктивних та технологічних рішеннях.

Конструктивне відпрацювання припускає наступне:

1. спрощення компоновки та розчленування виробу на окремі складові частини з метою полегшення монтажу і регулювання;
2. забезпечення незалежного складання одиниць виробу;
3. скорочення числа та спрощення форми деталей;
4. максимальну уніфікацію застосованих конструкційних матеріалів і використання технологічних заготовок деталей;
5. обґрунтований вибір баз, простановку розмірів, а також установа шорсткості оброблюваної поверхні деталей і допусків на розміри, що забезпечують найбільш економічний вид взаємозамінюваності;
6. встановлення раціональних монтажних зазорів і натягів;
7. стандартизацію і уніфікацію деталей складальних одиниць, агрегатів, що підвищує серійність і спрощує виробничий процес;

8. зручність регулювання конструкції;
9. забезпечення контролепридатності;
10. забезпечення вільного доступу інструментів до поверхонь у процесі виготовлення, технічного обслуговування та ремонту.

Технологічне відпрацювання конструкції включає в себе і забезпечує: спадкоємність засвоєних виробництвом конструктивних типових рішень; застосування високопродуктивних автоматизованих і автоматичних технологічних процесів обробки та складання із забезпеченням заданої точності та якості виготовлення; мінімальна витрата матеріалів на виготовлення; застосування сучасних методів і засобів контролю точності та якості виробів.

Експлуатаційне відпрацювання повинно забезпечувати експлуатаційну надійність та ремонтпридатність виробу, зручність його обслуговування в процесі експлуатації, зниження трудомісткості й вартості робіт, мінімальну масу виробу.

При вирішенні задач із підвищення технологічності конструкції виробу, складальної одиниці або деталі керуються наступними положеннями. Технологічна конструкція дає можливість використовувати високопродуктивні й ефективні технологічні процеси обробки та складання. Впровадження цих процесів пов'язано з великими витратами, вони ефективні тільки при масовому випуску виробів відпрацьованої конструкції. Перехід від меншого випуску до більшого вимагає зміни конструкції і, у крайньому разі до корінної її переробки. Оцінка технологічності конструкції здійснюється за базовим показником, що приймається за вихідний при порівнянні і вказаному в технологічному завданні на розробку конструкції.

Відпрацювання конструкції здійснюється для виробу в цілому, тому що підвищення технологічності окремих елементів не дає належних результатів. У вирішенні поставлених завдань суттєву роль відіграє конструктивна спадкоємність і уніфікація виробу. Під конструктивною спадкоємністю розуміють такий напрямок у конструюванні машин, коли вони одного або різного призначення є різновидом однієї конструкції, що прийнята за основу, і

утворюють конструктивно нормалізований ряд. У цьому випадку конструюванню підлягають тільки елементи, зміна яких диктується установленими технічними умовами на проєктовану машину. Інколи буває достатньо внести тільки зміни в сполучення складальних одиниць або деталей.

#### **4.2 Методика оцінки технологічності розробки**

Об'єктивна оцінка технологічності конструкції проводиться за показниками, які розподіляються на основні й додаткові (техніко-економічні, технічні). Основними показниками є трудомісткість виготовлення конструкції машини і технологічна собівартість, що визначається сумою витрат на здійснення технологічного процесу виготовлення без урахування вартості комплектуючих виробів. Складовими технологічної собівартості є вартість матеріалу, заробітна плата робітників з відповідними нарахуваннями, витрати на енергію, технічне обслуговування, ремонт та амортизації обладнання, інструменту і пристроїв, а також вартість змазуючих, охолоджуючих і обтирочних матеріалів. Для деталей з прокату ціна матеріалу визначається вартістю прокату, витраченого на виготовлення. При отриманні заготовок за допомогою лиття або кування вартість матеріалу є відпускнуою собівартістю заготовки. Заробітна плата робітників визначається трудомісткістю виготовлення машини, яка включає отримання заготовки, її обробку різанням, термічну обробку та ін. Загальна трудомісткість виготовлення виробу складається із трудомісткості виготовлення кожної деталі, складання та випробування складальних одиниць, а також готового виробу.

Техніко-економічні показники визначаються відносною і питомою трудомісткістю та собівартістю. Технічні показники характеризуються коефіцієнтами уніфікації, стандартизації, застосування типових технологічних процесів, використання матеріалів, точності та шорсткості та ін.

Рівень технологічності розробки з трудомісткості виготовлення визначається відношенням досягнутої трудомісткості виготовлення виробу до



базового показника, а по собівартості – аналоговим відношенням собівартості технологічної до базового показника. Технологічність конструкції можна оцінювати шляхом порівняння двох і більше варіантів конструкції до і після її відпрацювання на технологічність. Найбільш повно її характеризує вартість виготовлення виробу.

Обробка різанням і складання виробу характеризуються не тільки трудомісткістю, але й іншими показниками оцінки на технологічність конструкції.

**Маса виробу.** У процесі конструювання розробник завжди прагне отримати мінімальну масу виробу шляхом правильного його розрахунку, вибору конструктивних форм деталей, що забезпечують можливість отримання заготовок з мінімальними припусками на обробку, і застосуванням високоміцних матеріалів. Знаходження розрахунковим шляхом дійсних напружень у деталях дає можливість конструктору встановлювати розміри й форми деталей і, як наслідок, отримати їх масу без підвищених запасів щодо міцності. При мінімальній масі виробу трудомісткість його виготовлення буде найменшою.

Технологічність конструкції за цим показником характеризуються не тільки виробничо-технологічним, але і експлуатаційним фактором. Практика показує, що при великій масі виробу, наприклад тролейбуса, для його пресування потрібні великі витрати енергії. Тому важливим показником є матеріаломісткість виробу, яка являє собою відношення маси  $M$  до його потужності  $N$ .

**Використовані матеріали.** Крім розглянутого вище показника оцінка технологічності конструкції може проводитися за допомогою коефіцієнта використання матеріалу. Конструкція виробу, що передбачає використання мінімальної кількості різних марок сталей, чавунів та інших матеріалів, буде відрізнятися високою технологічністю. Збільшення кількості ускладнює процеси виробництва заготовки, обробки різанням і процесу виробництва в цілому. В даному разі для виготовлення заготовок потрібне велике число

нагрівальних агрегатів і пристроїв для забезпечення відповідних температурних режимів, ускладнюється обробка різанням бо вимагає застосування різних різальних інструментів у зв'язку із значним різновидом конструкційних матеріалів, збільшуються їх запаси на підприємстві, ускладнюються умови зберігання.

**Взаємозамінюваність складальних одиниць і деталей.** Поточне виробництво побудовано на взаємозамінності складальних одиниць і деталей. У разі її відсутності значно підвищується трудомісткість виготовлення, тому що складання проводиться за методом пригонки і заважає роботі конвейера, ускладнює процес зміни зношуваних деталей при ремонті виробу.

У різних галузях машинобудування застосовують різні методи досягнення заданої точності. Найбільш поширеним, наприклад, у автомобілебудуванні, є метод повної взаємозамінюваності. Знаходить застосування також складання з неповною взаємозамінюваністю. Але деякі деталі, спряжені з високою точністю (2-3 мкм), складають методом групової взаємозамінюваності. Масове виготовлення деталей з високою точністю викликає певні труднощі, тому їх виготовлення здійснюється з розширеними виробничими допусками та послідовним сортуванням на групи за видами спряжених деталей. Технологічність виробу значно підвищується, якщо при виготовленні забезпечується принцип незалежності обробки деталей, складання окремих складальних одиниць.

**Уніфікація складальних одиниць і деталей.** Підвищення технологічності конструкції досягається за рахунок застосування великого числа уніфікованих складальних одиниць і деталей. Уніфікація узагальнює конструктивні рішення без оформлення спеціального документу, нормалізація – у вигляді усередні-заводських і відомчих нормалей, а стандартизація – державних стандартів.

Нормалізацією можуть бути охоплені складальні одиниці, деталі, елементи з'єднання, сортамент матеріалів та ін. При використанні уніфікованих складальних одиниць і деталей скорочується обсяг робіт при проектуванні, значно зменшуються трудомісткість і собівартість виготовлення через

можливість використання високопродуктивного обладнання, стандартизованого інструменту. Крім того, скорочується номенклатура запасних частин, бо на різні типи засобів замість зношуваних вузлів і деталей можна встановлювати нові, знижується трудомісткість ремонту. Наприклад, для кількох модифікацій вантажних автомобілів і автобусів використовується один тип двигуна, рульовий механізм, прилади електрообладнання, підшипники та ін. Таким чином, уніфікація складальних одиниць і деталей дозволяє, знижуючи вартість зазначених виробів і забезпечуючи їх виготовлення, випускати більше їх модифікацій.

Уніфікувати можна діаметри отворів та валів і допуски на них, діаметри і довжину болтів, різьбові, шліцьові й шпоночні з'єднання, модулі зубчастих коліс, марки, профілі та розміри заготовок і т.д. У результаті уніфікації різко скорочується асортимент різальних, вимірювальних і інших інструментів, що в кінцевому підсумку спрощує постачання цехів, ліній та робочих місць. Отже, збільшення числа уніфікованих конструктивних елементів підвищує технологічність конструкції.

Коефіцієнт уніфікації деталей, що характеризує технологічність конструкції, дорівнює

$$K_y = \frac{\sum n_y}{\sum N_i},$$

де  $\sum N_i, \sum n_y$  - відповідно загальна кількість і число уніфікованих складальних одиниць, деталей або конструктивних елементів з'єднань.

Серед порівняльних варіантів найбільш технологічним вважається той, що характеризується більшим коефіцієнтом уніфікації. Але в конструкції виробу не можуть бути уніфіковані всі деталі через наявність оригінальних деталей особливої конструктивної форми, що обумовлені їх призначенням. У цьому випадку технологічним буде виріб з мінімальним коефіцієнтом уніфікації по конструктивних елементах деталей і їх з'єднаннях, тобто чим менше оригінальних деталей у конструкції, тим вона технологічніша.

### 4.3 Технологічність конструкції деталей, обумовлена обробкою різанням

Деталь, що підлягає обробці різанням, буде технологічною, якщо її конструкція передбачає застосування раціональної заготовки, форми і розміри якої максимально наближені до готової деталі, а також використання високоефективних процесів обробки. Основні вимоги до технологічності деталі зводяться до наступного:

- простота форми поверхонь, що підлягають обробці різанням;
- легка доступність поверхонь і зручність їх обробки;
- можливість максимального використання стандартизованих і нормалізованих інструментів;
- можливість простого і швидкого встановлення заготовки деталі;
- необхідна жорсткість деталі;
- забезпечення мінімального числа установ заготовки в процесі обробки та вимірювання;
- рівномірне розміщення маси заготовки відносно її осі.

Технологічна конструкція деталі характеризується простотою форми поверхонь, раціональним проставленням розмірів, допусків і шорсткості оброблюваних поверхонь. Крім вказаних вимог, мінімальна за трудомісткістю та високоякісна обробка різанням заготовки повинні забезпечуватися доброю оброблюваністю. Наприклад, заготовки із сталі з низьким вмістом вуглецю (до 0,3%) неможливо обробити з малою висотою нерівностей поверхні, тому що вони погано шліфуються і шорсткість  $R_a$  складає не менше 2,5 мкм. Деталі із твердих матеріалів можна обробляти з меншою висотою нерівностей поверхні. Так, заготовки деталі з твердістю понад HRC 45 обробляються різальним з полікристаливими надтвердими матеріалами або абразивним інструментом. Заготовки деталей з алюмінієвих сплавів перед обробкою різанням піддають термічній обробки.

Проста форма поверхонь деталей спрощує обробку різанням, скорочує її трудомісткість і знижує металомісткість. У конструкції деталі пази й канавки

слід передбачати з можливістю обробки дисковою фрезою, що забезпечує більш високу продуктивність у порівнянні з пальцевою. Не повинно бути фіксованих виступів поверхні, тому що їх наявність заважає обробці площин і торців. Необхідно уникати різноманітності типорозмірів отворів, допусків і різьб, по можливості передбачати різьбу в наскрізних отворах, а при зовнішній різьбі мати канавку для виходу інструменту.

Крім вищевказаного, технологічність заготовки може бути підвищена за рахунок скорочення числа оброблюваних поверхонь, а також заміни кількох деталей однією литтєвою заготовкою. При конструюванні деталей з прокату, литтєвих і гарячештампувальних заготовок невідповідальні поверхні треба залишати без обробки. В окремих випадках незначна коректива конструкції дає можливість виготовити деталь з профільного прокату, що різко знижує метало- і трудомісткість обробки. Щодо підвищення рентабельності виготовлення необхідно при проектуванні деталей трубчастої форми максимально використовувати сортамент безшовних труб. Заготовки, отримані литтям під тиском, мають високу технологічність, потребують незначної обробки і відзначаються високим коефіцієнтом використання металу.

Нижче розглянемо приклади поліпшення конструкції деталей, що піддаються обробці різанням. На рис. 4.1 наведені два варіанти конструкції фасонної шпильки, що призначена для кріплення гальмового диску до маточини колеса. Шпилька (рис. 4.1, *а*) має по середині буртик, з лівого боку – різьбу, а з правого – передбачена циліндрична центруюча частина і різьба меншого діаметра. Конструкція вузла передбачає щільний вхід шпильки в отвір маточини 1 колеса з натиском буртика на виточку. Потім на її надягається гальмовий диск 2 і закріплюється гайкою 3. Шпильку можна виготовити на автоматі з продуктивністю за зміну близько 500 штук.

Зважаючи на наявність різьби різного діаметра, її отримують обробкою тиском з кожного боку окремо. Запропоновано інший варіант конструкції шпильки з однаковою різьбою (рис. 4.1, *б*) на кінцях більше економічний. Цю шпильку можна отримати висадкою з продуктивністю більш 1000 штук за

зміну і різьбу виконують одночасно з двох боків. У цілому загальна трудомісткість виготовлення шпильки варіанта “а” у 5 разів більша, ніж варіанта “б”. Таким чином, незначна зміна конструкції поліпшує її технологічність.

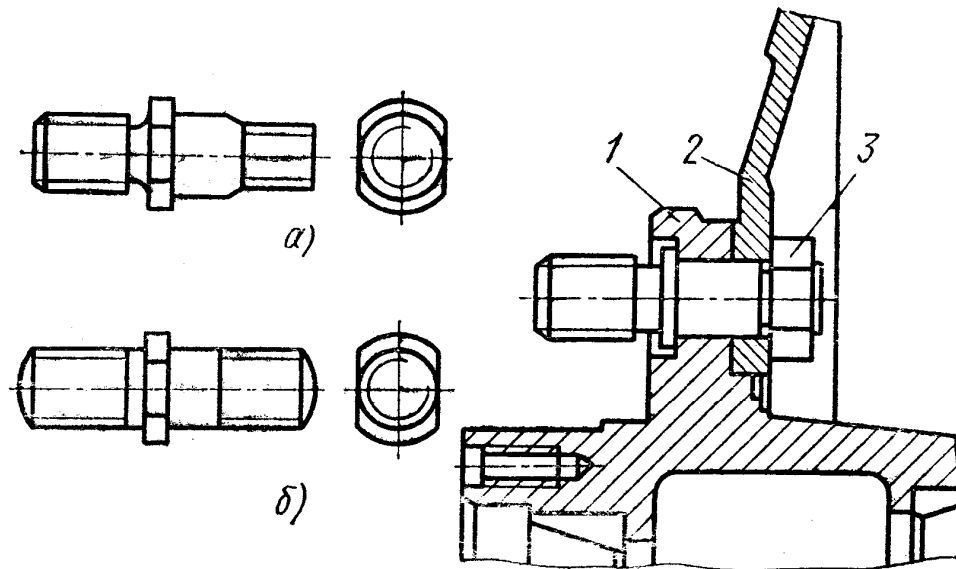


Рисунок 4.1 – Конструкція фасонної шпильки для кріплення гальмового диска до маточини колеса вантажного автомобіля

Нижче розглянемо приклад поліпшення конструкції зубчастого колеса, що підлягає механічній обробці різанням. У колеса (рис. 4.2 а) диск 1, що зв’язує маточину 2 із зубчастим вінцем 3, розміщений симетрично відносно осі 00, яка проходить на однакових відстанях від торців зубчастого вінця і маточини, а в колеса (рис. 4.2 б) диск зсунутий.

Обробку різанням колеса з нерівномірним розподілом маси, щоб уникнути появи вібрації, виконують при більш низьких режимах різання, ніж колеса з рівномірним розподілом. Крім того, зазначена конструкція зубчастого колеса в процесі охолодження при термічній обробці буде схильна до більшої деформації. Це пов’язано з тим, що верхня частина вінця буде охолоджуватися швидше нижньої.

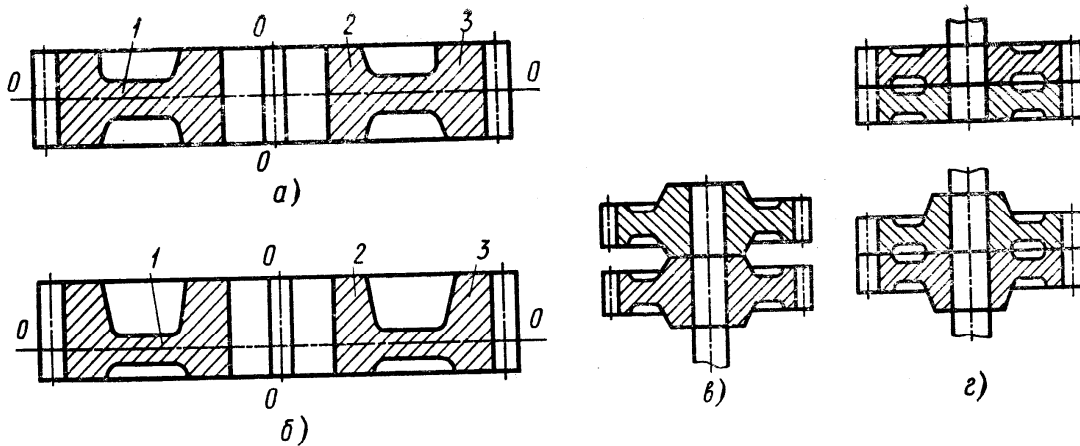


Рисунок 4.2 – Конструкції зубчастих коліс: а і г – технологічні; б і в – нетехнологічні

У результаті після зазначеного виду операції отримуваний отвір матиме форму конуса, розширеного вгору. Разом з цим у зубчастого колеса з рівномірним розподілом маси форма отвору викривляється мало. Велика деформація колеса з нерівномірним розподілом обумовлює збільшення припуску на шліфування отвору. Отже, трудомісткість та собівартість виготовлення зубчастого колеса, показаного на рис. 4.2, б буде вище в порівнянні з іншою конструкцією (рис. 4.2, а).

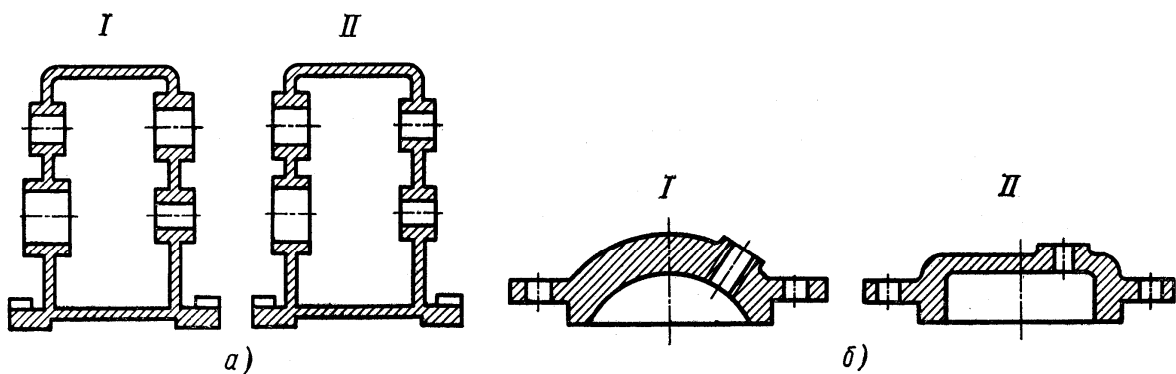


Рисунок 4.3 – Варіанти конструкції деталей: а – корпусних із співвісними отворами; б – типу кришок; 1 – нетехнологічна; 2 – технологічна

У корпусних деталях співвісні циліндричні отвори слід розмішувати із зменшеним діаметром у даному напрямку (рис. 4.3, а). У деталях типу кришок

(рис. 4.3, б) необхідно передбачати таке розміщення отворів, які дозволяли б їх обробляти при одній установці. При цьому спрощується конструкція пристрою.

#### **4.4 Відпрацювання технологічності конструкцій елементів виробів з урахуванням методів отримання заготовок**

**Технологічність литтєвих деталей.** У процесі відпрацювання технологічності конструкції литтєвої деталі треба враховувати використання точних методів лиття, не допускати різких змін товщини стінок, вибирати базові поверхні при відливці, враховуючи технологічні бази, які використовують під час обробки різанням.

Площина розйому моделі повинна бути плоскою, що спрощує використання машинного формування. Беручи до уваги, що зовнішні стінки охолоджуються швидше внутрішніх, слід останні передбачати більш тонкими у порівнянні із зовнішніми. Для запобігання створенню посадочних раковин необхідно уникати зайвого матеріалу на перетинанні стінок, виступах або напливах.

**Технологічність штампованих деталей.** З метою поліпшення технологічності гарячештампувальних деталей треба передбачити вільне віддалення заготовки із штампу в площині, перпендикулярній до площини його розйому. При цьому остання може бути прямою або криволінійною залежно від форми деталі.

При виробництві холодноштампувальних заготовок (деталей) широко використовують вирубку, гнучкість, об'ємне штампування, видавлювання. Точність деталей, отриманих витягуванням, відповідає 8-му квалітету. У підлягаючих термообробці деталях не повинно бути різких переходів, наявності зайвого металу і довгих пазів, бо вони сприяють утворенню зон залишкових напружень, коробленню поверхні деталі та утворенню тріщин.

**Технологічність конструкції зварних деталей.** Під час відпрацювання технологічності зварних деталей необхідно враховувати, що поведінка металу



при зварюванні визначається місцевим нагріванням до температури плавлення. Ріст розміру зерна в зоні з'єднання, структурні перетворення, що відбуваються, викликають зміну фізико-механічних властивостей вихідного металу. У біляшовних зонах виникають залишкові напруження, що викликають короблення деталей.

**Конструктивна особливість деталей із пластмаси.** Конструкції деталей не повинні мати поверхонь, що утруднюють витягнення деталей з пресформи. Ця обставина викликає необхідність використання розйомних матриць і пов'язана з підвищенням вартості виготовлення та експлуатації пресформи. У деталях із пластмаси кути й кромки виконують з плавними закругленнями, що полегшує течію матеріалу у них і підвищує міцність деталей, а також усуває небезпеку виникнення тріщин. Відсутність у перерізах деталі різких переходів виключає короблення та нерівномірну усадку.

#### 4.5 Вплив технологічності конструкції на її собівартість

Технологічна собівартість визначається витратами на здійснення технологічного процесу. Витрати, що складають технологічну собівартість, розподіляються на два види. Перший вид витрат  $A$  залежить від числа виготовлюваних деталей і змінюється пропорційно річному випуску. До витрат даного виду відносять заробітну плату робітників, витрати на експлуатацію обладнання (вартість ремонту, електроенергії, змазуючих і обтирочних матеріалів, охолоджуючої рідини), витрати на експлуатацію різальних інструментів і пристроїв. Другий вид витрат  $B$  практично не залежить від річного випуску деталей. До нього відносять заробітну плату наладчиків, відрахування на амортизацію обладнання та спеціальних пристроїв.

Технологічна собівартість  $C_m$  виготовлення деталей визначається згідно з виразом:

$$C_m = A_g + B / N ,$$

де  $A_g$  - витрати, віднесені до однієї деталі;

$B$  - річні витрати, що не залежать від річного випуску деталей.

Залежність технологічної собівартості варіантів технологічного процесу (або операції) має лінійний вигляд (рис. 4.4).

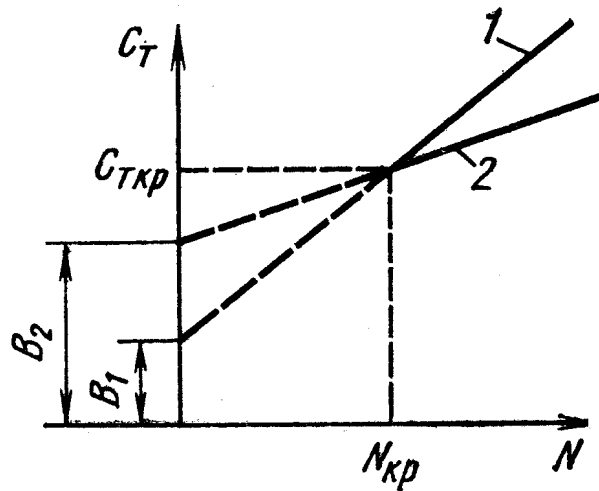


Рисунок 4.4 – Залежність технологічної собівартості  $C_m$  від річного обсягу  $N$  деталей для двох варіантів

Порівняння варіантів при заданому обсягу випуску деталей зводиться до порівняльної оцінки технологічної собівартості варіантів 1 і 2 за формулами:

$$C_{m_1} = A_1N + B_1; \quad C_{m_2} = A_2N + B_2;$$

$$C_{m_1} < C_{m_2}; \quad A_1N + B_1 < A_2N + B_2.$$

Технологічна собівартість порівняльних варіантів буде однаковою при певному критичному обсягу випуску  $N_{кр}$  деталей:

$$C_{m_1} = C_{m_2} = A_1N_{кр} + B_1 = A_2N_{кр} + B_2.$$

Звідси

$$N_{кр} = (B_2 - B_1) / (A_1 - A_2).$$

При річному випуску  $N < N_{кр}$  оптимальним буде варіант 1 технологічного процесу, а при  $N > N_{кр}$  - варіант 2 (див. рис. 4.4).

У разі, коли для здійснення того чи іншого технологічного процесу необхідні капітальні витрати, наприклад, на спеціальне обладнання та автоматизацію, ефективність витрат може бути виявлення через термін окупності:

$$L = \frac{k}{[t_{H_1}(Z_1 + H_1) - t_{H_2}(Z_2 + H_2)]N}$$

де  $k$  - капітальні витрати, пов'язані з реалізацією запропонованого варіанта процесу (операції);

$t_{H_1}, t_{H_2}$  - норма часу відповідно для першого і другого варіантів;

$Z_1, Z_2$  - заробітна плата робітника за 1 год.;

$H_1, H_2$  - накладні витрати на заробітну плату робітників відповідно для першого і другого варіантів (можна приймати собівартість роботи верстата за 1 год.).

### ***Запитання для самостійного контролю***

1. У чому полягають основні положення технологічності конструкції?
2. Дайте характеристику конструктивного, технологічного та експлуатаційного відпрацювання конструкції
3. Які існують показники для об'єктивної оцінки технологічності розробки?
4. Як характеризуються з технологічної точки зору для оцінки показники при обробки різанням і складанні виробу?
5. Перелічіть основні вимоги до технологічності деталі, обумовлені механічною обробкою різанням, та шляхи її досягнення
6. У чому сутність відпрацювання конструкції елемента виробу з урахуванням методів отримання заготовок?
7. Який вплив має технологічність конструкції на її собівартість?

## **Тема 5. Основи проектування технологічних процесів.**

- 5.1 Основні принципи проектування технологічних процесів.
- 5.2 Вихідна інформація для проектування технологічних процесів.
- 5.3 Основні етапи і послідовність проектування технологічних процесів.
- 5.4 Методи проектування технологічних процесів.
- 5.5 Вибір способу виготовлення вихідної заготовки.
- 5.6 Призначення припусків на обробку поверхонь.
- 5.7 Вихідні дані для розрахунку припусків.
- 5.8 Методи визначення припусків.
- 5.9 Сутність досвідно – статистичного методу.
- 5.10 Формування маршруту обробки заготовки.
- 5.11 Вибір верстатів, пристосувань, інструментів.
- 5.12 Технічне нормування виконання операцій.

### **5.1 Основні принципи проектування технологічних процесів**

При проектуванні усіх видів технологічних процесів (ТП) необхідно дотримуватись таких основних принципів:

- **технічний**, сутність якого полягає в розробці ТП виготовлення виробів відповідної якості;
- **економічний**, що складається в розробці ТП виготовлення виробів з мінімальними витратами;
- **екологічний**, що передбачає при реалізації розробленого ТП мінімальний збиток працівникам, які його реалізують, а також навколишньому середовищу.

## 5.2 Вихідна інформація для проектування ТП

Усю вихідну інформацію для проектування ТП можна поділити на три типи:

- **базова** - креслення машини, [складальної одиниці](#), [деталі](#), обсяг випуску з урахуванням відсотка запасних частин, терміни випуску виробів, дані про виробничу систему (застосовувані способи одержання заготовок та ін.);
- **керівна** – інструкції з охорони праці, типові ТП, стандарти з проектування й оформлення технологічних процесів та ін.;
- **довідкова** - каталоги устаткування, оснащення, режимів [обробки](#), норм часу та ін.

При цьому слід пам'ятати, що при проектуванні робочих технологічних процесів базові і довідкові дані повинні відбивати дійсний стан виробничої системи, а для перспективних ТП можна використовувати каталоги нового перспективного обладнання й оснащення.

## 5.3 Основні етапи, послідовність та методи проектування ТП

Проектування технологічних процесів [механічної обробки](#) і складання є багатоваріантним завданням. За своєю суттю це є процес переробки вихідної інформації, що є недостатньою і неточною в кінцеві технологічні рішення. Процес проектування багатоетапний, пов'язаний із синтезом нових даних на кожному етапі, що поповнюють вихідні дані. У результаті багатоваріантності рішень, наприклад, при призначенні способів обробки окремих поверхонь або виборі верстата необхідне виконання оптимізаційних розрахунків. Процес проектування ТП є ітераційним, тобто з можливим поверненнями до раніше прийнятих рішень і їх корекцією.

У цілому в процесі проектування можна виділити три великих етапи:

- збір і аналіз вихідної інформації;

- вироблення технологічних рішень;
- техніко-економічне обґрунтування й оформлення ТП.

Послідовність проектування в межах цих етапів може бути надана у вигляді нижченаведеного укрупненого алгоритму ( див. рис. 5.1).

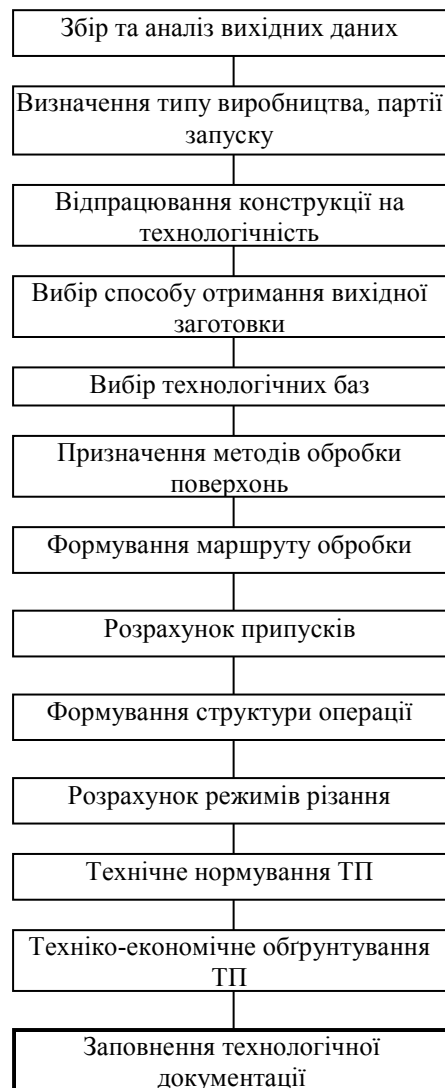


Рисунок 5.1 – Укрупнений алгоритм проектування ТП

#### 5.4 Методи проектування технологічних процесів

Під проектуванням розуміють процес складання опису, необхідного для створення в заданих умовах ще не існуючого об'єкту, на основі креслення цього об'єкту. Розрізняють проектування трьох видів: неавтоматизоване, автоматизоване, автоматичне.

Неавтоматизоване проектування - проектування, при якому всі перетворення описів об'єкту, а також подання описів різними мовами здійснює людина. При автоматизованому проектуванні окремі перетворення описів об'єкту, а також подання описів різними мовами здійснюється взаємодією людини і ЕОМ. Автоматичне проектування - проектування, при якому всі перетворення описів об'єкту, а також подання описів різними мовами здійснюється без участі людини. При цьому об'єктами технологічного проектування можуть бути технологічні процеси, маршрути, операції, налагодження тощо.

З точки зору принципів проектування розрізняють два методичних підходи. Перший базується на синтезуванні технологічного процесу на основі бази знань та прийняття рішень на рівні первинних субстанцій, другий - на основі використання типових технологічних процесів та комплексних рішень, що нагромаджені багаторічним досвідом виробництва.

Синтезування технологічних процесів - досить складний, трудомісткий та важко формалізований процес, що вимагає глибоких знань, інтуїції, досвіду технолога. Проектування технологічних процесів на основі типових процесів не вимагає таких глибоких знань, легко формується та піддається автоматизації. Практично всі діючі системи автоматизованого та автоматичного проектування технологічних процесів ґрунтуються на використанні типових технологічних рішень.

## **5.5 Вибір способу виготовлення вихідної заготовки**

Як відомо, в машинобудуванні використовують вихідні заготовки, отримані способами литва, пластичного деформування, різного профілю прокату, виготовлені з використанням зварювання, порошкової металургії тощо.

Перелічені вище способи виготовлення заготовок мають велику кількість методів їх реалізації, наприклад, литво можна отримати формуванням

дерев'яних чи металевих моделей в землю або використовуючи кокіль, виплавлені моделі та ін. Пластичне деформування може бути виконано як в холодному, так і в гарячому стані з використанням різного виду штампів або без них (вільне кування). Заготовки з прокату мають різноманітну конфігурацію профілю від круглого та листового до дуже складного в поперечному перетині.

Призначення способу виготовлення вихідної заготовки технолог повинен виконувати, враховуючи такі характеристики:

- тип виробництва;
- матеріал деталі;
- габаритні розміри деталі, її складність та такі характерні параметри, як товщина стінок, перепад діаметрів ступеневого вала, діаметр отвору при використанні литва чи пластичного деформування.

Чим точніше виготовлена заготовка, чим ближче її форма і розміри наближаються до цих параметрів готової деталі, тим менший обсяг механічної обробки треба використати, але тим вища буде і собівартість виготовлення такої заготовки.

Крім того, технолог повинен враховувати можливості заготівельного виробництва підприємства щодо реалізації окремих методів виробництва заготовок. В іншому випадку виникне потреба виготовляти їх на інших підприємствах (за кооперацією), що теж спричинить певні витрати.

Рекомендації щодо областей використання різних способів отримання вихідної заготовки наведені в багатьох довідниках із технології машинобудування, а також розглядаються в суміжних курсах, наприклад, технологія конструкційних матеріалів, технологічні методи виробництва деталей машин.

Однак у кожному випадку призначення методу виготовлення вихідної заготовки технолог, відібравши множину технічно можливих методів, повинен провести економічне обґрунтування їх для вибору одного, найбільш



доцільного для даних умов виробництва. При цьому необхідно витримувати таке співвідношення:

$$C_{вз} = C_{\text{виг. заг}} + \sum C_{ij} \Rightarrow \min,$$

де  $C_{вз}$  – сукупна собівартість вихідної заготовки і її обробки;

$C_{\text{виг. заг}}$  – собівартість виготовлення самої заготовки;

$C_{ij}$  - собівартість виконання додаткових механічних операцій з видалення напусків тощо (при порівнянні декількох альтернативних варіантів).

### 5.6 Призначення припусків на обробку поверхонь.

При проектуванні усіх видів технологічних процесів (ТП) необхідно дотримуватись таких основних принципів:

- **технічний**, сутність якого полягає в розробці ТП виготовлення виробів відповідної якості;
- **економічний**, що складається в розробці ТП виготовлення виробів з мінімальними витратами;
- **екологічний**, що передбачає при реалізації розробленого ТП мінімальний збиток працівникам, які його реалізують, а також навколишньому середовищу.

### 5.7 Вихідні дані для розрахунку припусків.

Усю вихідну інформацію для проектування ТП можна поділити на три типи:

- **базова** - креслення машини, складальної одиниці, деталі, обсяг випуску з урахуванням відсотка запасних частин, терміни випуску виробів, дані про виробничу систему (застосовувані способи одержання заготовок та ін.);

- **керівна** – інструкції з охорони праці, типові ТП, стандарти з проектування й оформлення технологічних процесів та ін.;
- **довідкова** - каталоги устаткування, оснащення, режимів обробки, норм часу та ін.

При цьому слід пам'ятати, що при проектуванні робочих технологічних процесів базові і довідкові дані повинні відбивати дійсний стан виробничої системи, а для перспективних ТП можна використовувати каталоги нового перспективного обладнання й оснащення.

### **5.8 Методи визначення припусків.**

Проектування технологічних процесів механічної обробки і складання є багатоваріантним завданням. За своєю суттю це є процес переробки вихідної інформації, що є недостатньою і неточною в кінцеві технологічні рішення. Процес проектування багатоетапний, пов'язаний із синтезом нових даних на кожному етапі, що поповнюють вихідні дані. У результаті багатоваріантності рішень, наприклад, при призначенні способів обробки окремих поверхонь або виборі верстата необхідне виконання оптимізаційних розрахунків. Процес проектування ТП є ітераційним, тобто з можливим поверненнями до раніше прийнятих рішень і їх корекцією.

У цілому в процесі проектування можна виділити три великих етапи:

- збір і аналіз вихідної інформації;
- вироблення технологічних рішень;
- техніко-економічне обґрунтування й оформлення ТП.

Послідовність проектування в межах цих етапів може бути надана у вигляді нижченаведеного укрупненого алгоритму.

Існують такі методи визначення припусків:

- дослідно-статистичний;
- розрахунково-аналітичний;

- у процесі розрахунку технологічних розмірних ланцюгів.

### 5.9 Сутність дослідно – статистичного методу

При використанні цього методу загальні та операційні припуски беруться з таблиць, що складаються на основі узагальнення і систематизації виробничих даних передових заводів. Такі таблиці належать (складовою частиною) до відповідних державних стандартів на заготовки, отримані різноманітними методами, наприклад.

За допомогою дослідно-статистичного методу можна розв'язати такі 2 задачі.

**Задача 1** Визначити загальний припуск на механічну обробку, наприклад, за ГОСТом 26645-85:

- розрахувати розмір заготовки;
- розподілити загальний припуск на операційні відповідно до точності операцій.

При цьому варто мати на увазі, що в державних стандартах наведені значення загальних номінальних припусків  $Z_{\text{заг.ном}}$  ( $2Z_{\text{заг.ном}}$ ), показані на рисунку 3. Тому, додавши їх до номінального розміру деталі, одержимо номінальний розмір заготовки.

Приклад: розмір деталі  $40_{-0,1}$ .

Табличне значення загального припуску  $Z_{\text{табл}} = 3$  мм.

Розмір заготовки  $A_{\text{ном}} = 40 + 3 = 43_{+ei}^{+es}$ .

Операційні припуски при 2 і 3 етапах обробки (операціях) у маршруті обробки поверхні визначаються таким чином:

При 2 операціях:  $Z_{\text{чорн}} = (70\% Z_{\text{табл}})$ ;

$Z_{\text{чист}} = (30\% Z_{\text{табл}})$ .

Для нашого прикладу:

$$Z_{\text{чорн}} = (3 \times 0,7) = 2,1 \text{ мм};$$

$$Z_{\text{чист}} = (3 \times 0,3) = 0,9 \text{ мм}.$$

При 3 операціях:  $Z_{\text{чор}} = (60\% Z_{\text{табл}}) = 1,8 \text{ мм};$

$$Z_{\text{чист}} = (30\% Z_{\text{табл}}) = 0,9 \text{ мм};$$

$$Z_{\text{фініш}} = (10\% Z_{\text{табл}}) = 0,3 \text{ мм}.$$

**Задача 2** Визначити операційні мінімальні припуски, наприклад, за [8, табл. 27-37] і, склавши їх, розрахувати розмір заготовки.

При цьому необхідно для кожної операції визначити допуск відповідно до економічного квалітета точності способу обробки і розміру поверхні, включаючи і допуск заготовки.

Номинальний розмір заготовки визначається за формулою (4.7) для охоплюваних поверхонь (валів) і до них прирівняних або за формулою (4.8) для охоплюючих поверхонь, (отвори) і до них прирівняних:

$$H_{\text{ном.заг}} = H_{\text{ном.дет}} + ei_{\text{дет}} + \sum_2^n Z_{\text{min}_i} (2Z_{\text{min}_i}) + \sum_1^n T_i - es_{\text{заг}};$$

$$H_{\text{ном.заг}} = H_{\text{ном.дет}} + ES_{\text{дет}} - \sum_2^n Z_{\text{min}_i} (2Z_{\text{min}_i}) - \sum_1^n T_i - EI_{\text{заг}},$$

де  $H_{\text{ном.дет}}$  – номінальний розмір деталі;

$n$  – кількість операцій маршруту обробки поверхні, включаючи виготовлення заготовки;

$T_i$  - допуск  $i$  – ї операції;

$es$  ( $ES$ ) – верхнє відхилення допуску;

$ei$  ( $EI$ ) – нижнє відхилення допуску.

Недолік цього методу полягає в тому, що припуски призначаються без урахування конкретних умов побудови технологічних процесів: загальні припуски - без урахування маршруту обробки даної поверхні, а проміжні – без урахування схеми установки заготовки і похибок попередньої обробки. Дослідно-статистичні розміри припусків у багатьох випадках завищені, тому що вони орієнтовані на умови обробки, при яких припуск повинен бути таким, щоб гарантовано уникнути браку.

Розрахунок операційних розмірів проводять за схемою послідовного додавання (для отворів – віднімання), починаючи з максимального розміру поверхні (для отворів – мінімального розміру) мінімальних припусків і відповідних допусків для всіх передбачених для поверхні способів її обробки. При цьому треба мати на увазі, що при розрахунку номінального розміру заготовки додають (для валів) або віднімають ( для отворів) не весь допуск на заготовку, а їх нижнє  $e_i$  (для валів) або верхнє  $ES$  ( для отворів) відхилення.

### **5.10 Формування маршруту обробки заготовки**

Маршрут обробки заготовки (МОЗ) встановлює послідовність операцій обробки різанням, а також зміст і місце термічних, гальванічних, слюсарних та контрольних операцій. Як довідковий матеріал при проектуванні маршруту можуть бути використані типові, групові або робочі заводські технологічні процеси.

При розробленні маршрутного технологічного процесу треба враховувати заводський досвід та рекомендації літературних джерел щодо поділу технологічного процесу на етапи, що об'єднують технологічні методи приблизно рівні за точністю та якістю обробки поверхонь.

Одна з укрупнених типових схем раціональної послідовності етапів обробки заготовок, що узагальнює багаторічний досвід машинобудування, подана в табл. 5.1. Як видно з таблиці, передусім обробляють чистові технологічні бази, потім — інші поверхні в порядку сходження від початкової точності поверхонь заготовки до такої, що вимагається кресленням деталі. Найбільш високі квалітети точності мають виконавчі поверхні, за допомогою яких деталь виконує своє службове призначення. Таким чином, побудова МОЗ повинна бути підпорядкована одному з головних принципів — забезпеченню службового призначення деталі. З цієї причини значний вплив на послідовність операцій технологічного процесу справляє прийнятий маршрут обробки виконавчих поверхонь деталей.

Наведені в таблиці етапи не обов'язкові для всіх технологічних процесів, оскільки далеко не всі деталі потребують термічної обробки, покриттів та оздоблювальних операцій. Для прецизійних заготовок може не бути чорнових, напівчистових і навіть чистових етапів обробки. Маршрут обробки таких заготовок будується з пропуском тих етапів, в яких немає необхідності.

Оскільки виконавчі поверхні деталі мають найвищу точність і мінімальну шорсткість, то чистовою або оздоблювальною обробкою цих поверхонь і повинен закінчуватися маршрут виготовлення деталі в цілому. Обробку поверхонь, точність і шорсткість яких нижчі ніж, у виконавчих, закінчують на рівні етапу напівчистої або навіть попередньої обробки.

Поділяючи технологічний процес на етапи, досягають ряду позитивних моментів: попередня обробка може виконуватися на спеціально виділеному зношеному або неточному обладнанні робітниками більш низької кваліфікації; розрив за часом між попередньою, напівчистою і чистовою обробками дає змогу більш повно виявитися деформаціям до їх усунення на останньому етапі обробки; винесення викінчувальної обробки в кінець маршруту зменшує ризик випадкового пошкодження остаточно оброблених поверхонь. Звичайно, від цих основних правил побудови МОЗ можуть бути деякі відхилення. Так, на кінець маршруту часто виносять обробку поверхонь, які легко пошкодити (зовнішні різи та ін.). Для деталей досить жорстких часто з метою виявлення внутрішніх дефектів на більш ранніх стадіях обробки призначають чистову обробку відразу ж після напівчистої або попередньої. Так роблять при обробці плоскої поверхні на карусельно - і барабанно-фрезерних верстатах. У цьому випадку досягається більш високий ступінь концентрації обробки, зменшується число установ деталі, зменшуються витрати на їх механічну обробку.

Термічна обробка, як відомо, вносить похибки у форму заготовки, взаємне розміщення поверхонь та погіршує шорсткість. Для усунення цих дефектів у МОЗ доводиться вносити операцію правки технологічних баз або повторну механічну обробку окремих поверхонь (етапи 4 та 6). Крім того, термічна

обробка часто пов'язана з введенням в МОЗ деяких специфічних операцій, таких, як обміднення ділянок, які не цементуються, тощо. Розробляючи технологічні процеси, необхідно планувати операції технічного контролю, що вводяться в МОЗ після тих операцій, де можлива поява браку, перед складними та відповідальними операціями, а також у кінці обробки. На всіх інших операціях (їх повинна бути більшість) треба планувати вибірковий контроль.

Таблиця 5.1 - Типова послідовність етапів обробки заготовок

Етап	Назва	Зміст етапів і вихідні параметри
Е1	Попередній I	Обробка поверхонь, які будуть використовуватися як технологічні бази на наступних етапах
Е2	Попередній II	Чорнова обробка виконавчих поверхонь і поверхонь, які не припускають наявності дефектів. Точність розмірів 1Т12-1Т14, форми і розташування X-ХП ступеня, Rz=10 - 20 мкм, Ra = 2,5 - 5 мкм
Е3	Термічний I	Термообробка для зняття внутрішнього напруження I і II роду
Е4	Напівчистовий	Правка баз і напівчиста обробка поверхонь. Точність розмірів 1Т10-1Т12, форми і розташування VIII - IX ступеня, Rz=6,3 - 10 мкм, Ra = 1,25 - 2,5 мкм
Е5	Термічний II	Термообробка для поліпшення якості поверхневих шарів матеріалу
Е6	Чистовий	Правка технологічних баз і чистова обробка поверхонь. Точність розмірів 1Т8-1Т9, форма і розташування VI-VII ступеня, Rz=3,2-6,3 мкм, Ra=0,63-1,25 мкм

E7	Додатковий	Виконання другорядних операцій (свердління кріпильних отворів, зняття фасок, прорізування канавок), обробка поверхонь, які легко ушкоджуються (наприклад, нарізання різі)
E8	Гальванічний	Хромування, нікелювання та ін.
E9	Викінчувальний	Оздоблення виконавчих і базових поверхонь. Точність розмірів 1Т5-1Т7, форми і розташування IV-V ступеня, Rz = 0,8-1,6 мкм, Ra=0,16-0,32 мкм
E10	Контрольний	Остаточний контроль, випробування

### 5.11 Вибір верстатів, пристроїв, інструментів

Вибираючи обладнання при проектуванні робочого технологічного процесу, орієнтуються на обладнання, яке є в цеху, з урахуванням фактичного завантаження окремих його груп. В умовах одиничного виробництва при проектування нових технологічних операцій дуже завантажене унікальне обладнання, що лімітує загальний випуск заводської продукції, може бути застосоване лише у виняткових випадках, коли ніякі інші верстати, а також методи обробки не можуть бути використані. В будь-яких інших випадках слід застосовувати інше наявне обладнання, що забезпечує якісну обробку деталей. При проектуванні технологічних процесів для підприємств, що створюються, можливості технолога обмежені лише економічними міркуваннями.

Вибір верстата для операції виконують за такими критеріями, як:

- тип виробництва;
- технологічні можливості щодо реалізації включених до операції методів обробки (склад технологічних переходів);
- габарити робочої зони;
- кількість розміщуваних інструментів;



- потужність двигунів;
- ціна верстата.

Згідно з класифікацією верстатів, що була запропонована професором А.Т. Каширіним, верстатне обладнання поділяється на такі види:

- верстати широкого або загального призначення (універсальні);
- верстати високої продуктивності;
- верстати спеціалізовані та спеціальні.

Верстати широкого або загального призначення застосовують у дрібносерійному та одиничному виробництвах.

Верстати високої продуктивності мають обмежені технологічні можливості. Однак, завдяки підвищеній потужності і жорсткості, на них можна вести обробку на більш високих режимах різання й більш концентрованими методами. До верстатів цього виду належать: токарні багаторізцеві, гідрокопіювальні, одно - і багатшпиндельні автомати и напівавтомати, круглошліфувальні, що працюють методом поперечної подачі, безцентрово-шліфувальні, барабанно - і карусельно-фрезерні та ін. Такі верстати призначені для великосерійного та масового виробництв.

Спеціалізовані верстати створюють на базі верстатів високої продуктивності встановленням додаткових шпинделів та інших вузлів, за допомогою яких вони можуть бути пристосовані для виконання конкретних операцій при обробці конкретних деталей в умовах масового виробництва.

Спеціальні верстати проектують та виготовляють на особливе замовлення та використовують для виконання певної операції. Проектування та виготовлення верстатів цієї групи є дуже дорогим. Тому вони виправдовують себе лише у масовому виробництві. Особливі групи складають агрегатні верстати, що застосовуються в серійному та масовому виробництвах, та верстати з числовим програмним керуванням, які використовують в умовах дрібно - та інколи середньосерійного виробництв. Вибір технологічного обладнання повинен базуватися на аналізі витрат на реалізацію технологічного процесу в межах життєвого циклу виробів при заданій їх

якості. Результати аналізу оцінюють відношеннями: основного та штучного часу, зведених витрат при виконанні робіт на різних верстатах.

Практика показує, що найбільш багатоваріантним є обладнання для токарної обробки. Питання про вибір токарного, токарно-револьверного, токарного одно - чи багатошпиндельного напівавтомата може бути вирішене без складних розрахунків, за допомогою графіків та діаграм, що встановлюють межу економічного використання цих верстатів при різних програмах випуску виробів. У кожному конкретному випадку, вибираючи модель, користуються паспортами верстатів, а за їх відсутності — каталогами металорізального та іншого обладнання.

## **5.12 Технічне нормування виконання операцій**

Технічне нормування являє собою встановлення технічно обґрунтованих норм витрати виробничих ресурсів (ГОСТ 3.1109-82). При цьому під виробничими ресурсами розуміють енергію, сировину, матеріали, інструмент, робочий час тощо.

При проектуванні технологічних процесів особливо важливим завданням є технічне нормування технологічних процесів, тобто нормування праці.

Нормою часу називають регламентований час виконання деякого обсягу робіт у конкретних виробничих умовах одним або декількома виконавцями відповідної кваліфікації. Звичайно за одиницю обсягу робіт береться технологічна операція.

Норми часу можуть бути визначені різними методами.

### **Дослідно-статистичний метод**

Він припускає встановлення норми часу на всю операцію шляхом порівняння з нормами виконання в минулому аналогічних робіт. Основою цього методу є кваліфікація й особистий досвід нормувальника. Область застосування - одиничне і дрібносерійне виробництва.

### Розрахунково-аналітичний метод.

Сутність цього методу полягає в тому, що нормуються елементи технологічної операції: технологічні і допоміжні переходи і т. ін. Така норма часу називається технічно обґрунтованою.

У залежності від типу виробництва можуть розраховувати або штучно-калькуляційний час  $T_{шт-к}$  або штучний  $T_{шт}$ . Структура цих часів така:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \text{ (хв)},$$

де  $T_{шт} = T_0 + T_d + T_{тех.обсл} + T_{орг.обсл} + T_{від}$

Розглянемо кожен із складових цих часів:

$T_0$  - основний час;

$T_d$  - допоміжний час;

$T_{тех.обсл}$  - час на технічне обслуговування;

$T_{орг.обсл}$  - час на організаційне обслуговування;

$T_{від}$  - час на регламентовані перерви (на відпочинок);

$T_{п.з}$  – підготовчо- заключний час;

$n$  - число виробів у партії;

Сума  $T_0 + T_v$  - називається оперативним часом  $T_{оп}$ .

Основний час при механічній обробці розраховується на кожний технологічний перехід. Ця частина штучного часу витрачається безпосередньо на зміну або визначення стану предмета праці:

$$T_0 = \frac{L_p}{S_{хв}} * i \text{ (хв)},$$

де  $L_p$  - розрахункова довжина обробки, мм (рисунок 5.2);

$S_{хв}$ - хвилинна подача, мм/хв;

$i$  - кількість робочих ходів;

$$L_p = L_{дет} + L_{вр} + L_{пер} \text{ (мм)},$$

де  $L_{дет}$  - довжина оброблюваної поверхні деталі за кресленням, мм;

$L_{вр}$  - довжина врізання інструмента, мм;

$L_{пер}$  - довжина перебігу інструмента, мм.

$L_{вр}$  призначена для забезпечення безпечного входу інструмента в заготовку на робочій подачі, а  $L_{пер}$  – для гарантованого виходу його за поверхню після закінчення її обробки. У випадках обробки не на прохід, свердлення глухого отвору і тому подібних випадках перебіг інструмента може бути відсутнім. Це необхідно враховувати при визначенні розрахункової довжини обробки.

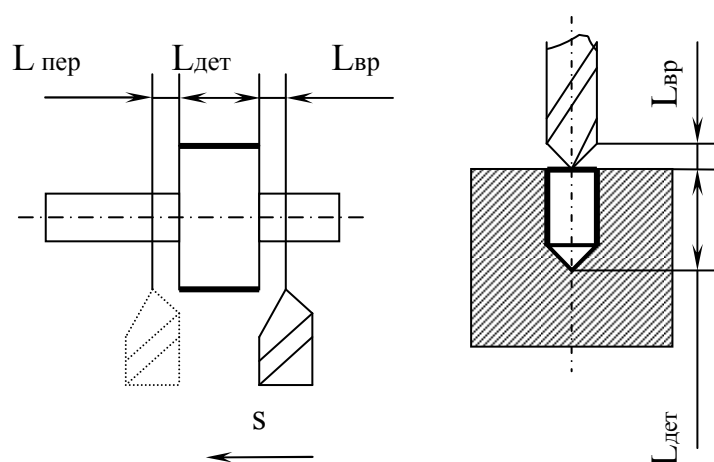


Рисунок 5.2 - Складові розрахункової довжини обробки

Допоміжний час  $T_d$  - частина штучного часу, що витрачається на виконання прийомів, необхідних для забезпечення можливості обробки і подальшого визначення стану предмета праці (установка і зняття заготовки, керування верстатом, вимір розмірів).

Нормування допоміжного часу виконують за допомогою нормативів часу з різним ступенем їх деталізації.

Час обслуговування  $T_{об}$  робочого місця - частина штучного часу, що витрачається виконавцем на підтримку засобів технологічного оснащення в працездатному стані і догляд за ним і робочим місцем.

Обслуговування робочого місця поділяють на організаційне і технічне.

Витрати часу на технічне обслуговування  $T_{\text{тех.обс}}$  передбачають виконання зміни інструмента, що затупився, регулювання і підналагодження верстата та ін.

Час на організаційне обслуговування  $T_{\text{орг.обс}}$  передбачений на догляд за робочим місцем - випробування й огляд обладнання, одержання інструктажу протягом зміни від майстра або бригадира, очищення і змашування обладнання, прибирання робочого місця та ін.

Час технічного й організаційного обслуговування встановлюють за нормативами часу у відсотках від оперативного часу (до 4-8%).

Час на відпочинок і особисті потреби  $T_{\text{від}}$  - частина штучного часу, що витрачається працюючим на особисті потреби і (при стомлювачих роботах) - на додатковий відпочинок. Цей час визначають у відсотках від оперативного часу. Для механічних цехів він приблизно складає 2,5 – 4 % від оперативного часу.

Підготовчо-заключний час  $T_{\text{п.з}}$  - інтервал часу, що витрачається на підготовку обладнання і засобів технологічного оснащення до виконання технологічної операції і упорядкування останніх після закінчення виконання операції. Його призначають на всю партію заготовок, що підлягають обробці на операції. Цей час визначають за нормативами, у які входять налагодження засобів технологічного оснащення; ознайомлення з роботою (кресленням, технологічним процесом, інструкціями та ін.); одержання матеріалів, інструментів, а також на роботи після закінчення обробки партії заготовок - здача виготовлених деталей, зняття з верстата технологічного оснащення, приведення в робочий стан устаткування.

Штучно-калькуляційний  $T_{\text{шт-к}}$  час визначається в одиничному, дрібносерійному й іноді в середньосерійному виробництві для операцій, налагодження обладнання для яких виконує сам робітник.

Штучний час розраховується в тих типах виробництва, де обладнання налагоджує наладчик, а робітник тільки виконує на ньому роботу (середньосерійне, великосерійне і масове виробництво).

Розцінка за виконання операції може бути розрахована за такою формулою:

$$C_{op} = T_{шт} (T_{шт-к}) * C_{г.с} \text{ (грн.)},$$

де  $C_{op}$  – розцінка за виконання операції;  $T_{шт} (T_{шт-к})$  – відповідна норма часу на операцію (годин);  $C_{г.с}$  – годинна тарифна ставка робітника відповідного розряду (грн.).

Крім розглянутого вище по елементного нормування, для встановлення норми часу на практиці іноді застосовують такі методи, як хронометраж і фотографія робочого дня.

За допомогою хронометражу вивчають витрати часу на виконання циклічно повторюваних ручних і машинно-ручних елементів операції. Його застосовують при проектуванні раціонального складу і структури операції, для встановлення нормальної тривалості їх елементів і на цій основі - укладання нормативів для розрахунків технічно обґрунтованих норм часу. Хронометраж також застосовують при вивченні передових методів роботи з метою їх поширення.

Фотографія робочого дня полягає у вивченні і вимірюванні всіх витрат часу шляхом спостереження протягом однієї або декількох змін. При цьому, на відміну від хронометражу, фіксують витрати, не тільки пов'язані з виконанням операції, а і з організацією виробництва (тимчасові простої з різних причин: відсутність заготовок, інструмента і т.п.).

### ***Питання для самоперевірки***

1. Принципи проектування технологічних процесів.
2. Вихідна інформація для проектування технологічних процесів.
3. Послідовність етапів проектування технологічних процесів.
4. Принципи проектування технологічних процесів.
5. Вихідна інформація для проектування технологічних процесів.

6. Послідовність етапів проектування технологічних процесів.
7. Методи проектування технологічних процесів.
8. Визначення типу виробництва, партії запуску, такту випуску.
9. Технологічність конструкції. Приклади реалізації.
10. Призначення методу виготовлення вихідної заготовки.
11. Формування маршруту обробки заготовки.
12. Методи призначення припусків на обробку.
13. Сутність дослідно-статистичного методу.
14. Вибір обладнання та технологічного оснащення.
15. Технічне нормування. Способи. Межі використання.

## **Тема 6. Технологія виготовлення деталей типу круглих стержнів.**

6.1 Класифікація валів і методи виробництва заготовок.

6.2 Технологія обробки ступеневих валів.

6.3 Характеристика способів зовнішнього шліфування вала.

6.4 Особливості технологічних завдань під час виготовлення важких валів.

6.5 Технологія виробництва гладких валів і виробів з центральними отворами.

6.6 Технологічний контроль.

### **6.1 Класифікація валів і методи виробництва заготовок**

Основними конструктивними різновидами деталей розглядуваного типу є вали: гладкі, ступеневі й фланцеві. Найбільше розповсюджені ступеневі вали, які виконують із стовщеною частиною посередині чи з одного кінця.

Фланцеві вали зустрічаються переважно у важкому машинобудуванні (гідротурбобудуванні) і виготовляються звичайно порожнистими. Особливу групу складають колінчасті й кулачкові вали. Залежно від потрібної точності обробки посадочних розмірів розрізняють чотири види валів: особливо точні, підвищеної, нормальної та зниженої точності.

Шийки валів можуть мати шпоночні пази, шліци або різьбу. При переході від одного ступеня до іншого передбачаються канавки чи галтелі. Враховуючи, що обробка галтелі дуже складна, в усіх випадках, коли це допустимо, треба передбачати канавки. З технологічних міркувань торці вала доцільно забезпечувати фасками. Кожний вал може бути жорстким або нежорстким залежно від відношення його довжини  $l$  до величини діаметра  $d$ . Прийнято вважати вали жорсткими, для яких  $l \leq 15d$ , і нежорсткими –  $l > 15d$ .



Величина овальності й конусності шийок вала повинна знаходитися в межах допусків на їх діаметри. Биття посадочних шийок відносно бази не повинне перевищувати 10...30мкм, а осьове биття упертих торців або уступів бути більше 0,01мм на найбільшому радіусі. Відхилення від паралельності шпоночних канавок або шліців відносно осі вала не повинно перевищувати 0,1мкм/мм (0,1мкм на 1мм довжини), допуски на довжину ступенів – 50...20мкм, а допустима скривленість осі вала – 0,03...0,05мм/м.

Вихідним матеріалом для валів у загальному машинобудуванні служить сталь марок 40 і 45, а для відповідальних використовують легувальні конструкційні сталі (хромонікелеві, хромисті, хромонікелемолібденові). Застосовують також перлітні ковкі чавуни, а також чавуни, які модифіковані магнієм, для виготовлення спеціальних деталей (прокатні валки, шпинделі великих металорізальних верстатів). Вказані матеріали зносостійкі й володіють властивостями демпфірувати коливання.

В умовах масового і великосерійного виробництва заготовки для валів штампують у закритих штампах на молотах або пресах з наступним обрізуванням обля. Заготовки ступеневих валів виконують на ротаційно-кувальних машинах і поперечно-гвинтовим прокатуванням, а з одnobічним утовщенням – на горизонтально-кувальних машинах і методом електровисадження.

Крім того, для вказаних валів з невеликим перепадом діаметрів ступенів використовують гарячекатаний прокат. Відносно виробництва гладких валів, то заготовкою служить калібруючий прокат діаметром до 100мм. Критерієм вибору методу отримання заготовки є порівняння собівартості процесів отримання заготовки та механічної обробки порівнюваних варіантів.

В умовах одиночного чи дрібносерійного виробництва заготовки для валів виконують вільним куванням. Вихідним матеріалом для кованих заготовок є круглий прокат, що стосується великих валів, то заготовки для

них отримують вільним куванням із злиwkів або електрошлаковим зварюванням з попередньо підготовлених елементів.

Враховуючи, що в ряді випадків кривизна прокату і поковок досягає 5мкм/мм, виникає необхідність правки заготовки з метою зменшення припусків на механічну обробку. Застосування цієї операції сприяє зменшенню кривизни заготовки на 0,5...1,0мкм/мм.

## **6.2 Технологія обробки ступеневих валів**

Технологічний процес обробки та використовуване обладнання залежать від конфігурації, розмірів і жорсткості валів, а також обсягу випуску. Нижче розглянемо технологію обробки ступеневих і гладких валів.

При однобічному розміщенні ступенів і довжини валів до 120мм обробку здійснюють на пруткових револьверних верстатах, виконуючи при цьому усі чорнові та чистові переходи до відрізки деталі. Обточування кінця вала під різьбу здійснюється за допомогою люнетної тримачки, що зменшує вібрацію та віджим прутка під час обробки. На рис. 6.1 наведено налагоджування револьверного верстата для обробки вала із каліброваного прутка.

Заготовки з прутка для ступеневих валів довжиною більше 120мм обробляють в центрах за наступним маршрутом: почергове або одночасне фрезерування торців заготовки; зацентрування її з двох боків; попереднє обточування заготовки (звичайно з двох установ); чистове обточування; попереднє шліфування шийок; фрезерування шпоночних пазів або шліців; свердління отворів; нарізання різьб; термічна обробка; остаточне шліфування шийок.

У свою чергу, технологія обробки нежорстких валів ускладнюється через введення додаткових операцій проточування та шліфування шийки під люнет, а також проміжної правки у випадку, коли вона допускається технічними умовами. При кожному технологічному переході механічної

обробки заготовки похибка її закономірно зменшується. На підставі відміченого положення кількість переходів для обробки елементарної поверхні визначається точністю отримання заготовки та вимогами, що ставляться до готової деталі.

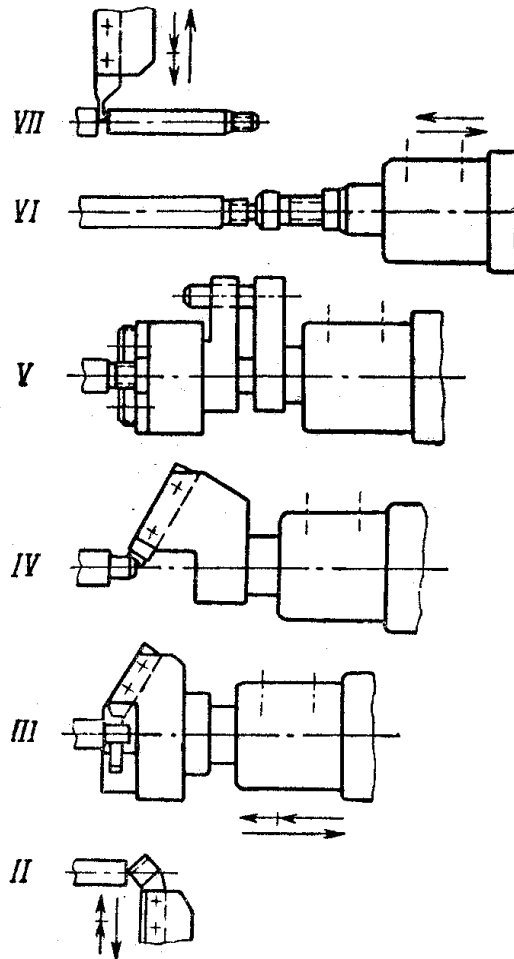


Рисунок 6.1 – Технологічна схема валів на токарно-револьверному верстаті:

II – підрізання торця; III – обточування кінця вала під різьбу; IV – знаття фаски; V – нарізання різьби; VI – відкріплення, подача до упора та закріплення прутка; VII – відрізка

Биття посадочних шийок відносно базуючих усувають обробкою з одного установка заготовки. При виконанні більшості операцій за бази приймають центрові гнізда заготовки. Для порожнистих валів повинна бути забезпечена концентричність зовнішніх поверхонь відносно посадочних

ділянок центрального отвору. Базування порожничих валів виконують на центрові пробки або конічні фаски отвору. Для забезпечення паралельності шпоночних пазів або шліців відносно осі валів обробка повинна здійснюватися з установленням на центрах і в призмах або centruючих втулках при умові точної обробки базуючих шийок відносно осі центрових гнізд.

Для масового й великосерійного виробництва операції фрезерування та зацентрування торців виконують за двома варіантами:

- для валів більших розмірів застосовують фрезерувально-центрові напівавтомати, що обробляють заготовки діаметром до 125мм і довжиною до 500мм, і фрезерувально-центрові напівавтомати барабанного типу, призначені для заготовок діаметром до 60мм і довжиною до 825мм;

- для валів діаметром до 50мм і довжиною до 525мм фрезерування торців здійснюють на двобічних торцево-фрезерувальних автоматах, а центрування – на двобічному центрувальному автоматі.

У серійному і дрібносерійному виробництві зазначені операції виконують на фрезерувально-центрувальних верстатах моделі ФЦ–1 і ФЦ–2. Необхідно відмітити, що здійснюється також роздільне фрезерування торців на горизонтально - або поздовжньо-фрезерувальних верстатах, а центрування – на дво - або однобічному технологічному обладнанні.

З метою забезпечення точності й шорсткості, що передбачені технічним стандартом, торці валів піддають однопроходній обробці. Як приклад, розглянемо типову для серійного виробництва схему обробки торців на горизонтально-фрезерувальному верстаті з перекладанням заготовок (рис. 6.2).

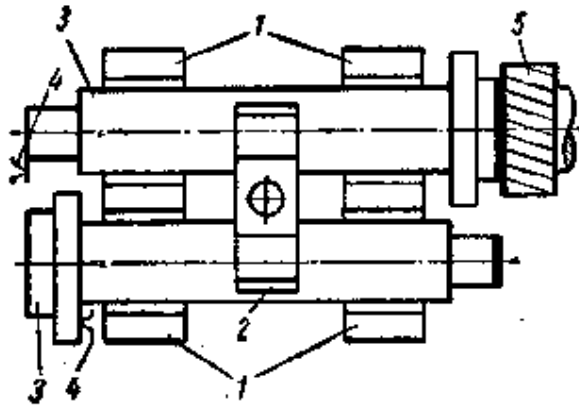


Рисунок 6.2 – Схема фрезерування торців двох заготовок на горизонтально-фрезерувальному верстаті: 1 – установочні призми; 2 – затискаюча планка; 3 – оброблювані заготовки; 4 – упори; 5 – фреза

Після кожного ходу стола верстата із другої позиції знімається підрізана з двох боків заготовка, а інша перекладається у звільнену позицію. При цьому в першу позицію установлюється нова заготовка для здійснення підрізки першого торця. Установлення для фрезерування торців виконують в призмах з фіксацією заготовки в поздовжньому напрямку базовим уступом, якій розміщується по можливості посередині заготовки. У цьому випадку забезпечуються рівні припуски на обробку кожного торця та глибини центрових гнізд при виконанні фрезерування торців і зацентрування в одну операцію. При роздільному зацентруванні на двобічному верстаті за базу приймають також уступ або один з оброблених торців. Центрові гнізда виконують без або із запобіжним конусом для захисту від випадкових пошкоджень.

Чорнове й чистове обточування в масовому й великосерійному виробництві виконують на токарних багатшпindelних вертикальних напівавтоматах, одношпindelних багаторізцових напівавтоматах, а також токарних гідрокопіювальних. У серійному та дрібносерійному виробництві для виконання аналогічних операцій механічної обробки застосовують токарні гідрокопіювальні напівавтомати, токарні верстати, обладнані гідрокопіювальними супортами, а також звичайного типу. Застосування

гідрокопіювального супорта в порівнянні з звичайними токарними верстатами дозволяє скоротити допоміжний час в 3...4 рази, а штучний – у 2,5...3,0 рази. Малий підготовчо-заклучний час дозволяє їх використовувати при обробці партії в три - чотири заготовки.

При побудові технологічного процесу механічної обробки доводиться робити вибір між обробкою на горизонтальному одношпindelному багаторізцовому та гідрокопіювальному напівавтоматах. У порівнянні з обточуванням на звичайних токарних верстатах багаторізцове при будь-якому варіанті має переваги щодо витрат основного часу. Найбільш ефективною є побудова операцій зазначеного виду обробки за методом розподілу її довжини. При цьому кожна шийка вала обробляється за один

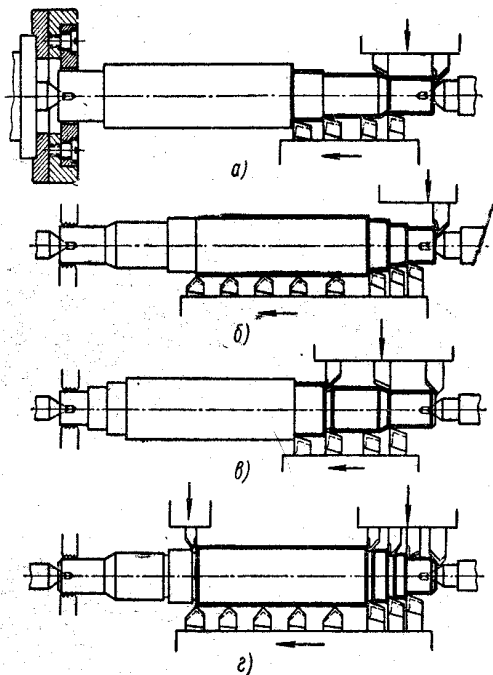


Рисунок 6.3 – Схема обточування заготовки на багаторізцовому напівавтоматі:

- а – чорнове обточування одного кінця; б – чорнове обточування другого кінця; в, г – чистове обточування кінців валів в аналогічній послідовності

прохід і основний час визначається по різцю, що обробляє найбільш довгу ділянку вала.

Під час обробки на багаторізцовому напівавтоматі довжину ділянок, на яких працюють прохідні різці, слід по можливості встановлювати однаковою. Обробку довгих ступенів можна виконувати кількома різцями одночасно. Для багаторізцевого обточування найбільш доцільна така конструкція заготовки, коли її ступені розміщуються по зростаючому або спадаючому ступені від одного кінця до іншого (рис. 6.3).

Разом з цим за продуктивністю багаторізцове обточування не завжди має переваги перед застосуванням

гідрокопіювальних напівавтоматів. Це пояснюється великими витратами

підготовчо-заключного часу та часу технічного обслуговування на багаторізових верстатах, а також підвищеною швидкістю різання на гідрокопіювальних.

Кількість різців лімітується жорсткістю заготовок, потужністю верстата та складністю конструкцій різцетримачів. Це обмежує застосування багаторізових напівавтоматів у масовому й серійному виробництві.

Серед переваг обточування на гідрокопіювальних напівавтоматах необхідно відмітити наступні. Час на налагоджування та підналогджування внаслідок зменшення кількості різців і простоти устанавлення копіра менший в 2...3 рази і складає для налагоджування середньої складності 30...35 хв. При чистовій обробці на гідрокопіювальних верстатах забезпечується більш висока точність. Крім того, висока чутливість слідкуючої системи забезпечує відповідність розмірів оброблюваної заготовки та копіра; вплив відтиснень в пружній системі незначний через малу кількість різців; виключаються неточності взаємного положення різців і нерівномірність їх зносу. Особливо доцільно застосовувати гідрокопіювальне обточування для валів нежорсткої конструкції та чистового точіння валів з довгими шийками, які через високі вимоги до шорсткості поверхонь не можна обробляти при багаторізових настроюваннях методом розподілу довжини.

При індивідуальному виробництві виготовлення вала здійснюється на звичайних токарних верстатах. Зацентрування великих валів виконують за розміткою, а обробку – з кріпленням у патроні та устанавленням іншого кінця вала в люнеті. При цьому шийку під люнет обробляють, устанавлюючи вал в патроні з піджимом заднім центром.

### **6.3 Характеристика способів зовнішнього шліфування вала**

Шліфування шийок валів виконують в дві операції – попередню і чистову. Вали шліфують на круглошліфувальних верстатах методом поздовжньої подачі (на прохід) або поперечним врізанням з устанавленням

заготовки в центрах. Крім того, шліфування ступеневих валів здійснюється також на безцентрово-шліфувальних верстатах.

Обробка валів за другим методом відрізняється високою продуктивністю, особливо при використанні набору кругів під час шліфування декілька шийок вала одночасно. Врізне шліфування широким профільним кругом застосовують для одночасної обробки кількох близько розміщених поверхонь, при цьому загальна ширина круга не перевищує 250мм.

Найбільш раціональний цикл зазначеної операції з точки зору продуктивності, точності й шорсткості оброблюваної поверхні передбачає такі етапи: 1 – швидке підведення шліфувального круга; 2 – уповільне підведення круга до точки зустрічі; 3 – врізання; 4 – усталене зняття металу; 5 – реверсування; 6 – чистове шліфування; 7 – відведення шліфувального круга.

Включення етапу реверсування в цикл шліфування дозволяє скоротити час обробки за рахунок швидкого переходу від значних деформацій технологічної системи при встановленому процесі до невеликих пружних деформацій при чистовому шліфуванні. При виконанні шліфування кількома кругами на точність обробки впливає їх неоднорідність, коливання величини припусків і пружні віджаття елементів системи.

Одночасне шліфування шийки й торця виконують на торцешліфувальних верстатах з нахилом круга. При обробці в жорстких центрах, коли допустима зміна осьового положення заготовок залежно від глибини їх зацентрування, застосовують верстати з перпендикулярним переміщенням бабки. На верстатах з кутовим переміщенням шліфувальної бабки можна більш точно витримувати лінійний розмір від базового торця, при цьому передній центр повинен бути плаваючим. Крім того, вказані елементи можна обробляти на звичайному круглошліфувальному верстаті.

Для підвищення продуктивності праці на даних операціях передбачають контроль розмірів у процесі обробки, що виключає



необхідність зупинки верстата для вимірювання. У даний час розроблено багато конструкцій пристроїв для контролю на ходу, які передбачають автоматичне відключення подачі при досягненні заданого розміру. Оскільки точність форми шийок залежить від стану центрових гнізд, то перед чистовим шліфуванням вводять додаткову операцію їх виправлення за допомогою конусного абразивного круга.

При шліфуванні передбачені канавки на поверхні деталі для виходу шліфувального круга. Для полегшення обробки ділянки вала однакового розміру, але з різними посадками необхідно розмежовувати канавками. Якщо з умов міцності вони недопустимі, то на розмір, що визначає відстань посадки, призначають широкий допуск у межах 3...5мм.

Безцентрове шліфування здійснюється із наскрізною (на прохід) або поперечною подачею (врізанням). Жорсткість технологічної системи при відміченому виді обробки вища в порівнянні з круговим шліфуванням (2...3 рази). Це сприяє підвищенню режиму різання в 1,5...2,0 раза, полегшується завдання обробки нежорстких валів. Разом з тим при шліфуванні на центрах можна отримати більш круглі шийки та високу співвісність ступенів вала.

Обробку однієї шийки вала здійснюють шліфуванням з поздовжньою та поперечною подачею, причому перший вид механічної обробки найбільш продуктивний. Безцентрове шліфування з поздовжньою подачею застосовується у випадку, коли оброблювана більша за діаметром шийка значно довша від інших (рис. 6.4, *a*). При  $l_1 \gg l_2$ , де  $l_1$  – довжина меншої за діаметром, шийки вживають зазначений вид обробки до упору (рис. 6.4, *б*). У випадку шліфування довгих заготовок передбачається осьовий упор, а їх правильне положення та стійкість забезпечуються люнетом (рис. 6.4, *в*).

При одночасному шліфуванні шийок з поперечною подачею ведучий круг робиться ступеневим, якщо довжина шийок приблизно однакова (рис. 6.4, *г*), і прямим, коли більша за діаметром шийка значно довша меншої (рис. 6.4, *д*). У багатокругових наладках обидва шліфувальних круги монтують на одному шпинделі (рис. 6.4, *е*).

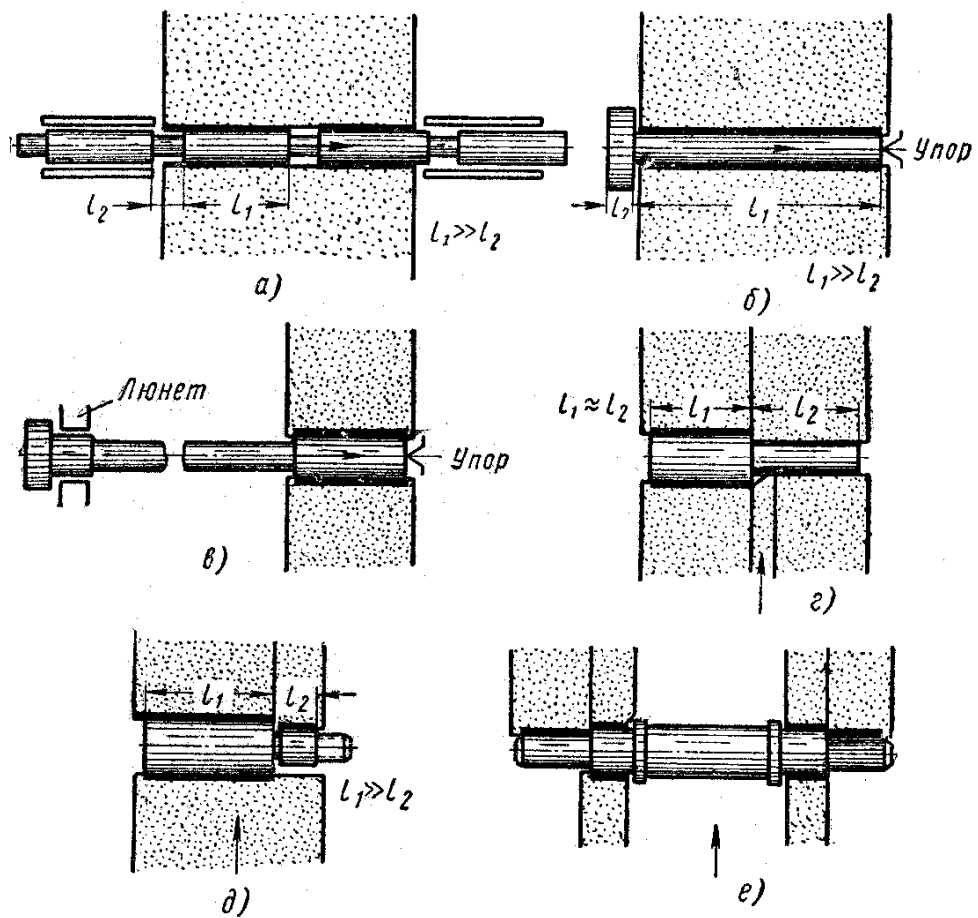


Рисунок 6.4 – Схеми налагоджування при безцентровому шліфуванні ступеневих валів

Направляючі призми або планки під час настроювання верстата повинні бути установлені паралельно утворюючій різальній поверхні шліфувального круга. Відхилення їх у горизонтальній площині в бік шліфувального круга призводить до виникнення в результаті обробки похибки форми: бочко – або сідлоутворення.

Шліфування шліців виконують у випадку, коли центрування вала з втулкою здійснюється по їх дну і бічним сторонам. У результаті такої обробки забезпечується їх симетричність, необхідний радіус дна та паралельність осі вала. Шліфування виконують на шліцешліфувальному верстаті профільним або набором кругів. Вал установлюють на жорстких центрах, а для вивірювання його кутового положення застосовують шаблон.

## **6.4 Особливості технологічних завдань під час виготовлення**

### **важких валів**

До важких умовно відносять вали діаметром більше 200мм і вагою 1т. Конструктивні різновиди й технічні умови їх виготовлення адекватні звичайним валам. Важкі валі в більшості випадків мають центральні отвори, основним призначенням яких є:

1. зменшення ваги (при діаметрі центрального отвору, що дорівнює половині діаметра зовнішньої поверхні, вага зменшується приблизно на 25%);
2. забезпечення можливості взяття проб для дослідження якості матеріалу, яка має суттєве значення для даного типу валів;
3. розміщення у середині вала штоків або інших елементів керуючих або регулюючих пристроїв машини.

Технологічні завдання, що виникають при виготовленні валів, мають свої особливості. Вони пов'язані з виконанням деяких вимог у зв'язку із значними діаметрами фланців, центруючих буртів і великою довжиною деталей.

Заготовки для важких валів отримують вільним куванням на пресах і молотах, а їх вихідним матеріалом є зливки. З метою зняття внутрішніх напружень після кування заготовки піддають відпалюванню та нормалізації. Останнім часом заготовки порожніх валів фланцевого типу отримують електрошлаковим зварюванням із попередньо підготовлених елементів. При цьому досягається велика економія матеріалу та значно знижується трудомісткість послідовної механічної обробки.

Процесу механічної обробки важких валів притаманні такі особливості. Спочатку проводять розмітку заготовки для оцінки її придатності обробці, отримання рисок для свердлування центрального гнізда, а також вивірювання заготовки при установлюванні на верстаті. Зацентрування виконується на

стаціонарному або переносному горизонтально-свердловальному верстаті з установленням заготовки в призмі.

Токарну обробку виконують за кілька установів. Обдирка й послідовна обробка проводиться з кріпленням вала кулачками планшайби чи патрона та встановленням в люнети. Обробку на центрах не практикують через знос центрових гнізд, викликаного великою вагою та значною тривалістю токарної операції.

При кожному новому установленні здійснюють вивірку заготовки на биття за допомогою індикатора. Для цієї мети часто обробляють спеціальні контрольні пояски, а усунення биття досягають переміщенням кулачків патрона.

У порожнистих валах глибоке свердлування виконують після попередньої токарної обробки зовнішніх поверхонь. Це викликано тим, що для вивірювання при установленні заготовки на верстаті перед виконанням вказаної операції повинні бути підготовлені бази. При розрахунку припусків на послідовну обробку зовнішніх поверхонь з базуванням за отвором необхідно враховувати відведення осі вала при глибокому свердлуванні. Необхідно також відмітити, що при встановленні в чотирикулачковому патроні з піджимом заднім центром вивірювання на биття виконують з боку патрона.

Остаточна обробка шийок діаметром до 300...350мм здійснюється на шліфувальних верстатах. Крім того, на них обробляють поверхні валів, які гартовані на високу твердість. Щодо більших валів, то їх обробка виконується широким пружинистим різцем або ущільнюючим роликком.

В умовах автоматизованого виробництва вали обробляють на спеціальних і переналагоджуваних автоматичних лініях, які компонуються з універсальних і спеціальних верстатів, а також з'єднаних між собою транспортерами, завантаженими пристроями, засобами активного контролю та блокування.

Як приклад розглянемо лінію, яка призначена для повної механічної обробки ротора, запресування вала в останній, остаточне обточування ротора в зборі та балансування зібраного вузла. На ній обробляють вісім типорозмірів валів довжиною 344 – 523мм, вона складається із двох ділянок. На першій ділянці виконується фрезерування торців вала, його зацентрування та обточування на двох багаторізцевих верстатах, попереднє безцентрове шліфування, накатування, рифлення, остаточна обробка на безцентрово-шліфувальному верстаті та фрезерування шпоночного паза. На другій ділянці виконують запресування вала в ротор на гідравлічному пресі, обточування ротора та балансування його разом з валом.

Існують лінії для обробки первинних валиків автомобілів різної вантажопідйомності, вагонних осей, поршневих пальців та інших деталей.

Лінія з обробки поршневих пальців базується на застосуванні безцентрово-шліфувальних верстатів. У цьому випадку вирішення питання транспортування деталей і передачі їх в зону обробки не викликає труднощів. Для цієї мети на попередніх операціях шліфування застосовують роликові транспортери з переміщенням деталей від сили поздовжньої подачі, а на остаточних – ланцюгові. При установці в центрах подача заготовок залежить від траси транспортування, яка може бути розміщена неоднаково до лінії центрів верстата. Залежно від неї вибирають вид і конструкцію маніпулятора.

## **6.5 Технологія виробництва гладких валів і виробів з центральними отворами**

Гладкі вали із каліброваної сталі виготовляють за наступним технологічним планом:

1. Відрізка заготовки по довжині й зняття фасок на багато- чи одношпindelних відрізних автоматах або на токарних відрізних верстатах залежно від заданої програми.

2. Попереднє шліфування заготовок на безцентрово-шліфувальному верстаті із наскрізною подачею.

3. Фрезерування закритих шпоночних пазів на шпоночно-фрезерувальних верстатах, відкритих – горизонтально-фрезерувальних і обробки пазів під сегментні шпонки на спеціальних або фрезерувальних верстатах із застосуванням спеціальних пристроїв.

4. Свердління поперечних отворів, якщо вони передбачені конструкцією, на багато- або одношпindelних свердлувальних верстатах залежно від кількості отворів.

5. Термічна або хіміко-термічна обробка (передбачена технічними умовами).

6. Чистове шліфування після термічної обробки на безцентрово-шліфувальних верстатах.

При обробці довгих гладких валів із гарячекатаної сталі попередньо обточують на безцентрово-обточувальних верстатах або шліфують чи обкочують роликми на правильно-полірувальних верстатах з полірувальною головкою. Зазначені верстати без головки служать для правки чорних прутків перед обточуванням. Крім того, виконання даної операції для вказаних прутків і обточувальних валів може здійснюватися також на спеціальних правлячих пресах.

Штампувальні поковки для валів з центральними отворами виконують суцільними, тому отвори в них отримують глибоким свердлуванням після попереднього обточування на центрах зовнішніх поверхонь обертання. Для отворів довжиною  $l \leq 5d$  застосовують спіральні свердла, а при  $l > 5d$  використовують свердла для глибокого свердлування одно- або двобічного різання залежно від діаметра отвору. Для отвору великого типорозміру (більш 80мм) застосовують головки для кільцевого свердлування. Чистова обробка центрального отвору здійснюється за допомогою зенкерів і розгорток або розточувальних різцевих головок залежно від діючих вимог і діаметра отвору. Послідовна обробка зовнішніх поверхонь виконується з базуванням за отвором.

Щодо обробки ступеневих отворів, то вона має певні труднощі. У цьому разі застосовують (при  $l \leq 5d$ ) розточувальні виправки або борштанги (при  $l > 5d$ ) з набором різців для паралельної обробки. Остаточні оброблені отвори служать базовими для шліфування зовнішніх поверхонь.

## **6.6 Технологічний контроль**

Технологічний контроль передбачає перевірку діаметра й довжини ступенів, розмірів шліців і різьб на шийках валів і здійснюється граничними дужками, шаблоном, шліцевими кільцями і різьбовими дужками.

Для перевірки биття шийок вала останній укладають на призму базуючими шийками, а щуп індикатора встановлюють на вимірювальну шийку. Різниця найбільшого й найменшого показань приладу при повороті вручну вала визначає величину биття вимірювальної шийки. Крім того, для перевірки діаметральних розмірів і биття шийок валів відносно базових застосовують також багатомірні індикаторні контрольні пристрої. У цьому разі індикатори настроюють за еталоном і закріплюють в певному положенні. Показання кожного індикатора характеризують відхилення розмірів, а їх різниця – величину биття кожної шийки.

Паралельність шліців осі вала визначають шляхом вимірювання індикатором в двох крайніх положеннях при установленні вала на призмах або центрах. Зазначеною установкою можна користуватися для перевірки биття гребнів і западин шліців, виконуючи вимірювання за діаметрально протилежними показниками.

Контроль важких валів здійснюють переважно на верстатах. Зокрема, правильність геометричної форми шийок перевіряють за допомогою індикатора на токарному верстаті; діаметральні розміри шийок контролюють дужками з мікрометричними наконечниками; перевірку концентричності суміжних шийок виконують спеціальним поворотним індикаторним пристроєм, а площинність фланців – точно пришаброваною лінійкою.

Прямолінійність твірної конуса перевіряють лекальною лінійкою на просвіт і щупом.

### *Запитання для самостійного контролю*

1. Наведіть класифікацію валів з конструктивних міркувань та точності
2. Які застосовують методи отримання заготовки валів для різних типів виробництва?
3. У чому полягає технологічний процес обробки ступеневих валів?
4. Назвіть технологічне обладнання для виконання механічної обробки вала
5. Які переваги притаманні обточуванню на гідрокопіювальних напівавтоматах?
6. Дайте характеристику методів зовнішнього шліфування елементів вала
7. У чому сутність застосування безцентрового шліфування?
8. Назвіть особливості процесу механічної обробки важких валів
9. Яка специфіка обробки важких валів в умовах автоматизованого виробництва?
10. Який технологічний маршрут виготовлення гладких валів?
11. Наведіть технологію обробки отворів вала
12. У чому полягає здійснення технологічного контролю деталей типу круглих стержнів?



## **Тема 7. Обробка корпусних деталей.**

- 7.1 Призначення корпусних деталей і технологічні завдання, що виникають у процесі їх виготовлення.
- 7.2 Матеріали й види заготовок.
- 7.3 Вибір і обробка базових поверхонь.
- 7.4 Технологічний процес обробки корпусних деталей.
- 7.5 Обробка площин корпусних деталей.
- 7.6 Технологічне обладнання для обробки базових і основних отворів.
- 7.7 Особливості розточування отворів по кондуктору і без нього.
- 7.8 Вплив похибок на точність обробки отворів.
- 7.9 Обробка кріпильних отворів корпусних деталей. Особливості технічного контролю отворів.

### **7.1 Призначення корпусних деталей і технологічні завдання, що виникають у процесі їх виготовлення**

Корпусні деталі призначені для монтажу в них механізмів машин. Прикладом цього виду деталей можна відзначити корпуси редукторів різного типу, коробки швидкостей, блоки циліндрів двигунів компресорів та ін. Для корпусних деталей характерна наявність систем точно оброблених отворів, координованих між собою й відносно площин.

Серед усієї різноманітності корпусних деталей можна умовно виділити два їх різновиди: призматичного й фланцевого типу. Для деталей першого типу характерна наявність розвинених зовнішніх площин і основних отворів на кількох осях. У деталей фланцевого типу площини звичайно є торцевими поверхнями основних отворів і мають виточки чи западини, що визначають їх обробку точінням. Вказані деталі за умовами складання часто виконують різніми в діаметральній площині основних отворів (наприклад, корпуси редукторів) або з від'ємною кришкою, де монтується друга опора вала (наприклад, картери роздатних коробок).

При обробці корпусних деталей повинні бути забезпечені в установлених межах: паралельність та перпендикулярність осей основних отворів відносно

одного щодо іншого та плоских поверхонь; співвісність отворів для опор валів; задані міжосьові відстані; правильність геометричної форми отворів; перпендикулярність торцевих поверхонь до осей отворів; прямолінійність плоских поверхонь.

Технічні умови на виготовлення корпусної деталі встановлюють її точність та поля допусків форми й розміщення поверхонь. Так, неспіввісність отворів допускають в межах половини допуску на діаметр меншого отвору, а їх конусність і овальність не більше 0,5...0,7 поля допуску на відповідний діаметр.

Для циліндричних зубчастих передач з міжосьовою відстанню 50...800мм при різних видах спряжень рекомендується допуск від  $\pm 25$  до  $\pm 280$ мкм. Міжосьовий кут конічних передач витримують в межах  $\pm 18$ ...  $\pm 210$ мкм на довжині твірної подільного конуса 50...800мм. Відхилення черв'ячних передач з міжцентровою відстанню 40...630мм складають  $\pm 30$ ...  $\pm 210$ мкм. Непаралельність осей отворів допускається в межах 0,02...0,05мм на довжині 100мм. Відхилення площини прилягання від прямолінійності допускають 0,05...0,20мм, а неплоскостність третьових поверхонь – 0,05мм на всій довжині. Неперпендикулярність торцевих поверхонь до осей отворів допускається в межах 0,01...0,1мм на 100мм радіуса. У рознімних корпусах незбігання осей отворів з площиною розйому допускається в межах  $\pm 0,2$ мм, а при діаметрі розточування більше 300мм - до  $\pm 0,3$ мм.

## **7.2 Матеріали й види заготовок**

Заготовки корпусних деталей відливають із сірого або модифікованого чавуну, вуглецевих сталей, алюмінієвих сплавів або виконують зварюваними із сталі. Найбільш точними є методи лиття по виплавлених моделях і в оболонкові форми, але зазначені виробництва більш дорогі порівняно з іншими. Вказані методи застосовують для отримання складних зливок з жорсткими вимогами до точності й шорсткості необроблених поверхонь. Так, за виплавленою моделлю отримують робочі порожнини складної конфігурації в корпусах відцентрових насосів. Зливки з алюмінієвих сплавів найбільш часто отримують литтям в кокіль з пісчаними стержнями.

При виконанні складних алюмінієвих корпусних деталей (наприклад, блоків циліндрів) литтям під тиском досягається висока точність розмірів, усі отвори отримують в зливки та піддають тільки відділочної обробці. Інколи виявляється доцільним замість однієї складної алюмінієвої відливки виконувати за допомогою лиття під тиском окремі секції, а потім їх збирати методом паяння.

Зварювальні корпуси застосовують замість литєвих у випадку, коли суттєве значення має зменшення ваги за рахунок можливості отримання товщини стінок на 30...40% тоншими.

Заготовки після дробо- та піскометного очищення підлягають випробуванню на щільність або герметичність. Деталі, що працюють під тиском, після обробки основних поверхонь підлягають повторній гідспробі.

Для успішного протікання технологічного процесу важливе дотримання у заготовках корпусів допусків на розміри, припусків на обробку, а також відсутність дефектів на поверхнях, особливо базових на основі добре поставленого контролю заготовок.

### **7.3 Вибір і обробка базових поверхонь**

Сполучення установочної, вимірювальної та складальної баз при постійності вибраної бази в значній мірі полегшують вирішення складних технологічних завдань, що виникають при обробці корпусів.

При виготовленні зазначених деталей широке розповсюдження отримав метод базування за площиною та двома отворами (рис. 7.1). У деталях призматичного типу використовується площина і два отвори невеликого діаметра, оброблені розгортанням, а фланцевого – торець фланця, один отвір великого типорозміру (основний отвір або виточка в торці), другий малого діаметра (у фланці).

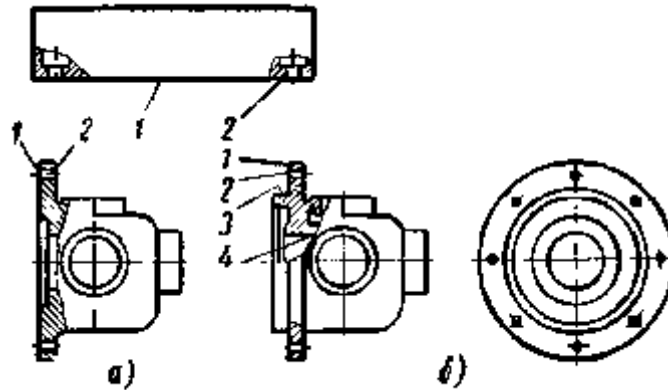


Рисунок 7.1 – Базові поверхні корпусних деталей:  
 а – поверхні 1 і 2; б – поверхні 1, 2 і 3 або 1, 2 і 4

Корпуси із слабо розвиненими або незручно розміщеними поверхнями обробляють у пристроях – супутниках з використанням інших чорних чи штучно створених поверхонь. При неавтоматизованому виробництві застосовують інші варіанти базування. Так, у верстатобудуванні корпусні деталі часто базуються по напрямних площинах; у важкому машинобудуванні – на шість точок, розміщених в трьох координатних площинах. Основним недоліком цих схем базування є необхідність в зміні баз і переустановлень заготовки для обробки зайнятих при встановленні та закритими затискними елементами пристроїв поверхонь.

Базування по площині та двох отворах забезпечує велику точність обробки порівняно з іншими методами. На першій операції заготовку установлюють по необроблюваним поверхням. У результаті досягається правильне положення базової площини відносно необроблюваних поверхонь і розподіл припусків на деякі поверхні, що обробляються в наступних операціях.

При наявності в деталей кількох основних отворів, що мають досить великі розміри вже на стадії отримання заготовки, найбільш зручно базувати їх по двох отворах з паралельними осями та перпендикулярною площиною (рис. 7.2). Ця схема базування забезпечує доступність поверхонь для механічної обробки, простоту конструкції пристроїв та надійність закріплення. Так, установлення по вертикальній площині (рис. 7.2, а) зручно для порівняно

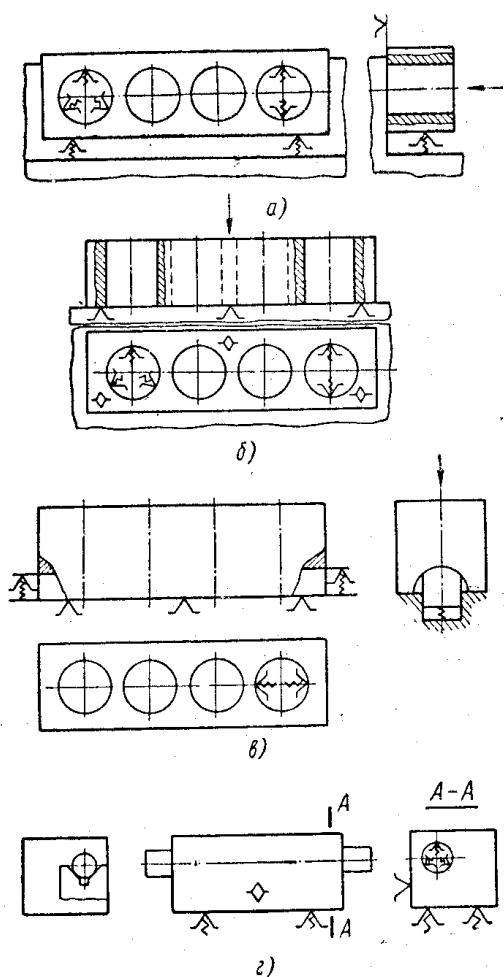


Рисунок 7.2 – Схема базування корпусних деталей по необроблюваних отворах і площині

невеликих корпусів, а більш великі й важкі деталі установлюють на горизонтальну площину (рис. 7.2, б). Якщо в заготовці є одна вісь розміщення основних отворів, то для базування деталей значних розмірів необхідно її використовувати. На схемі (рис. 7.2, в) базування заготовки здійснюється по осі радіусних виїмок, що становлять частину поверхні отвора. В один з перпендикулярних отворів вводиться самоцентруюча оправка з двома точками зіткнення, що діє аналогічно зрізному пальцю. У цьому випадку оправка базує заготовку в поздовжньому напрямку, а опори, що підводяться у виїмках, запобігають зміщенню в поперечному напрямку та поворот відносно вертикальної осі.

Заготовки корпусних деталей з одним основним отвором установлюють на самоцентруючих оправках, кінці яких опираються на призми. Для усунення повороту заготовки на зовнішній або внутрішній поверхні робиться упор (рис. 7.2, з).

Корпусні деталі, зокрема окремі частини розйомних корпусів, у яких основні отвори не зручні для базування або відсутні, встановлюють по внутрішній порожнині (рис. 7.3, а і б) або зовнішній поверхні (рис. 7.3, в).

Установлювальні елементи в подібних випадках можуть бути самоцентруючими (рис. 7.3, з).

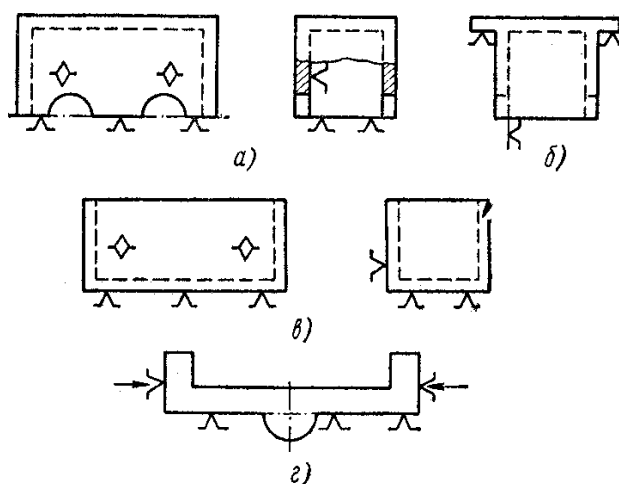


Рисунок 7.3 – Схема базування корпусних деталей на першій операції по необроблюваних плоских поверхнях

При зовнішній обробці корпусів базування по внутрішній поверхні забезпечує отримання заданої товщини стінок. Застосування самоцентруючих пристроїв виключає появу різностінності.

#### 7.4 Технологічний процес обробки корпусних деталей

Технологічний процес виготовлення корпусних деталей включає такі етапи: обробку базової площини при встановленні на чорних базах, а потім базових отворів; обробку системи взаємозв'язаних площин і основних отворів; обробку кріпильних отворів; заключну обробку площин і основних отворів з урахуванням технічних вимог.

Зазначені етапи обробки характеризують тільки напрямок технологічних завдань, які необхідно вирішити. Кожний етап може включати кілька операцій залежно від виду оброблюваних поверхонь, їх розміщення та точності обробки. До переліку операцій, де вирішуються основні технологічні завдання (наприклад, обробляються бази), можуть бути включені такі переходи, виконання яких найбільш зручне в них. Подібні відхилення ускладнюють технологічний процес, але не порушують загальної схеми обробки.

Технологічні процеси виробництва розйомних корпусів додатково включають обробку площин розйому біля основи й кришки; обробку кріпильних отворів у площинах розйому; проміжне складання корпуса.

У дрібносерійному та одиночному виробництві при обробці розглядуваного типу деталей на універсальному обладнанні без пристроїв механічної обробки виконують операцію розмітки заготовки. У процесі її виконання визначається положення осей основних отворів деталі, її площин та інших поверхонь, що враховують доцільний розподіл припусків на обробку. Установлення площин для обробки здійснюють з вивіркою по розміточних рисках. Подальшу обробку виконують при установленні на площинах з вивіркою по них або рисках.

### **7.5 Обробка площин корпусних деталей**

У поточно-масовому виробництві обробку площин корпусів виконують на барабано- і карусельно-фрезерувальних, а також плоско-протяжних верстатах. Для цієї мети в автоматичних лініях застосовують спеціальні поздовжньо-фрезерувальні верстати. У серійному виробництві площини обробляють на поздовжньо-фрезерувальних і поздовжньо-стругальних верстатах.

Заключну обробку, якщо вона необхідна, виконують шліфуванням. При цьому спочатку обробляють базові площини. Одночасно з ними при відповідній побудові операцій можуть бути оброблені інші площини. Схеми побудови операцій обробки повинні передбачати використання усієї площі та повної довжини ходу столу, а також усіх супортів або фрезерувальних головок верстата. Цим може бути досягнута ефективна концентрація переходів з багаторазовим перекриттям у часі.

Площини в автоматичних лініях обробляють методом торцевого фрезерування на агрегатних поздовжньо-фрезерувальних автоматах з одного або двох боків одночасно. Однобічну обробку виконують на вертикально-або горизонтально-шпindelних верстатах, а для двобічної застосовують останній вид обладнання (рис. 7.4). Фрезерувальні головки 4 переміщуються ліворуч до упора 1, здійснюючи чорнову й чистову обробку заготовки, яка зафіксована в

робочому положенні установлювальними пальцями 3. Транспортром 2 в робочу позицію подається наступна заготовка, а фрезерувальні головки переміщуються праворуч і займають вихідне положення.

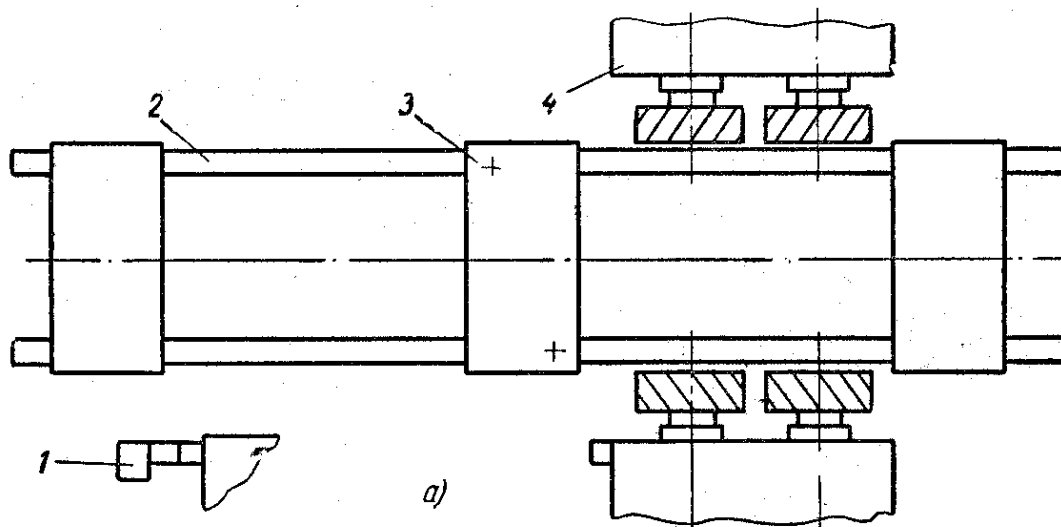


Рисунок 7.4 – Схема обробки в автоматичних лініях двох паралельних площин

Протягування площин корпусних деталей в масовому виробництві виконують на великогабаритних горизонтально-протягувальних верстатах із застосуванням наборів протягувальних плит. Зазначеним видом обробки досягається висока продуктивність, але застосований інструмент дорогий і важко забезпечується площинність. Цей метод застосовують при великому випуску ( $\tau < 2 \text{ хв./шт.}$ ) деталей невеликої ширини та жорсткої конструкції.

У серійному виробництві площини заготовок корпусів обробляють з використанням багатомісцевих схем побудови операцій, в тому числі за методом „перекладання деталей”. Сутність його полягає в тому, що кожна деталь переустановлюється послідовно в кілька положень з таким розрахунком, щоб зробити доступними для обробки поверхні, розміщені з різних боків.

Корпусні деталі, що мають площини значної довжини при невеликій ширині, в тому числі розміщені під кутом, обробляють на верстатах з горизонтально-фрезерувальними головками, які споряджені набором фрез для одночасної обробки кількох поверхонь. У дрібносерійному виробництві такі



поверхні обробляють струганням. Крім того, останній вид застосовується для широких поверхонь, коли потрібні торцеві фрези надмірно великого діаметра.

Поверхні прилягання типу рамок при значній ширині вікна доцільно фрезерувати на верстаті з програмним керуванням, обходячи хвостовою фрезею по контуру. В цьому випадку програмується рух столу при обробці паралельного напрямку подачі боків і рух шпindelної коробки при обробці боків, перпендикулярних до руху подачі.

При більш високих вимогах до точності й шорсткості поверхні вводиться заключна операція – шліфування або тонке фрезерування площини. У дрібносерійному виробництві поверхні шабрють, що суттєво зменшує її неплоскостність. При проектуванні технологічних операцій обробки площин важливо враховувати та по можливості попереджувати появу похибок внаслідок деформації заготовок під впливом сил затискача та різання.

Підвищенню продуктивності праці на обробці плоских поверхонь сприяє додержання під час конструювання корпусних деталей вимог технологічності. Деформація зменшується при наявності ребер жорсткості. Усі оброблювані ділянки на одному боці заготовки слід робити відкритими та розміщувати в одній площині, а на різних боках – у взаємно паралельних і перпендикулярних площинах. Створювана таким чином форма паралелепіпеда відповідає вимогам надійного установалення із додержанням правила постійності бази й робить можливою наскрізну обробку заготовки з двох- трьох боків одночасно кількома фрезерувальними головками або супортами кількох заготовок, які установалені на столі верстата.

## **7.6 Технологічне обладнання для обробки базових і основних отворів**

Обробка базових отворів здійснюється після механічної обробки базової площини на радіально-свердлувальних верстатах із зміною інструменту або на верстаті з двошпindelною свердлильною головкою за допомогою свердла – розгортки. Базові отвори у невеликих заготовках обробляють на трьох позиційних верстатах або автоматичних лініях свердлінням і розсорткуванням послідовно в двох позиціях.

При серійному виробництві у заготовках деталей фланцевого типу площину фланця, центруючу виточку та центральний отвір проточують на токарно-револьверних або карусельно-токарних верстатах. Відносно отвору фланця, то його обробляють на радіально-свердлувальних або багатошпindelних свердлувальних верстатах.

У заготовках невеликого розміру при масовому виробництві для обробки базового торця, виступа та отвору, а також інших поверхонь, доступних для виконання технологічної операції при одному установленні заготовки, застосовують вертикальні багатошпindelні напівавтомати.

Залежно від заданого обсягу випуску обробку основних отворів виконують на універсальних горизонтально-розточувальних або агрегатних багатошпindelних верстатах, які в ряді випадків об'єднують в автоматичні верстатні лінії. Для зазначеної операції використовують наступні інструменти – розгортки, розточувальні блоки й голівки, встановлювані в потрібному комплекті на розточувальних верстатах, а також різці, які розміщені однобічно з точним мікрометричним регулюванням на розмір. При цьому співвісність отворів забезпечується жорсткістю розточувальних скалок і напрямком їх по втулках.

### **7.7 Особливості розточування отворів по кондуктору і без нього**

Точність міжосьових відстаней, паралельність і перпендикулярність осей, а також інші вимоги до розміщення отворів забезпечуються двома методами: обробкою їх з напрямком різального інструменту в кондукторі (метод автоматичного отримання розмірів) і без напрямку останнього з використанням універсальних способів координації положення (метод індивідуального отримання розмірів).

При обробці за першим методом отримання розмірів, тобто з напрямком інструменту, завдання координації вирішується за допомогою розточувального кондуктора (рис. 7.5), який орієнтується на столі верстата шпонками 1. При цьому осі кондукторних втулок 2 розміщують паралельно осі шпинделя 3.

Корпусну деталь установлюють базовою площиною на опорні пластини пристрою і двома отворами на установлюючі пальці 5.

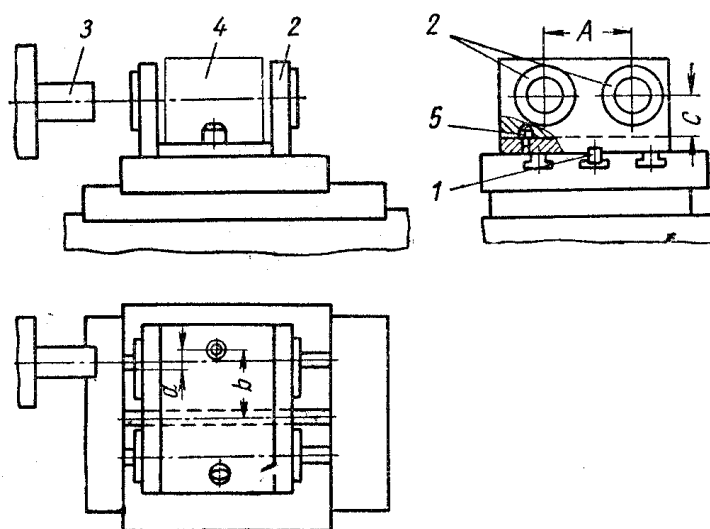


Рисунок 7.5 – Схема установлення корпусної деталі в кондукторі

Задане положення першого отвору в горизонтальній площині (від бічної поверхні або осі другого отвору) витримується за допомогою розмірів  $a$  і  $b$ , а відстань  $A$  і  $C$  забезпечується відповідним розміщенням кондукторних втулок. Розточувальна скалка для обробки отворів на даній осі спрямовується двома втулками. При такому настроюванні системи досягається повна визначеність положення в ній деталі і створюється можливість отримання заданих координат оброблюваних отворів без якої-небудь вивірки.

Обробка отворів без кондуктора потребує попередньої розмітки, яка виконується після підготовки базових площин. За допомогою розмітки створюють вивірочні бази у вигляді кругових рисок, що проходять по середній площині зливки та перпендикулярних до неї рисок, які уявляють осьові лінії основних отворів. Базою для розмітки служать внутрішні порожнини заготовки та оброблені площини.

Розточування отворів по кондуктору здійснюють за допомогою консольної оправки або розточувальної скалки із закріпленим в ній інструментом (рис. 7.6).

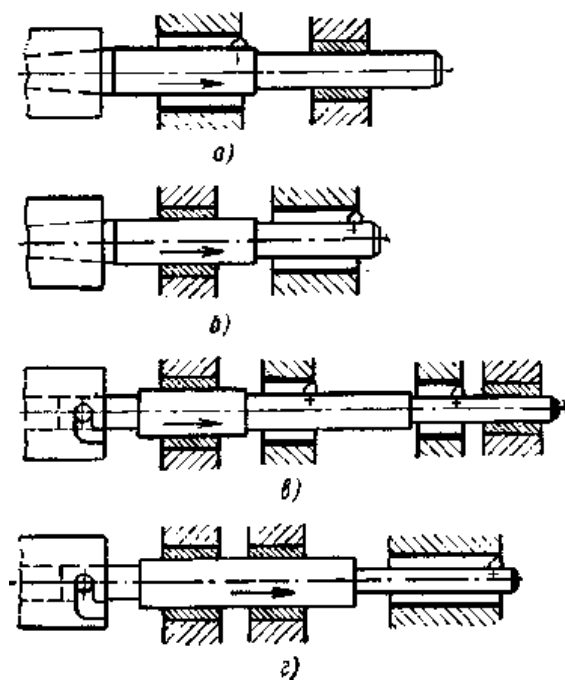


Рисунок 7.6 – Схема обробки отворів по кондуктору: а, б – оправкою з напрямком в однієї кондукторної втулки; в, г – розточувальною скалкою в двох кондукторних втулках

Оправка застосовується для коротких отворів, які розміщені поблизу шпинделя. Вона жорстко з'єднується із шпинделем за допомогою конуса та спрямовується однією кондукторною втулкою, що може знаходитися перед отвором або за ним (рис. 7.6, а і б). В останньому випадку направляюча частка оправки повинна ввійти раніше, ніж інструмент почне різання.

Для обробки отворів великої довжини або в двох віддалених стінках використовують розточувальні скалки, спрямовані двома втулками. Борштанга з'єднується із шпинделем верстата шарнірно. Це викликає необхідність

точного під'єднання осей шпинделя та кондукторних втулок, а також спрощує настроювання верстата (рис. 7.6, в і г).

При масовому та великосерійному виробництві основні отвори корпусів обробляють одночасно з двох або трьох боків заготовки на багатошпindelних верстатах при паралельних і паралельно-послідовних схемах побудови операцій. Потрібне положення отворів забезпечується відповідно розміщеними в агрегатних голівках шпинделями, кожний з яких з'єднується з розточувальною скалкою, що спрямовується кондукторними втулками пристрою. У серійному виробництві обробку отворів здійснюють по кондуктору на горизонтально-розточувальних верстатах. Зазначена операція виконується одним шпинделем, послідовно з'єднаним з розточувальними скалками, кожна з яких споряджена потрібним інструментом для обробки

отворів на своїй осі. Міжосьові відстані та паралельність осей забезпечуються переміщенням столу і напрямком розточувальної скалки по кондуктору. В свою чергу, перпендикулярність осей отворів досягається внаслідок повороту столу верстата та напрямком втулок кондуктора.

З метою підвищення продуктивності праці на розточувальних верстатах застосовують багатошпindelні розточувальні головки, які призначені для одночасної обробки кількох отворів з паралельними осями. Зазначена головка отримує обертання від шпинделя верстата, а її шпинделі, розміщені відповідно до розточувальних отворів, передають обертовий момент розточувальним скалкам.

У масовому виробництві доцільно чорнову й чистову обробку виконувати на двох агрегатних верстатах автоматичної або поточної лінії чи виконувати її в два переходи на двох робочих позиціях верстата. Умови завантаження верстатів при великосерійному виробництві обумовлюють іноді виконання обох операцій на одному багатошпindelному верстаті з незначним його переналагоджуванням.

Основні отвори корпусів невеликих габаритних розмірів можуть бути оброблені на вертикально-свердлувальних верстатах із застосуванням кондукторів і багатошпindelних головок, а також радіально-свердлувальних верстатах за допомогою поворотних кондукторів. При одиночному і дрібносерійному виробництві виконання розточувальних операцій без кондуктора ускладнюється через необхідність координування інструменту при установленні його в положення осі кожного отвора. Так, координація інструменту в процесі обробки отвора за допомогою консольної оправки на верстаті з рухомим столом включає такі прийоми: вивірку розмічених осей корпуса на паралельність осі шпинделя; з'єднання осей шпинделя і першого розточуваного отвору; переміщення після обробки отворів, центри яких розміщені на першій осі, на задану міжосьову відстань; поворот столу для обробки отворів з центрами на перпендикулярній осі.

При розточуванні отворів за допомогою скалки завдання ускладнюється необхідністю сполучення її осі з осями шпинделя та люнетного стояка по

вертикалі. Установлення шпинделя в задане положення першої та всіх наступних осей отворів можливе по координатному шаблону, який має типорозмір отворів, більший від розточуваних з координатами, що точно відповідають заданому розміщенню осей отворів у деталі. При цьому шаблон установлюють на столі верстата перед деталлю або закріплюють на ній. За допомогою індикаторного центрошукача, який установлюється у шпинделі, сполучають осі останнього з отвором в шаблоні. Потім замість центрошукача установлюють в шпинделі оправку з інструментом і розточують отвір на першій осі. У положення другої вісі установлюється шпиндель по другому отвору в шаблоні аналогічно. Точність поєднання осі отвору в шаблоні та шпинделя складає  $\sim 0,05$ мм. Зазначена точність переміщення на задану міжосьову відстань спостерігається на горизонтально-розточувальних верстатах, обладнаних для роботи з програмним керуванням.

Найбільш складною є обробка великогабаритних розйомних корпусних деталей на верстатах з нерухомим столом (розточувальні колонки). При цьому для розйомних корпусів потрібні наступні додаткові прийоми вивірки: на горизонтальне розміщення площини розйому корпуса; розміщення осі шпинделя в зазначеній вище площині; з'єднання осей скалки і шпинделя; перенесення скалки в положення паралельної осі.

Розміщення осі шпинделя в площині розйому корпуса перевіряється вимірюванням відстані від площини розйому до утворюючої оправки, яка установлена в корпус шпинделя. Співосність скалки і шпинделя досягається в результаті перевірки співосності отворів шпинделя і втулки задньої стінки оптичним приладом, а при малих відстанях можлива вивірка співосності шпинделя з втулкою центрошукача, закріпленого в шпиндельній оправці. Перевірку виконують окремо в двох площинах: вертикальній – за однаковими показаннями рівня; горизонтальній – вимірюванням відстані скалки на її кінцях від сторонньої бази, яка установлена паралельно осі шпинделя. При цьому досягається з'єднання осей з точністю 0,02мм на 1м довжини, а при 6м похибка не перевищує 0,06мм. Паралельність осей вивіряють з точністю 15 кутових

секунд. Відхилення від перпендикулярності осей розточувальних отворів складає 0,05...0,1мм на 100мм довжини.

Торцеві поверхні кільцевої форми можуть оброблятися у процесі виконання розточувальної операції, якщо це не зроблено раніше. Торці діаметром 80...100мм обробляють широкою підрізною пластиною при осьовій подачі, а великих розмірів проточують різцем з подачею в напрямку радіуса. Для цього, а також обробки виточок і канавок застосовують супорт з радіальною подачею, який установлюється на планшайбі верстата або скалки.

На агрегатних верстатах і автоматичних лініях одночасно з обробкою отворів можливе підрізання торців, розточування канавок і виїмок, зняття фасок. Ці переходи виконують при радіальній подачі різців у момент витримування розточувальної скалки на упорі по досягненні нею певної глибини.

Розточувальні операції в серійному виробництві можуть бути автоматизовані за рахунок застосування верстатів з програмним керуванням. Завдання програмного керування горизонтально-розточувальними верстатами порівняно просте, бо включає управління кінцевим положення осі інструменту при переміщеннях його в напрямку осей координат без функціональної залежності між ними.

При проектуванні вказаної технології обробки потрібно вирішити ряд специфічних питань, серед яких слід відзначити наступні: підготовку креслення із зазначенням розмірів у напрямку осей координат від їх початку з урахуванням його взаємозв'язку з базами верстата; складання карти установлюваних переміщень рухомих органів технологічного обладнання в черзі послідовності їх виконання; кодування координат установлюваних переміщень.

Корпусну деталь установлюють на столі верстата по базах, положення яких від початку координат відоме. Це сприяє визначенню вихідного положення фотодатчиків переміщень столу поперек і шпинделя уверх. Точність переміщень залежить від аналогічних показників вихідного положення рухомого органу, при якому подається сигнал, а також його реалізації.

Похибка вихідного положення складає 5...10мкм, а при реалізації сигналу залежить від технологічних факторів, зокрема, перебігів по інерції. У зв'язку з цим установлювані переміщення, з метою економії часу, спочатку відбуваються з великою швидкістю, а при переході до часток міліметрів знижують до 3 мм/хв. При такій швидкості стіл верстата має дуже малий запас кінетичної енергії і перебіг складає ~10мкм.

Перехід до обробки іншої заготовки на верстаті полягає в заміні програмоносія. При цьому верстат повністю зберігає свою універсальність. Це робить дану систему цілком придатною та високоефективною в умовах серійного і навіть одиночного виробництва.

Точність обробки отворів по розмірах і формі, а також координат і напрямків їх осей при розточуванні заготовок корпусів залежать від прийнятої технологічної схеми: без кондуктора або по ньому; консольною оправкою або скалкою з опорою в задньому стояку; з подачею столу або шпинделя. Крім того, від схеми обробки залежить ступінь впливу на точність певних параметрів заготовки, геометричних неточностей верстата та податливості його вузлів при робочому ході, а також похибки вивірки й установлюваних переміщень.

Експериментальні дослідження показали, що жорсткість шпиндельної коробки розточувального верстата залежить від кута дії сили  $P_y$  (по осі ординат), яка змінюється при вертикальному переміщенні коробки через знос направляючого стояка. Відносно поперечної жорсткості самого шпинделя, то вона із збільшенням вильоту останнього до повної величини (~100...150мм) знижується незначно, а потім різко.

Внаслідок нерівномірного зносу направляючих жорсткість столу горизонтально-розточувального верстата змінюється залежно від положення його по довжині станини, місця прикладання сили по висоті та напрямку її дії у вертикальній площині. Жорсткість заднього стояка теж залежить від висоти розміщення розточувального отвору. Дану характеристику можна підвищити в кілька разів шляхом закріплення столу після повороту.



У процесі обробки отворів на всі вузли верстата та оброблювану заготовку діють реакції від сил різання, що викликають їх віджаття. При цьому на точність обробки впливає не тільки абсолютна величина жорсткості системи, але і її нерівномірність на довжині робочого ходу, яка, у свою чергу, залежить від прийнятої схеми обробки.

Обробка отворів без кондуктора можлива при незмінному вильоті шпинделя з подачею робочого столу із закріпленою на ньому заготовкою або

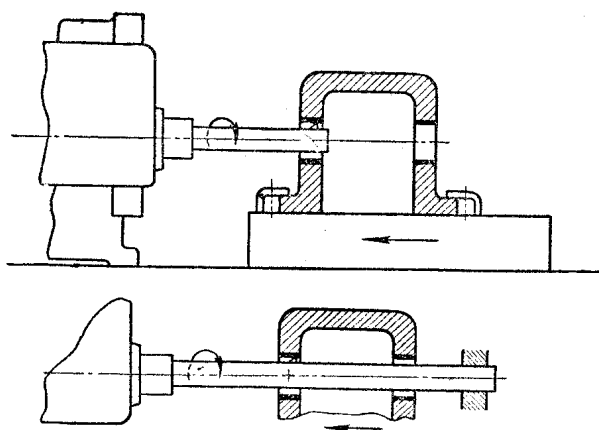


Рисунок 7.7 – Схема розточування отворів без кондуктора з подачею столу

при нерухомому столі в результаті висування шпинделя. При цьому інструмент може бути закріплений в консольній оправці або скалці, що має другу опору в заднього стояка верстата.

При роботі без кондуктора з подачею столу податливість систем „заготовка – стіл” ( $W_{\text{заг}}$ ) і „розточувальна скалка – шпиндельний вузол” ( $W_{\text{інс}}$ ) в

подовжньому напрямку не змінюється за довжиною розточування та форма отвору осьового напрямку не отримує викривлень (рис. 7.7).

Податливість зазначених систем в поперечному напрямку змінюється в міру пересування столу в напрямку подачі і при одному оберті. По побудованих епюрах податливості для відповідних режимних умов обробки може бути визначена похибка форми розточуваного отвору (рис. 7.8).

Величина податливості  $W_{\text{інс}}$  менша при роботі скалкою і великою – консольною оправкою.

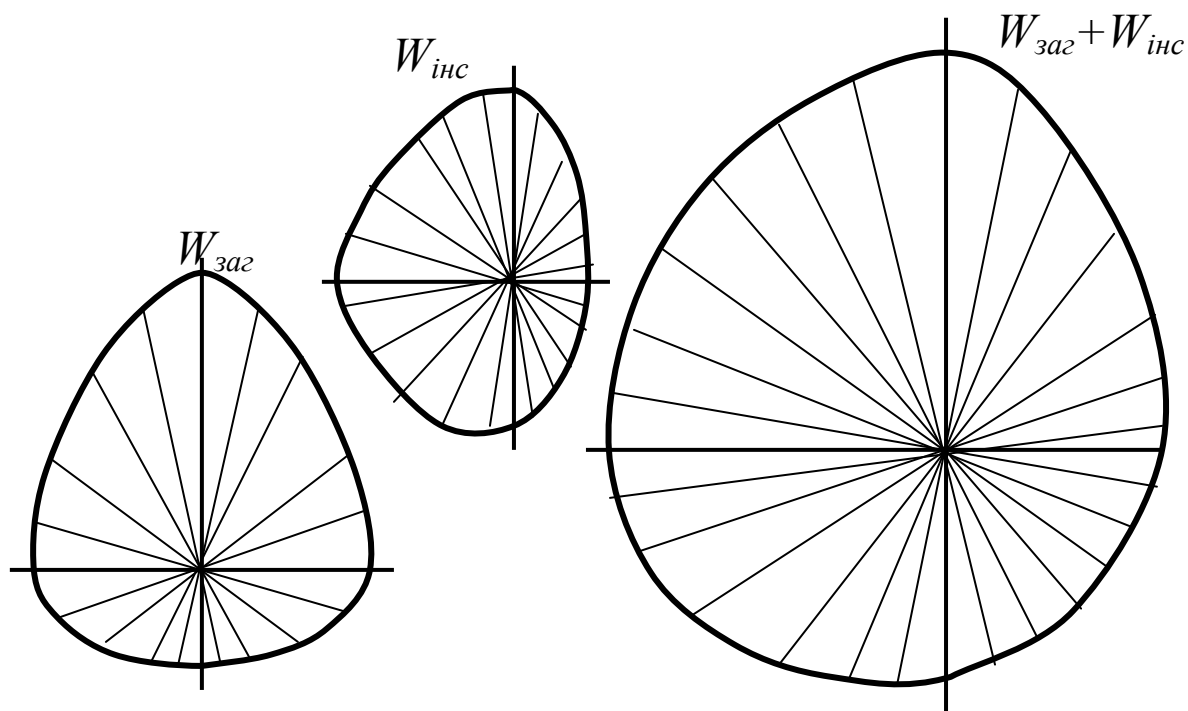


Рисунок 7.8 – Види поєднаної та окремих для розглядуваних систем епюр податливості

При обробці отворів без кондуктора з подачею шпинделя податливість  $W_{заг}$  і  $W_{інс}$  змінюється в поперечному напрямку. Крім того, в міру висування шпинделя спостерігається зміни податливості системи  $W_{інс}$  в поздовжньому напрямку. У цьому разі, похибка форми отвору на усій його довжині буде залежить від меж коливання сумарної податливості  $W_{заг}$  і  $W_{інс}$ , знайденої для кінцевих поперечних перерізів розточуваного отвору (рис. 7.9). Застосування скалки замість консольної оправки можна знизити податливість  $W_{інс}$  і зменшити похибку форми отвору.

При розточуванні по кондуктору (рис. 7.10) шпиндельний вузол не впливає на точність обробки. Податливість  $W_{заг}$ , величина якої у порівнянні з  $W_{інс}$  в нормальних умовах невелика і її характер зміни в поперечному і осьовому напрямках залежить від конструкції кондуктора, конфігурації оброблюваної заготовки та способу встановлення в пристрої. При достатній жорсткості кондуктора податливість інструменту  $W_{інс}$  можна вважати в поперечному напрямку не змінною. У той же час в поздовжньому напрямку

вона змінюється в міру віддалення різця від кондукторної втулки, що приводить до плавної зміни форми утворюючого отвору.

При обробці в кондукторі співосних отворів розточувальною скалкою з

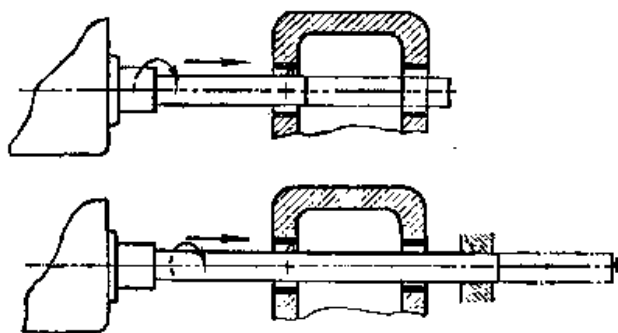


Рисунок 7.9 – Схема розточування без кондуктора з подачею шпинделя

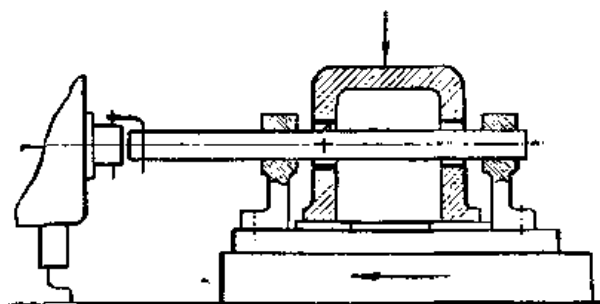


Рисунок 7.10 – Схема розточування по кондуктору

кількома різцями на неї діє система рухомих зосереджених сил. Умови навантаження ускладнюються в результаті неодночасного вступу в роботу та виходу різців із неї і, як наслідок, форма утворюючої отвору отримує стрибкоподібні зміни (рис. 7.11).

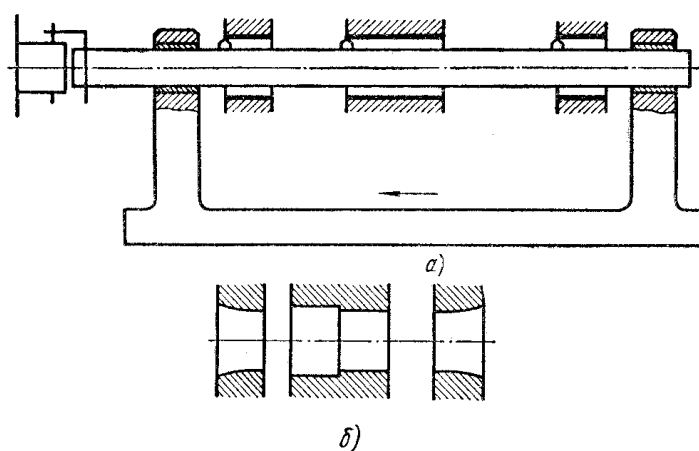


Рисунок 7.11 – Схема розточування співосних отворів (а) і похибки форми отворів (б)

Для досягнення співосності отворів у двох стінках їх обробляють з одного боку наскрізним проходом, а чорнове розточування може виконуватися в кожній стінці окремо. При обробці на агрегатних верстатах доцільно поділяти чорнову й чистову обробки на дві операції, виконувані на двох верстатах автоматичної лінії, або два переходи – двох робочих позиціях агрегатного верстата поточної лінії.

Обробка найбільш важких корпусів на верстатах з нерухожим столом спряжена з великими витратами часу, особливо допоміжного, яке в несприятливих випадках складає 60 – 80% від штучного часу. Розточувальні операції на зазначених верстатах не поділяються на попередні й чистові, а виконуються при одному установленні. Тільки після виконання усіх переходів і по досягненні заданих розмірів і якості поверхонь отворів на одній осі переходять до обробки отворів, центри яких розміщені на наступній.

З метою економії часу бажано застосування короткої розточувальної оправки замість довгої скалки, що потребує тривалої вивірки при установленні в підшипниках заднього стояка. При цьому консольна оправка може бути застосована при  $l \leq (5 \dots 6)d$ , а для корпусів зниженої точності –  $l = (8 \dots 10)d$ , де  $d$  – типорозмір отвору. Іноді точні корпуси попередньо розточують за допомогою консольних оправок, а чистовий перехід в обох стінках – скалки.

Для скорочення трудомісткості обробки заслуговує на увагу застосування паралельного розточування великогабаритних корпусів за допомогою кількох скалок, що приводяться в рух від переносних розточувальних голівок. Їх установлюють на плиті верстата з різних боків заготовки на потрібній міжосьовій відстані, а також монтують люнетні стояки для напрямку скалок. Таким чином створюється збірний стенд типу кондуктора для багатопшпіндельного розточування отворів.

Підвищенню продуктивності праці в процесі обробки основних отворів корпусів сприяє додержання вимог технологічності.

Основні отвори повинні бути наскрізними і по можливості без перетину з іншими отворами та вікнами. Глухі отвори важко обробляти, особливо при значній глибині, а при наявності вікон порушується точність форми отвору в місцях однобічного різання. Співвідношення довжини й діаметра отвору повинні забезпечувати можливість застосування жорсткої розточувальної скалки.

Для серійного виробництва не бажана, а для масового – не припустима обробка з установленням інструменту в скалку через вікна в корпусі при виконанні операції. Тому не слід робити обробку яких-небудь внутрішніх торців, виточок або фасок за зазначеною технологічною схемою.

Канавки в отворах для фіксуючих кілець і закладних кришок (в корпусах з розйомом в діаметральній площині основних отворів) спрощують конструкцію та полегшують складання. При цьому обробка дещо ускладнюється, але вона можлива при застосуванні скалок з пристроєм для радіальної подачі різця.

При обробці співвісно розміщених отворів велике значення має їх розташування (рис. 7.12). Для здійснення механічної обробки з одного боку найбільш зручне розташування отворів по спадаючих розмірах (рис. 7.12, а).

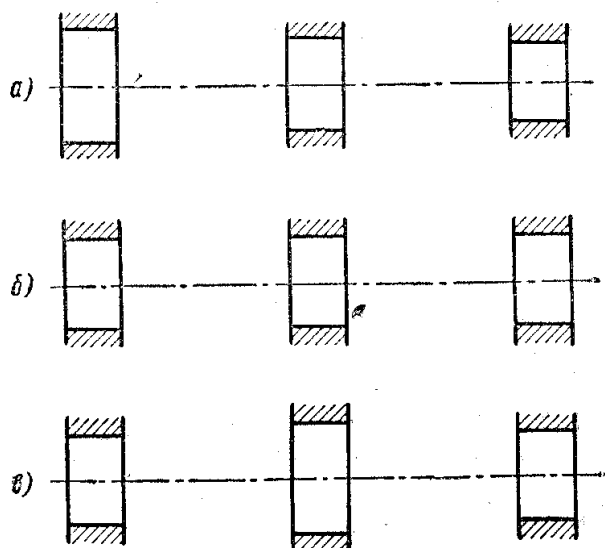


Рисунок 7.12 – Схема розташування отворів різних розмірів на осі

Отвори одного діаметра (рис. 7.12, б) легко й безперешкодно обробляються одним інструментом послідовно в усіх стінках. Для одночасної обробки таких отворів розточувальну скалку з двома різцями потрібно ввести попередньо всередину корпусу. З цієї метою за допомогою спеціального пристрою корпус припіднімається, а після введення скалки він опускається і закріплюється.

Обробка групи отворів з найбільшим розміщеним в середній стінки (рис. 7.12, в), можлива при установленні інструменту в скалку після її введення в корпус. Можливе висування інструменту за допомогою клинового, важільного або іншого пристрою всередині скалки, а також розточування отворів в усіх стінках послідовно скалкою з програмним керуванням. Треба відзначити, що використання агрегатних верстатів для обробки отворів з таким розміщенням не припустиме.

## 7.8 Вплив похибок на точність обробки отворів

Геометричні похибки горизонтально-розточувальних верстатів при певних умовах помітно впливають на точність обробки отворів у корпусних деталях. Вплив їх найбільш відчутний під час обробки, що відбувається в умовах незначного навантаження технологічної системи, тобто при чистовій обробці та обробці заготовок із м'яких матеріалів.

При чорновій обробці зростає вплив силових факторів, а геометричних неточностей в результаті цього знижується. Необхідно відзначити взаємозв'язок похибок, що залежить від геометричних неточностей верстата і відхилень в технологічній системі, так бо податливість верстата змінюється з характеристиками його геометричної точності.

Застосовуючи кондуктор, похибки розмірів, форм і просторового положення отворів залежать від його точності, розточувальної скалки та зазору посадки останньої в кондукторній втулці. Відносно похибки отворів корпусів при розточуванні без кондуктора, то вона залежить від її схеми. При обробці консольною оправкою вплив похибки верстата на точність розміщення осей отвору більший у порівнянні з розточуванням скалкою, бо положення її осі залежить від вивірки.

Непрямолінійність і непаралельність осей розточуваних отворів під час обробки консольною оправкою з подачею на довжину робочого ходу столу значно менша, ніж з подачею шпинделем верстата. Разом з цим при обробці з подачею столу на верстаті із значним і нерівномірним зносом направляючих станини вісь отвора виходить непрямолінійною.

Суттєвий вплив на точність розташування осей отворів відносно базової площини при установленні заготовки безпосередньо на столі чинить неплоскостність робочої поверхні столу, яка у працюючих верстатах досягає значної величини. Так, норми стандарту на геометричну точність нових горизонтально-розточувальних верстатів передбачають отримання похибок форми оброблюваних отворів, що не перевищують в поздовжньому напрямку 0,02...0,04мм, поперечному – 0,025...0,04мм; неперпендикулярність осі отвору

до торцевої площини – до 0,03мм на 300мм, а неплщинність (угнутість) оброблених торців – до 0,02мм на 300мм довжини.

Похибка налагоджування верстата залежить від точності установлення різальних інструментів і пристроїв. Установлення розточувальних різців роблять від зовнішньої поверхні розточувальної скалки. Для цього вона завжди повинна зберігати точність і високу якість поверхні. Різці для попереднього розточування установлюють по жорстких калібрах, а чистового – мікрометричним або індикаторним приладом.

Установлення заготовок в кондукторах відбувається на похибки розмірів, що зв'язують установлювальні й вимірювальні бази. Похибки вивірки заготовок при установленні для обробки без кондуктора впливають на точність відстань осей отворів від вивірочних баз, їх паралельність, співосність отворів і міжосьові відстані.

Величини похибок залежать від методу вивірки та точності застосовуваних приладів, які можуть відрізнятися в 5...10 разів. Вони повинні відповідати витриманій точності розмірів. Для корпусів нежорсткої конструкції доцільно регламентувати силу закріплення. Відносно впливу температурних деформацій на точність обробки корпусних деталей, то їх намагаються виключити.

### **7.9 Обробка кріпильних отворів корпусних деталей**

Обробка кріпильних та інших мілких отворів у технології виробництва корпусних деталей займає помітне місце. Кріпильні отвори розміщують групами з вимогами координації усередині її (крок, коло розташування) і відносно осей симетрії заготовок, базових площин або інших отворів.

Задане розташування отворів забезпечується звичайно по кондуктору і тільки в дрібносерійному виробництві обробка виконується за розміткою. Треба відзначити, що обробка по ній більш трудомістка, а точність розташування отворів нижча, ніж по кондуктору (точність положення отворів по кроку не вище  $\pm 0,25$ мм).

Обробка зазначених отворів в кілька переходів здійснюється наступними методами:

1. При послідовному переміщенні заготовки в кілька позицій, що оснащені відповідним інструментом (наприклад, I позиція – свердлами; II позиція – зенківками; III позиція – мітчиками). При цьому переведення заготовки в нову позицію здійснюється поворотом столу чи поступальним пересуванням. У кожній позиції всі отвори обробляють одночасно.

2. При нерухомому положенні заготовки в одній позиції шляхом послідовного виконання переходів із заміною інструментів у шпинделі радіально-свердлувального верстата або кондукторних втулок для напрямку інструментів. Для технологічної операції із заміною інструментів характерна значна трудомісткість обробки та великий допоміжний час в штучному (50...60% і більше).

3. При використанні комбінованого чи збірного інструменту (свердло-зенкер, свердло-розгортка, а також свердло із зенківкою). Операція різьбонарізання виділяється та виконується на свердлувальних верстатах за допомогою різьбонарізного патрона без кондуктора.

Основним напрямком підвищення продуктивності праці при обробці кріпильних отворів є збільшення кількості одночасно працюючих інструментів. На спеціальних агрегатних верстатах число шпинделів досягає кількох десятків, а в автоматичних лініях сумарно - кілька сотен.

У серійному виробництві обробку кріпильних отворів виконують на агрегатних або універсальних свердлувальних верстатах, які обладнані багатошпиндельними голівками для свердлування. Застосування револьверних голівок на шпинделі радіально-свердлувального верстата усуває необхідність ручної заміни інструменту при послідовній обробці отворів. Зазначений вид обробки групи отворів у стінках корпусних деталей на радіально-свердлувальному верстаті доцільно здійснювати в поворотному кондукторі.

При невеликому обсязі випуску виробів, а також для свердлування незначних груп отворів у серійно виготовлюваних корпусах застосовують накладні й збірні кондуктори на базі універсально-збірних пристроїв.



Установлення накладного кондуктора, що визначає розміщення усієї групи оброблюваних отворів, виконують одним з трьох методів:

- ✓ від оброблених поверхонь корпусу – основних отворів або бічних поверхонь;
- ✓ за сполученням рисок, що визначають положення осей на кондукторі та деталі, при цьому риска на деталі наноситься від заданої бази, іноді із застосуванням допоміжного шаблону;
- ✓ за сполученням контурів кондуктора та деталі на око.

При серійному виробництві розйомних корпусів їх отвори в площинах розйому обробляють в поворотному кондукторі, призначеному для свердлування спряжених отворів у корпусі та кришці позмінно через одні кондукторні втулки. При цьому досягається добре сполучення отворів у процесі складання обох частин корпусу і забезпечується безперервність постачання потоку комплектом деталей.

Технологічні вимоги до конструкції корпусних деталей, які зв'язані з обробкою кріпильних отворів, полягають в наступному. Кріпильні отвори в корпусах повинні мати по можливості однакові розміри. Це особливо важливо для скорочення допоміжного часу при обробці отворів із заміною інструменту.

Отвори з одного боку повинні мати паралельні осі. Для їх обробки під іншими кутами потрібні нові установи заготовки або додаткові кути фіксації в поворотних пристроях. На автоматичних лініях це пов'язано з установленням агрегатних голівок під кутом.

### **7.10 Особливості технічного контролю отворів**

Технічний контроль передбачає перевірку прямолінійності та взаємного положення плоских поверхонь, що утворюють складальні бази корпусу; правильність геометричних форм основних отворів; їх співосності; паралельності осей основних отворів складальним базам; взаємної паралельності осей основних отворів і відстані між ними; взаємної

перпендикулярності осей отворів (при наявності отворів з перпендикулярними осями); перпендикулярності торцевих поверхонь до осей отворів.

Прямолінійність площин перевіряють лінійками, а перевірку площин, що утворюють складальну базу корпуса, здійснюють спеціальними плитами на фарбу або щупом.

Співосність отворів звичайно контролюють за допомогою спеціальних оправок. Так, відхилення від співосності середнього отвору (рис. 7.13) визначається індикатором 1, зв'язаним із щупом 2 штоком і системою важелів, при повороті за допомогою рукоятки 4 контрольної оправки 3. Для контролю великогабаритних корпусів застосовують оптичні методи.

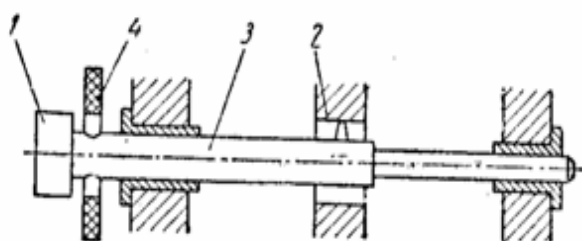


Рисунок 7.13 – Схема перевірки співосності отворів

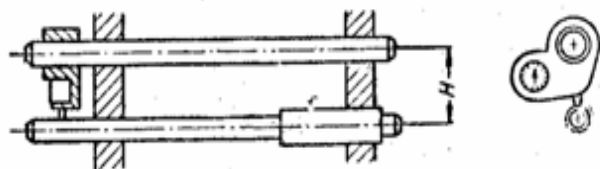


Рисунок 7.13 – Схема перевірки паралельностей осей отворів і відстань між ними

Паралельність осей отворів складальним базам і витримуваного розміру від осі до бази контролюють вимірюванням відстань між ними у кінцях корпуса безпосередньо або за допомогою контрольної оправки. Взаємна паралельність осей основних отворів і відстань  $H$  між ними перевіряють контрольними скалками та індикаторним приладом (рис. 7.14).

Контроль перпендикулярності отворів здійснюють за схемою, сутність якої полягає у наступному. Еталонний диск установлюють хвостовиком в один із отворів, а в інший – вимірювальну лінійку. За величиною щілини між ними роблять висновок про відхилення від перпендикулярності. Для цієї мети може бути застосовано пристрій з двома індикаторами на лінійці.

Контроль виробництва з великим обсягом випуску продукції передбачає застосування багатомірних пристроїв для одночасної перевірки діаметрів усіх

оброблених отворів за допомогою пневматичних або пневмоелектричних приладів. У лініях поряд з автоматичним контролем розмірів використовують специфічні контрольні прилади та пристрої. Зокрема, для усунення небезпеки поломок через руйнування свердла у процесі виконання операції різьбонарізання, а також контролю роботи автоматичних ліній за заданим циклом застосовують пристрої з фіксуєчими штирями. Функція останніх зводиться до наступного. Вони вводяться в отвір і при наявності його достатньої глибини лінія продовжує працювати. У разі відсутності отвору або недостатньої глибини через вихід з ладу технологічного обладнання наступний цикл не вмикається і лінія зупиняється.

### *Запитання для самостійного контролю*

1. Дайте характеристику двох основних різновидів і вимог на виготовлення корпусних деталей
2. Які використовують матеріали та технології виробництва заготовок корпусів?
3. Дайте характеристику існуючих методів базування поверхонь
4. Які етапи передбачає технологічний процес обробки корпусних деталей?
5. Перелічіть для різних типів виробництва технологічні методи, що застосовуються при обробці площин корпусів
6. У чому полягає відмінність обробки площин великих габаритних розмірів?
7. Яке використовують технологічне обладнання для обробки отворів різного призначення?
8. Перелічіть методи отримання розмірів отворів корпуса, назвіть їх відмінність
9. Наведіть технологічні схеми розточування отворів корпусних деталей для різних типів виробництва
10. У чому полягає обробка великогабаритних розйомних корпусів?

11. Як впливає схема обробки на точність параметрів заготовки та податливість основних вузлів верстата?
12. Чим відрізняється технологія обробки найбільш важких корпусів?
13. Наведіть вимоги технологічності, що сприяють підвищенню продуктивності праці в процесі обробки основних отворів корпусів
14. Як позначається вплив похибок на точність обробки отворів?
15. Перелічіть методи обробки кріпильних отворів корпусних деталей
16. Назвіть шляхи підвищення продуктивності технології обробки кріпильних отворів з урахуванням типу виробництва
17. У чому полягають особливості технологічного контролю отворів?

## Тема 8. Обробка концентричних деталей типу втулок.

8.1 Різновид концентричних деталей типу порожнистих циліндрів та види заготовок.

8.2 Технологічні завдання під час обробки втулок.

8.3 Вплив похибки на допуски лінійних розмірів концентричних деталей.

8.4 Технологічні схеми обробки втулок з урахуванням виду заготовки.

### 8.1 Різновид концентричних деталей типу порожнистих циліндрів та види заготовок

До виробів типу порожнистих циліндрів відносяться деталі (наприклад, диски, кільця, маточини коліс, шків, маховики, втулки, поршневі пальці,

гільзи, чашки сателітів, поршень двигуна та ін.), для яких характерно концентричне розташування поверхонь. Концентричними прийнято називати деталі, які мають форму не тільки порожнистого циліндра, але і циліндричних тіл обертання із складною зовнішньою та внутрішньою поверхнями, а також загальною віссю. Вони поділяються на два класи: втулки (довжина деталі  $L$  дещо менша або більша зовнішнього діаметра  $D$ ) і диски (довжина  $L$  набагато менша їх діаметра  $D$ ).

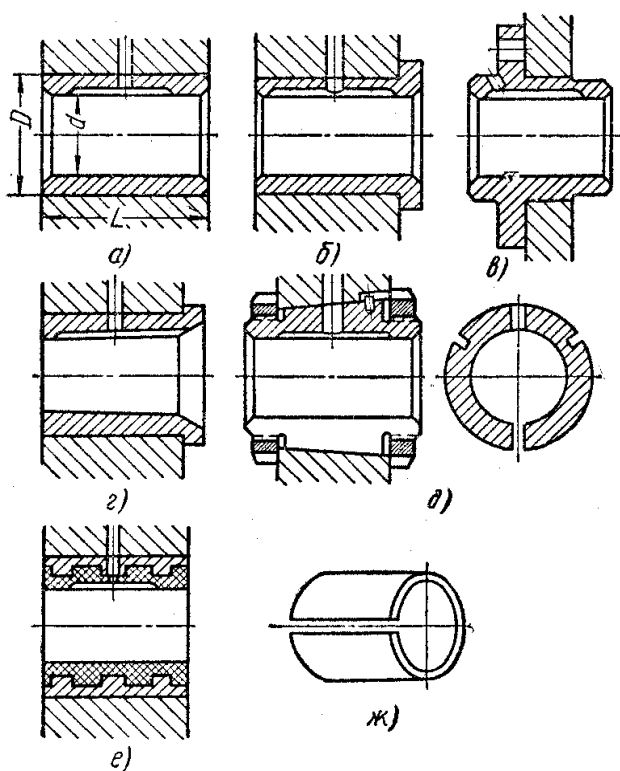


Рисунок 8.1 – Конструктивні різновиди підшипникових втулок

порожнистих циліндрів, для всіх їх заготовок характерна обробка різанням тільки основних зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь. Вона здійснюється звичайно при обертанні заготовки, але можлива обробка і

нерухомої заготовки обертаючим різальним інструментом, наприклад, розточування отворів під поршневий палець.

На практиці найбільше розповсюдженні втулки із співвідношенням  $L/D \leq 2$  (рис. 8.1). Технічними умовами виготовлення втулок передбачено наступне. Отвори остаточно обробляють після запресування втулки. Різностінність допускається в межах 0,03...0,15мм, а неперпендикулярність торцевих площин до осі отвору – до 0,2мм на 100мм радіуса. При осьовому навантаженні на торці цей показник не повинен перевищувати 0,02...0,03мм.

Матеріалом для виготовлення втулок може бути сталь, латунь, бронза, сірий або ковкий антифрикційний чавун, спеціальні сплави, металокераміка, пластмаси.

Для втулок з типорозміром отвору до 20мм застосовують калібровані або гарячекатані прутки, а також литтєві стержні, а з діаметром отвору більше 20мм – суцільнотягнуті труби або порожнисті зливки, при цьому здійснюють лиття в піщані форми машинного формування, постійні металеві форми, під тиском і відцентрове лиття. Для згорнутих тонкостінних втулок з відкритим швом застосовують латунний або бронзовий смуговий матеріал, а також біметалеву стрічку. Заготовки з металокераміки отримують пресуванням з наступним спіканням, а із пластмас – за допомогою пресування.

## **8.2 Технологічні завдання під час обробки втулок**

Виготовлення втулок пов'язано з вирішенням ряду технологічних завдань різного характеру. Напрямок одних полягає в досягненні концентричності зовнішніх поверхонь відносно отвору та перпендикулярності торців до його осі. Для тонкостінних втулок виникає додаткове завдання закріплення заготовки під час обробки без відчутних деформацій.

Вирішення першого із зазначених завдань може бути здійснене трьома способами: обробкою зовнішніх поверхонь, отвору та торців за один установ; обробкою усіх поверхонь за два установи чи дві операції з базуванням при остаточній обробці отвору по зовнішньої поверхні; обробкою усіх поверхонь за

два установи чи дві операції з базуванням при остаточній обробці зовнішньої поверхні за отвором.

Обробка за один установ можлива при виготовленні втулок із прутка або труби з відрізкою обробленої заготовки в кінці операції. Зазначена схема обробки великих зливок, які отримані індивідуальним литтям, потребує наявності приливів, що значно збільшує відходи та знижує коефіцієнт використання металу. Тому цей спосіб для індивідуальних зливок може бути прийнятний тільки в одиночному виробництві. У першому випадку базами є зовнішня поверхня та підрізаний торець, що установлюється по упору. При обробці індивідуальної заготовки доцільно приймати за базу попередньо оброблений отвір і торець.

З двох інших способів базування за обробленим отвором має такі переваги:

а) при обробці на жорсткій або розтискній оправці похибка установлення відсутня або значно менша, ніж в патроні з кріпленням заготовки по зовнішній поверхні;

б) більш простий, точний та дешевий центруючий пристрій у порівнянні з патроном;

в) при використанні оправок може бути досягнутий високий ступінь концентрації обробки.

### **8.3 Вплив похибки на допуски лінійних розмірів концентричних деталей**

На якість поверхонь і точність виготовлення втулок впливає похибка встановлення та просторові відхилення.

Похибка установлення визначається при кріпленні заготовки (прутка або труби) в цанги чи патроні – радіальним і осьовим зсуванням заготовки, а індивідуальної заготовки в трикулачковому патроні для зенкування литтєвого отвору – радіальним зсуванням заготівки. При протягуванні отвору, а також обробці на розтискній оправці, що установлюється в центрах, похибка відсутня.

Похибка установлення не позначається на точності діаметральних розмірів, але впливає на допуски лінійних розмірів при несполучених установлюваній та вимірювальній базах. Разом з цим припуски на обробку циліндричних поверхонь і торців повинні бути збільшені для компенсації даної похибки.

Просторові відхилення характеризуються при виготовленні втулок з прутка чи труби – місцевою кривизною заготовки та відведенням осі при свердлувальні отвора, а з індивідуальних литєвих або пресованих заготовок – відведенням осі отвору заготовки, ексцентричністю зовнішніх поверхонь і неперпендикулярності торцевих поверхонь відносно отвору.

У процесі обробки, змінюючи глибину різання, вони впливають на величину віджаття елементів технологічної системи, але безпосередньо в аналітичний вираз визначення допуску не входять. Разом з цим просторові відхилення впливають на величину припуску і підсумовуються з похибками установлення для діаметральних розмірів за правилом квадратного кореня, а для осьових – арифметично.

#### **8.4 Технологічні схеми обробки втулок з урахуванням виду заготовки**

При обробці втулок з прутка дотримуються наступного технологічного процесу.

1. Підрізка торця у прутка, подача останнього до упору, зацентрування під свердлування, свердлування отвору та обточування зовнішньої поверхні, його розточування або зенкування із зняттям фасок на вільному торці, попереднє та остаточне розгортання, відрізка. Зазначену операцію виконують на токарно-револьверному верстаті та одно- або багатопиндельному автоматі (рис. 8.2).



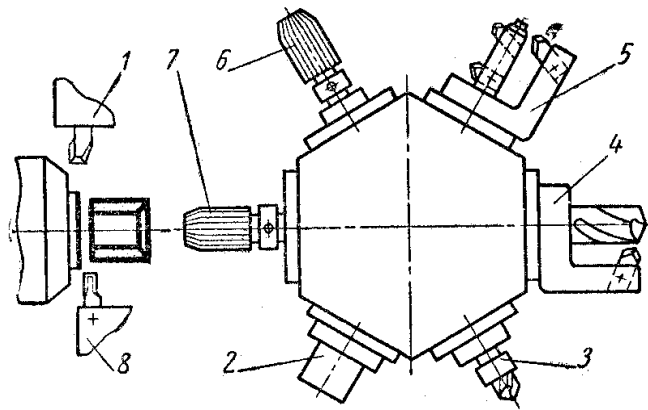


Рисунок 8.2 – Схема обробки втулок із прутка на токарно-револьверному верстаті: 1 – підрізка торця; 2 – подача прутка до упору; 3 – зацентрування під свердлування; 4 – свердлування отвору та обточування зовнішньої поверхні; 5 – розточування отвору, зняття фасок; 6 – попереднє розгортання; 7 – остаточне розгортання; 8 – відрізка.

2. Зняття фасок з протилежного торця втулки на вертикально-свердлувальному або токарному верстаті.

3. Свердлування змазуваного отвору на вертикально-свердлувальному верстаті.

4. Нарізання змазуючих канавок на спеціальному верстаті.

5. Шліфування зовнішньої поверхні на кругло – або безцентрово-шліфувальному верстаті.

Відносно процесу обробки втулок із труби перехід свердлування відпадає і замість нього виконується зенкування або розточування отвору, а у всьому він не відрізняється від наведеного вище.

Обробку втулок з індивідуальної зливки або поковки доцільно здійснювати за таким технологічним планом.

1. Зенкування отвору втулки та зняття фасок в ньому на вертикально-свердлувальному верстаті. У зв'язку з тим, що при закріпленні втулки в патроні базуючою є зовнішня поверхня, розрахунок припуску слід виконувати за виразом з урахуванням відведення осі литтєвого отвору та похибки установлення її в патроні.

2. Протягування отвору на горизонтально-протягувальному верстаті із сферичною самоустановлюючою шайбою, яка застосовується при необробленому торці втулки. При даному способі обробки залишкове відведення осі отвору не виправляється, а похибка установлення відсутня. Тому припуск визначають за формулою з урахуванням тільки висоти поверхневих нерівностей та глибини дефектного поверхневого шару. Для цієї мети застосовується також прошивання на пресі. У втулках, які запресовують в корпусі, залишають припуск на остаточну обробку отвору. При точному виробництві заготовок і старанному очищенні їх поверхні протягування отвору можна виконувати і без попереднього зенкування.

3. Однократне чи попереднє обточування зовнішньої поверхні залежно від точності виконання чорної заготовки, підрізка торців і зняття зовнішніх (а часто і внутрішніх) фасок на токарно-багаторізцевому напівавтоматі. Операція виконується з базуванням по отвору на розтискній оправці або запресуванням втулки на циліндричну оправку (рис. 8.3). При розрахунку припуску на діаметр похибкою установлення можна зневажати, а просторове відхилення повинно включати залишкове зсування вісі отвору після зенкування. Для торцевих поверхонь розглянуті вище похибки відсутні.

4. Чистове обточування зовнішньої поверхні, якщо виконувалось попереднє. Чистову підрізку торців виконують лише у випадку, коли це викликається допуском на розмір за довжиною, а також вимогами, що ставляться до торцевих поверхонь. У цьому випадку операцію виконують на багаторізцевому напівавтоматі. Обточування тільки гладкої зовнішньої поверхні може бути здійснено на токарному верстаті, а ступеневої зовнішньої поверхні – на багаторізцевому напівавтоматі.

Наступні чотири технологічні операції аналогічні 2 - 5-му маршрутам обробки втулки з прутка.

Технологія виготовлення втулок різних конструктивних різновидів відрізняється лише налагоджуванням для обробки зовнішніх поверхонь на багаторізцевих напівавтоматах. Втулки з конічним отвором зенкують і розгортують конічним інструментом з подачею до упору. У розрізних конічних

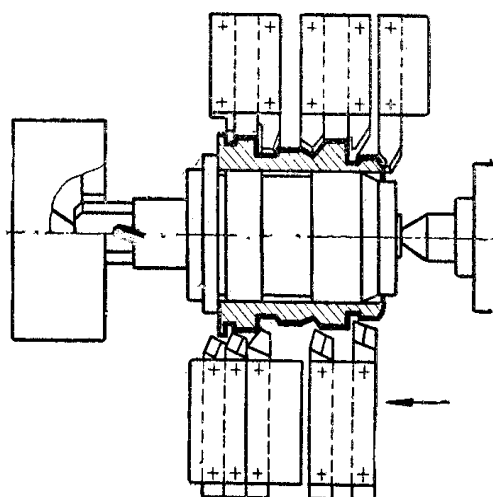


Рисунок 8.3 – Схема обробки втулки із ступеневою зовнішньою поверхнею на багаторізцевому напівавтоматі

втулках при багаторізцевій обробці інструмент, призначений для конічної поверхні, спрямовується копиром. Крім того, для створення прорізів і надрізів на зовнішній поверхні передбачаються фрезерувальні операції, а також нарізання різьби на кінцевих уступах втулки. Для концентричних виробів даного типу, що заливаються

антифрикційним сплавом, передбачається операція розточування канавок в отворі. Згорнуті втулки з відкритим швом обробляють після

запресування на місце. Після посадки їх піддають дорнованню та тонкому розточуванню на остаточний розмір. Металокерамічні втулки виготовляють на залізній або мідній основі. Матеріали на мідній основі відрізняються меншим коефіцієнтом тертя, кращим припрацюванням, але вони мають меншу механічну міцність. При обробці залізнокерамічних деталей різці пластинками із твердого сплаву ВК8 забезпечують високу стійкість, а наявність перехідної різальної кромки з кутом заточування, який дорівнює  $1,5...2^{\circ}$ , дозволяє отримати високу чистоту поверхні.

З метою поліпшення антифрикційних властивостей пористі втулки після спікання піддають просочуванню авіаційним маслом у ванні, нагрітій до температури  $110...120^{\circ}\text{C}$ . Залежно від товщини стінки тривалість її

просочування коливається від 45 (для товщини стінки 4мм) до 120хв. (для стінки 9,5мм).

Отвори пористих втулок не рекомендується калібрувати кулькою, бо в цьому разі пори частково закриваються і самозмазуюча здатність втулки знижується. Тому доцільно отвір втулки піддавати тонкому розточуванню. У зв'язку з високою точністю, яка притаманна металокерамічній технології, обмежуються звичайно одноразовою обробкою.

Втулки із пластмас можуть бути виготовлені з прутка, труби або індивідуальної заготовки, отриманої шляхом пресування. Треба відзначити, що технологія обробки зазначеної деталі з прутка та труби аналогічна обробці металевих втулок. Висока точність пресування індивідуальних заготовок дозволяє обмежуватися обробкою втулок різанням.

При здійсненні технічного контролю втулок перевіряють діаметральні та осьові розміри, шорсткість поверхонь за допомогою еталонів, концентричність зовнішніх поверхонь відносно отвору і перпендикулярність торців до його осі. Для контролю зовнішніх поверхонь обертання, їх концентричності та перпендикулярності доцільно застосовувати багатовимірний індикаторний контрольний пристрій аналогічне пристрою для перевірки ступеневих валів.

### ***Запитання для самостійного контролю***

1. Назвіть розподіл концентричних деталей та дайте характеристику вихідного матеріалу для виготовлення втулок
2. Перелічіть технологічні завдання, пов'язані з виробництвом втулок, шляхи їх вирішення
3. Як впливає похибка установа та просторові відхилення на якість поверхонь і точність втулок?
4. Дайте характеристику технологічного процесу обробки втулок із прутка або труби
5. Який застосовують маршрут обробки з індивідуальної зливки або поковки?

6. У чому сутність технології виготовлення втулок різних конструктивних різновидів?

## **Тема 9. Основні напрямки подальшого розвитку технологічних методів машинобудівного виробництва.**

- 9.1 Розробка і впровадження високоефективної та маловідходної технології отримання заготовок.
- 9.2 Розвиток і удосконалення процесів механічної обробки та складання виробів.
- 9.3 Автоматизація розробки технологічних процесів з використанням ЕОМ.
- 9.4 Взаємозв'язок конструкції машини з технологічними аспектами її виробництва.

### **9.1 Розробка й впровадження високоефективної та маловідходної технології отримання заготовок**

Подальше удосконалення виробництва в галузі машинобудування пов'язано з розробкою та впровадженням високоефективної маловідходної технології отримання заготовок деталей на основі механізації та комплексної автоматизації, модифікації технологічних процесів обробки різанням і складання, а також удосконаленням системи організації та керування виробництвом. Нижче зупинимося на перспективах розвитку ливарного й ковальсько-штампувального виробництв, за допомогою яких здійснюється забезпечення підприємств заготовками.

**Ливарне виробництво.** Спосіб лиття в земляні форми є дуже трудомістким процесом, тому важливе значення набуває впровадження піскодувних і піскострільних автоматичних і напівавтоматичних машин. Механізація та автоматизація технології отримання стержнів дозволяє скоротити час їх твердіння до 3хв.

Підвищення якості й точності литтєвих заготовок можна досягти при використанні автоматичних ліній для виготовлення литтєвих форм обробкою тиском (пресового формоутворення) замість методу струшування. Автоматизація виготовлення за вказаною схемою підвищує стабільність розмірів заготовок, а також зменшує їх масу на 8÷10%. У ливарних цехах слід

більш широко застосовувати лиття в оболонкові форми, а також за виплавленими моделями.

У даний час все ширше застосовують маловідходні технології. Створюють автоматичні лінії для відливки заготовки в оболонкові форми. Заміна кованих заготовок литтєвими зменшує витрати металу до 20%, трудомісткість процесів обробки різанням на 15% і більше.

При виробництві заготовок за допомогою лиття по виплавлених моделях основні технологічні операції (приготування литтєвих форм, очищення та термічна обробка зливок та ін.) автоматизовані приблизно на 80%. Розширення області застосування точного лиття дозволяє отримати сталеві заготовки масою до 1,5кг, які раніше виготовлялися штампуванням.

Подальший розвиток лиття кольорових сплавів під тиском і в кокіль пов'язаний з автоматизацією технологічних процесів. Створення автоматичних ливарних комплексів з використанням дозуючих пристроїв, карусельних кокільних машин, високопродуктивних плавильних агрегатів, промислових роботів для витягування зливок і передачі їх на транспортуючий пристрій підвищує якість та значно збільшує обсяг виробництва литтєвих заготовок.

Важкою і трудомісткою операцією в ливарному виробництві є очищення лиття в дробометних агрегатах. Використання механізованих і автоматизованих засобів очищення підвищує продуктивність праці та знижує трудомісткість, значно поліпшує умови роботи в очисних відділеннях ливарних цехів.

**Ковальсько-штампувальне виробництво.** У машинобудуванні поковки отримують на автоматичних штампувальних агрегатах і комплексно-механізованих лініях. Резервом підвищення продуктивності праці тут є впровадження комплексних автоматичних ліній, починаючи від різання і закінчуючи термічною обробкою заготовок. Більш ефективними є технологічні процеси маловідходного отримання поковок, наприклад, методом видавлювання на пресах – автоматах, висадкою на горизонтально-ковальних машинах.

Перспективним напрямком є заміна обробки різанням тиском. Так, при використанні видавлювання зубців зубчастих коліс продуктивність

підвищується у порівнянні з обробкою різанням в 10 разів, витрата металу скорочується на 10%, а міцність зубців і шліців зростає в 1,5 раза. Широко слід використовувати об'ємне штампування зубчастих коліс з формуючими зубцями. Збільшення обсягу виробництва поковок підвищеної точності обумовлює необхідність застосування механізованих кривошипних гарячештампвальних пресів і засобів нагрівання струмами високої частоти, а також швидкісного газового нагрівання.

Розширюється область використання штамповки з періодичного прокату та вальцьових заготовок. Попереднє профілювання знижує витрату металу на 8÷10%, а впровадження гнучких і штампувальних з листа та стрічки профілів – прокату чорних металів.

Широке використання порошкової металургії дозволяє отримати значну економію металу. Розроблені технологічні процеси зміцнення порошкових матеріалів забезпечує виробництво деталей стабільної якості з підвищеною міцністю. Така технологія не передбачає значні доводочні операції шліфування або хонінгування, а в ряді випадків зовсім виключається наступна обробка різанням.

Метод об'ємної висадки, який широко застосовується для виготовлення кріплення, дозволяє довести коефіцієнт використання металу близько до одиниці. Цей процес легко автоматизується і є практично безвідходним. Крім того, перспективним є високоефективний процес холодного видавлювання таких фасонних деталей, як шарові пальці, тарілки пружин клапана, стаканів пружин, штуцерів та ін. на гідравлічних і механічних пресах підвищеної жорсткості.

## **9.2 Розвиток і удосконалення процесів механічної обробки та складання виробів**

З технологічної точки зору в машинобудуванні значне місце займає обробка заготовок різанням, зокрема в автомобілебудуванні цей вид обробки складає до 30% трудомісткості. Сучасні методи отримання заготовок дозволяють значно скоротити обсяг обробки різанням і вносять якісні зміни в ці



процеси. Крім того, литтєві й штампувальні заготовки, отримані прогресивними методами, виключають ряд операцій обробки різальним інструментом.

Ширше впроваджуються в основне виробництво сучасні високоефективні процеси обробки інструментом з твердосплавними багатогранними непроточуваними пластинами із зносостійким покриттям і підвищеними швидкостями різання; звичайне й безперервне протягування твердосплавним протягувальним інструментом; чистова й доводочна обробка інструментом із синтетичних надтвердих матеріалів: хонінгування отворів замість шліфування, абразивне шевінгування.

Можливість використання квантових генераторів для промислових цілей відкриває нові перспективи в технології обробки матеріалів: отримання отворів малого діаметра та дрібних пазів у важкообробних матеріалах; різання металевих і неметалевих матеріалів; плавлення, легування; зварювання; термообробка робочих частин деталей машин.

Одним із напрямків подальшого розвитку технології механікообробного виробництва у даний час є розробка та впровадження гнучких автоматизованих виробничих систем (ГВС), які засновані на широкому використанні промислових роботів, мікропроцесорної техніки та електроніки. Застосування цих систем особливо ефективно при масовому виробництві.

Впровадження ГВС – це здійснення більш ефективної автоматизації механічної обробки з використанням високопродуктивного обладнання, верстатів з чисельним програмним керуванням і оброблювальних центрів, що керуються від ЕОМ. Дана система дозволяє обробляти заготовки деталей, об'єднані в групи за технологічною спільністю та габаритам поверхонь. У верстатах забезпечується автоматична зміна багатошпindelних силових головок при переході на обробку іншого типорозміру деталей, компенсація зносу та заміна різального інструмента, а також передбачені пристрої виявлення поломок інструментів.

Удосконалення процесу складання виробів можливе на підставі широкого застосування транспортних конвеєрів з автоматичною подачею деталей та вузлів до місця збирання. Процес складання каркасів, кузовів,

металоконструкцій здійснюється за допомогою зварювання, при цьому питома вага зварювальних робіт у загальній трудомісткості виготовлення автомобілів не перевищує 10%. Впровадження процесів зварювання цинкованих і пофарбованих деталей, плазмового зварювання, електронно-променевою та інших видів, а також високопродуктивних зварювальних автоматів і напівавтоматів дозволяє знизити трудомісткість процесу складання.

Значно зріс технічний рівень пофарбування та металопокриття деталей і складальних одиниць виробів. Застосування нових лакофарбуючих матеріалів і впровадження прогресивних високоефективних процесів покриття поліпшило зовнішній вигляд виробів і значно підвищило їх антикорозійну стійкість. Пофарбування деталей і вузлів в електростатичному полі, автоматизація ґрунтування та пофарбування конструкцій з використанням конвеєрів з автоматичною подачею, застосування поточних ліній для цієї мети повинні знайти широке використання на підприємствах.

Застосування автоматів, напівавтоматів і автоматичних ліній для металопокриття (цинкування, міднування, хромування та ін.) забезпечує високу якість цього процесу. Подальше більш широке розповсюдження повинні отримати блискучі покриття, що виключають полірування деталей.

### **9.3 Автоматизація розробки технологічних процесів з використанням ЕОМ**

В умовах багатоміноменклатурного виробництва часто змінних виробів і при не досить високому рівні їх уніфікації та типізації процесів обробки обсяг технологічних розробок дуже великий. Через обмежений час та неможливість тримати великий штат технологів технологічні процеси розробляють збільшено без вибору оптимального варіанта.

Значне прискорення та полегшення праці технологів можливе за рахунок використання обчислювальної техніки для вирішення таких часткових завдань, як розрахунок точності, припусків, режимів різання, нормування часу на обробку. Крім того, сучасні електронно-обчислювальні машини (ЕОМ) дозволяють вирішувати більш складне завдання – розробляти оптимальний

технологічний процес обробки на задану деталь, наприклад, ступеневі вали, диски, штуцери.

Вирішення завдання по автоматизації технологічного проектування розбивається на такі етапи: кодування вихідної інформації, розробка способів обробки даного матеріалу, прийомів програмування технологічних завдань і алгоритму, а також комплексу операцій, що чітко й однозначно визначають технологічний процес на задану деталь. Серед вказаних етапів найбільш трудомістким є розробка алгоритму технологічного проектування, оскільки при цьому треба вирішити велику кількість питань логічного й програмістського характеру. Так, машина вирішує питання базування, вибирає технологічне обладнання та оснащення (з числа заданих вихідними умовами), розраховує похибки обробки, визначає припуски і знаходить оптимальний варіант побудови технологічного процесу.

Використання ЕОМ дозволяє підвищити продуктивність праці, скоротити строки підготовки виробництва нових виробів, поліпшити планування та визволити від цієї роботи велику кількість технологів. При переході до іншої типової деталі або при виготовленні в іншому цеху виникає необхідність складання нового алгоритму, при цьому трудомісткість його розробки для нових умов залишається на рівні попередньої.

Велику перевагу дає розробка універсального алгоритму для проектування технології на будь-яку деталь. Вирішення цього завдання пов'язано з необхідністю складання стрункої науково обґрунтованої методики проектування технологічних процесів і використанням ЕОМ з великим обсягом пам'яті та кількістю команд. При створенні методики потрібні нова класифікація деталей і система типізації технологічних процесів.

#### **9.4 Взаємозв'язок конструкції машини з технологічними аспектами її виробництва**

Великий вплив чинить конструкція виробу і його елементів на технологію виробництва, продуктивність праці, а також можливість механізації та автоматизації виробничих процесів. Не кожна конструкція забезпечує умови

для підвищення продуктивності праці і доцільність автоматизації виробничих процесів, а тільки та, що розроблена з урахуванням технологічних вимог виробництва. Разом з цим розвиток і удосконалення технологічних методів виробництва забезпечують припущення для створення більш високого класу конструкцій. Сучасний розвиток техніки підвищує вимоги до технологічних методів виробництва, що зобов'язує технолога безперервно удосконалювати ці методи.

Розвиток технології машинобудування, створення нових високопродуктивних і високоточних методів виробництва сприяють створенню більш досконалих конструкцій. При вирішенні цього питання не випадково на передових підприємствах створюють творчі групи конструкторів і технологів. Така співдружність обумовлює неухильне зростання техніки й технології машинобудування.

### *Запитання для самостійного контролю*

1. Які перспективи розвитку ливарного й ковальсько-штампувального виробництва, пов'язаного з розробкою високоефективних маловідходних технологій отримання заготовок деталей?
2. Назвіть напрямки удосконалення технології механічної обробки заготовок
3. Які впроваджуються високоефективні методи складання виробів?
4. У чому полягають переваги використання ЕОМ при розробці технологічних процесів?
5. Який існує взаємозв'язок між конструкцією машини та технологічними вимогами виробництва?

## **Тема 10. Якість поверхонь деталей машин.**

10.1 Поняття про якість поверхонь.

10.2 Оцінка якості поверхні елементів технічних систем.

10.3 Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей.

10.4 Технологічні фактори, що впливають на шорсткість поверхні деталей.

### **10.1 Поняття про якість поверхонь**

Якість обробленої поверхні деталей машин характеризується шорсткістю та хвилястістю поверхні, а також фізико-механічними властивостями поверхонь шару.

**Шорсткістю** називається сукупність нерівностей з відносно малими кроками, що утворюють рельєф поверхонь і розглядаються на певній (базовій) довжині. **Під хвилястістю поверхні** розуміють сукупність періодично повторюваних висот і западин, що утворюють нерівності поверхні, в яких відстань між суміжними висотами або западинами значно більша, ніж у шорсткостей. За формулою хвиля наближається до синусоїди. Висота хвилі  $H_{\text{хв}}$  змінюється у межах 0,5...500 мкм, а крок  $L_{\text{хв}}$  – 1...15 мм. Відношення  $H_{\text{хв}}/L_{\text{хв}}$  знаходиться у межах 1/1000...1/50. Зростання висоти хвиль спричиняє підвищений знос, ослаблення пресових з'єднань, порушення геометричності за рахунок зменшення фактичної площі контакту спряжених поверхонь.

Хвилястість поверхні викликається нерівномірністю процесу різання внаслідок коливань верстата, інструменту та деталі. Крім того, отримана хвилястість поверхні на попередній операції може бути джерелом виникнення коливань на послідовних переходах.

У цілому, дві розглядувані характеристики якості взаємозв'язані з точністю розмірів. Високій точності завжди відповідає мала шорсткість і хвилястість поверхні. Це визначається не тільки експлуатацією виробу, але й необхідністю отримання стійких і надійних результатів вимірювання.

Фізико-механічні властивості поверхневого шару характеризуються його твердістю, структурними перетвореннями, величиною залишкових напружень, глибиною поширення деформації кристалевих ґраток металу. Вказані характеристики залежать від оброблюваного матеріалу, методу обробки та режиму різання.

У готової деталі якість оброблених поверхонь залежить від операцій остаточної обробки, а необробні – зберігають характеристики якості, отримані у процесі виробництва заготовок.

Досягнення потрібних характеристик якості поверхонь елементів виробів і підтримання їх на певному рівні є завданням побудови всього технологічного процесу.

## **10.2 Оцінка якості поверхні елементів технічних систем**

До геометричних характеристик обробленої поверхні відносяться її шорсткість, форма, хвилястість і напрямок поверхонь після обробки різанням.

Шорсткість поверхні утворюється при обробці металів різанням у напрямках прямування подачі та головного робочого прямування різання. При цьому вимірювану шорсткість у напрямку прямування подачі називають поперечною, а в іншому випадку – поздовжньою. Оцінка її проводиться в напрямку її найбільшої висоти нерівностей, яка у поперечному напрямку у 2-3 рази більша, ніж у поздовжньому.

На шорсткість поверхні впливають пружна й пластична деформації у поверхневому шарі, режими різання, жорсткість системи ВПД, форма та стан різальної частини інструменту, тертя між обробленою поверхнею і інструментом, а також вид оброблюваного матеріалу.

Із режимів різання суттєвий вплив на шорсткість поверхні має подача та швидкість різання заготовки. На рис. 10.1 наведена залежність зміни висоти  $R_z$  нерівностей профілю від швидкості  $V$  головного прямування різання матеріалу з різних конструкційних сталей. Неадекватність наведеної кривої 3 пояснюється тим, що при деякій швидкості різання  $V$  температура

підвищується до такої величини, при якій оброблюваний матеріал сильно розм'якшується і навіть оплавляється. Тому з підвищенням швидкості різання шорсткість обробленої поверхні зростає.

На шорсткість поверхні впливають пластичні явища захоплювання та відриву шарів матеріалу, що знаходяться під різальною кромкою під час обробки сталевих заготовок, а також явища виламування часток матеріалу (наприклад, сірого чавуну і міцних кольорових сплавів), тобто наростоутворення на передній поверхні інструменту. У певному інтервалі швидкості різання (для конструкційних сталей  $V = 20 \div 40 \text{ м/хв}$ ) при обробці сталевих заготовок наріст, що утворюється, сприяє збільшенню шорсткості. При великих швидкостях різання ( $V \geq 70 \text{ м/хв}$ ) внаслідок припинення наростоутворення шорсткість зменшується (крива 4 на рис.10.1). Із збільшенням величини подачі явища захоплювання та відриву шарів металу зростають, при цьому зростає шорсткість поверхні за рахунок пружних відтиснень інструменту.

При малих значеннях  $S_o = 0,01 \dots 0,1 \text{ мм/об}$  на зростання шорсткості чинить вплив загальний шар, що утворюється на передньої поверхні інструменту (рис.10.2). Аналогічна картина спостерігається при зменшенні подачі до  $S_o \leq 0,01 \text{ мм/об}$  в основному за рахунок дії пружних відтиснень інструменту.

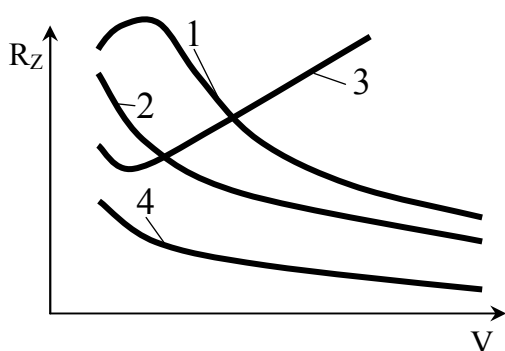


Рисунок 10.1 – Залежність висоти нерівностей поверхні від швидкості головного руху різання заготовки з різних конструкційних сталей: 1 – перлітно-ферітного класу; 2 – корозійностійкі й жароміцні; 3 – легкоплавкі; 4 – марок 30 і 40

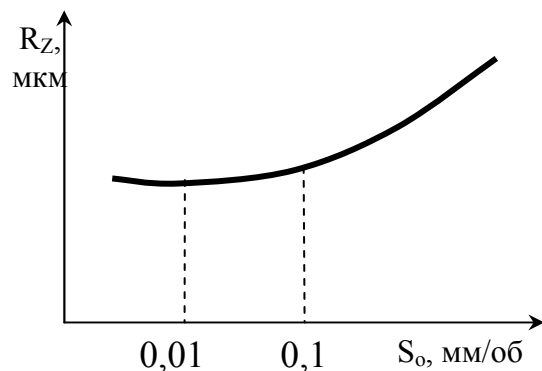


Рисунок 10.2 – Вплив подачі  $S_o$  на висоту  $R_z$  нерівностей поверхні

Вплив глибини різання на дану характеристику незначний і його практично можна не враховувати, а задаватися, виходячи з припуску на обробку.

На шорсткість поверхні впливають геометричні параметри різального інструменту. Зміна переднього кута  $\alpha$  (від  $0^\circ$  до  $20^\circ$ ) в невеликій мірі впливає на якість поверхні, бо його величина на допоміжній різальній кромці при цьому змінюється мало. У свою чергу, задній кут  $\alpha$  значно виявляється на шорсткості, бо в міру зношування інструменту посилюється тертя задньої поверхні леза інструменту по обробленій поверхні. Так, висота нерівностей при обточуванні збільшується на 50%, а розсвердлювання отворів – на 20%. Зростає шорсткість поверхні із збільшенням головного кута в плані  $\varphi$ , особливо в діапазоні великих подач. Відносно впливу радіусу вершини різця слід визначити, що її збільшення сприяє зменшенню висоти  $R_z$ .

При шліфуванні параметри шорсткості залежать від аналогічних факторів, які властиві обробці різанням. Якщо створення нерівностей відбувається без значних відхилень теплоти та пластичних деформацій, то в поверхневому шарі основним фактором у формуванні профілю поверхні може бути зернистість абразивного круга. Крім того, важливим фактором є подача та глибина шліфування. При глибині 0,005...0,02 мм помітний інтенсивний ріст висоти  $R_z$ , а при середній та великій величині її (більше 0,02 мм) відбувається порівняно повільне підвищення  $R_z$ .

Суттєвий вплив на шорсткість і хвилястість поверхні має жорсткість технологічної системи ВПД. У процесі різання під дією радіальної складової  $P_y$  сил різання і сил тертя виникає періодична зміна положення різальної кромки інструменту відносно оброблюваної поверхні. Ці переміщення породжуються щілинами у стиках і деформацією елементів системи. При встановленні рівноваги між силами різання і їх моментами, з одного боку, і силами опору та створюваними моментами, з другого, вказані переміщення



припиняються. При плавній їх зміні спостерігається стійкість процесу, а параметри шорсткості й хвилястості знаходяться у межах допуску.

При обробці заготовок із м'якої маловуглецевої сталі виходить більш шорстка поверхня, ніж із сталі з великим процентним вмістом вуглецю. Підвищення вмісту сірки та присадки свинцю у сталі дає змогу отримати більш чисту поверхню зрізу, ніж заготовки із звичайних сталей. Аналогічні достоїнства спостерігаються при обробці заготовок із сталей з дрібнозернистою структурою у порівнянні з крупнозернистою. Наведені приклади є підтвердженням впливу механічних властивостей, хімічного складу сталі та структури матеріалу на шорсткість поверхні.

У результаті вібрації елементів технологічної системи на оброблюваній поверхні утворюються виступи та западини. Залежно від частоти й амплітуди коливань змінюються форма і розміри поверхневих нерівностей. При відносно невисокій частоті та великій амплітуді коливань на поверхні виникає хвилястість. Остання та мікронерівності можуть змінюватися на окремих ділянках поверхні залежно від зміни жорсткості системи в різних перерізах заготовки.

**Форма поверхні** на відміну від шорсткості, що являє собою відхилення малих ділянок поверхні, характеризується одиночними відхиленнями. Великі відхилення можуть звести нанівець всі переваги заключної операції, у зв'язку з чим на кресленнях вказують величину граничних відхилень. При відсутності на кресленнях таких вказівок відхилення форми поверхні не повинно перевищувати 0,5 допуску на розмір.

Причинами, що викликають відхилення форми від заданої, є похибка верстата, пружні деформації системи ВПД, копіювання похибок попередньої обробки, розмір і форма різального інструменту. Деформації пружної системи можуть призвести до значних відхилень форми, що складають до 90% загального відхилення форми поверхонь оброблюваних деталей. У результаті можуть виникнути бочкоподібність, сідлоподібність, овальність та інші

похибки форми деталі. Слід відзначити, що відхилення форми, викликані деформаціями системи ВПД, можна розрахувати.

Звичайний спосіб вимірювання відхилень у двох взаємно перпендикулярних перерізах не дає повного уявлення про форму деталі. Тому для контролю форми поверхні застосовують спеціальні прилади (наприклад, моделі ВЕ-20А), які проводять безперервну запис форми поверхні в прямокутниках або полярних координатах. У прямокутних координатах записується форма поверхні в діаметральному перерізі та по твірній, а в поперечному перерізі дозволяє встановити похибку циліндричної поверхні деталі (рис.10.3).

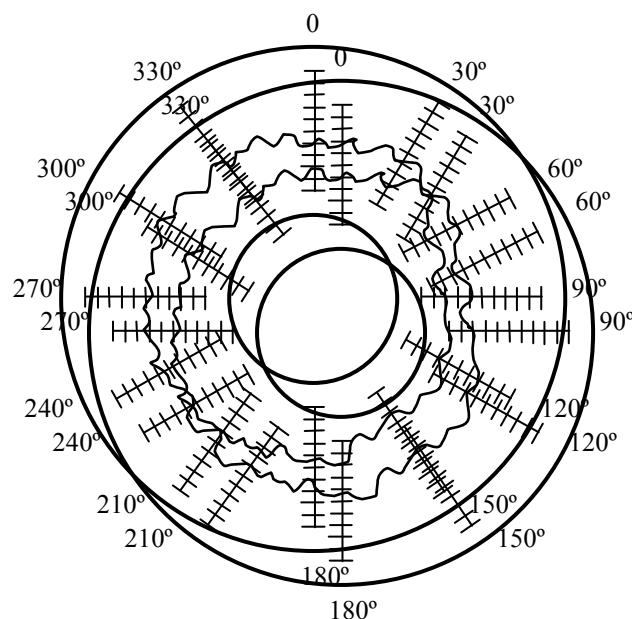


Рисунок 10.3 – Круглограма циліндричної поверхні в поперечному перерізі

Принцип роботи універсального приладу моделі ВЕ-20А заснований на радіальному методі контролю і призначений для перевірки відхилень від округлості будь-якого перпендикулярного до осі перерізу зовнішніх (до 250 мм) і внутрішніх (3...200 мм) поверхонь деталей тіл обертання з високою точністю.

**Хвилястість поверхні.** Причиною хвилястості є вібрація, що виникає у певних умовах обробки різанням. Хвилястість характеризується висотою і кроком хвилі. Суттєвий вплив на експлуатаційні властивості деталі має висота

хвилі, тому вона оцінюється при великому збільшенні (більше 1000-3000 разів) за допомогою профілографів, а також інтерференційних приладів.

**Напрямок нерівностей після обробки різанням.** Висота, форма і кут нахилу нерівностей не дають повного уявлення про геометрію поверхні. Важливою геометричною характеристикою є напрямок нерівностей після обробки, який по-різному впливає на зношування деталі при одних параметрах шорсткості поверхні.

Дослідження показали, що для певних умов експлуатації необхідно здійснювати вибір оптимальній спрямованості нерівностей поверхні. Так, при доброму змазуванні та легких умовах експлуатації доцільно вибирати напрямок нерівностей на робочих поверхнях, що збігається з напрямком робочого руху. При цьому, незважаючи на велику фактичну площу зіткнення поверхонь, добре змазування зберігає їх від схоплювання. При великому тиску та важких умовах роботи, а також відсутності змазки напрямки нерівностей повинні перехрещуватися, тому що паралельний напрямок сприяє заїданню робочих поверхонь.

При розміщенні нерівностей під кутом або перпендикулярно до напрямку робочого руху знос поверхонь збільшується. Характерно, що чим неоднорідний за висотою нерівності на більш твердій третьовий поверхні, тим дужче відбувається знос м'якої складової пари тертя.

### **10.3 Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей**

Експлуатаційні властивості деталі знаходяться у прямому зв'язку з геометричними характеристиками поверхні та механічними властивостями поверхневого шару. Знос деталей залежить від параметра шорсткості поверхні, а зносостійкість деталі визначається головним чином верхньою частиною профілю нерівностей.

У початковий період роботи відбувається прироблення деталей і в процесі її шорсткість, отримана під час обробки, деформується і руйнується, при цьому утворюється нова (робоча) шорсткість з параметрами, відмінними від

технологічної та напрямком нерівностей, що збігаються з напрямком ковзання. Закінчення прироблення характеризується постійністю швидкості зношування, а встановлена шорсткість є отриманою для подальшого періоду роботи. Зміна умов експлуатації за рахунок збільшення тиску, швидкості та інших факторів призводить до додаткового прироблення, а робота в полегшених умовах не супроводжується таким приробленням.

Умови тертя і зношування визначають характер руйнування нерівностей поверхні. Дослідження показали, що при великих тисках і без змащення знос мало залежить від шорсткості й спостерігається його збільшення для більш гладких поверхонь. При полегшенні умов роботи процес зношування поверхні у більшій мірі починає залежати від шорсткості, що збільшується для грубо оброблених поверхонь.

У різних умовах роботи деталей шорсткість їх поверхонь змінюється по-різному. На наведеній залежності (рис.10.4) технологічна шорсткість, що отримана після обробки, позначається точкою. Крива 1 свідчить про досить інтенсивне згладжування нерівностей під час прироблення, а крива 2 характеризує прироблення при абразивному зносі. Підвищення тиску сприяє видавлюванню мастильного матеріалу і в процесі прироблення шорсткість

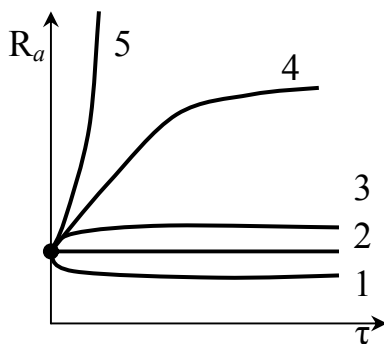


Рисунок 10.4 – Зміна параметра шорсткості  $R_a$  для різних умов роботи

збільшується (крива 3). Створення більш важких умов роботи спряжених з'єднань спричиняє різке збільшення шорсткості поверхні (крива 4). У разі заїдання та задирів відбувається деформація нерівностей і пластичне зношування поверхні (крива 5).

Відхилення форми й хвилястості поверхні також збільшує знос деталей. При цьому даний процес на окремих її ділянках протікає нерівномірно: при бочкоподібності спочатку зношуються середні ділянки, вгнутості – крайні.

Розглянемо залежність величини зносу від висоти і кроку хвилі (рис.10.5). Аналіз дозволив відмітити наступне. Із збільшенням  $N_{хв}$  прямо пропорційно

зростає  $Q$  (тертя без мастильного матеріалу і граничне). У той же час крок хвилі  $L_{хв.}$  мало впливає на величину зносу. Це свідчить про те, що найбільш строго треба регламентувати висоту хвилі  $H_{хв.}$ .

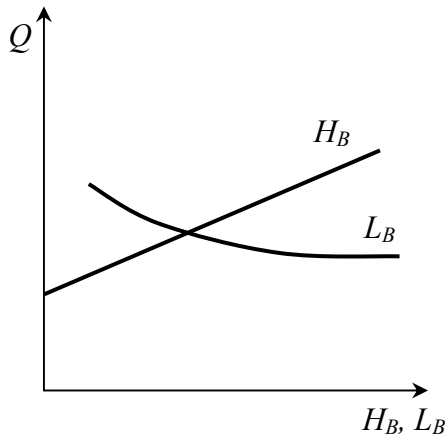


Рисунок 10.5 – Зміна зносу  $Q$  від висоти  $H_{хв.}$  та кроку  $L_{хв.}$  хвилі поверхні

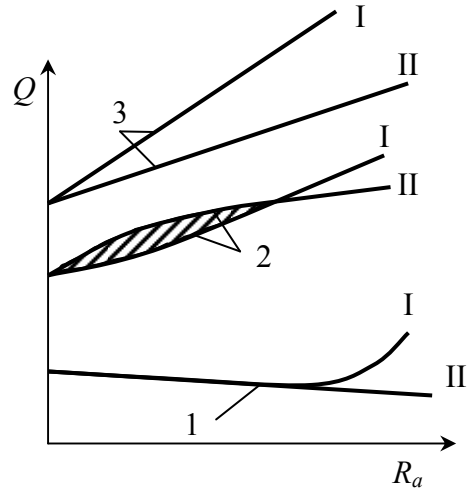


Рисунок 10.6 – Залежність  $Q = f(R_a)$  при різних видах тертя: 1 – з мастильним матеріалом; 2 – граничне; 3 – без мастильного матеріалу

Напрямок нерівностей і шорсткість по-різному впливають на знос спряжених поверхонь при різних видах тертя – при наявності мастила, граничному (напіврідинному), без мастила (рис.10.6). На підставі аналізу наведеної залежності можна виділити таку тенденцію. При терті без мастильного матеріалу знос збільшується в усіх випадках із зростанням висоти нерівностей, але найбільше значення він має місце при напрямку нерівностей, перпендикулярному до спрямованості робочого руху (криві I). При граничному (напіврідинному) терті та малій висоті нерівностей поверхні найбільший знос спостерігається при паралельності напрямку робочого руху (криві II).

При терті з мастильним матеріалом вплив шорсткості виявляється тільки на товщині несучого шару. Але при великій висоті нерівностей поверхні спостерігається вище відзначена тенденція зміни зносу. Отже, особливо важливо обмежити напрямок нерівностей при напіврідинному терті та без мастильного матеріалу. Таким чином, слід вибирати такий метод обробки

різанням, який забезпечує найбільш сприятливий з точки зору зносу напрямок нерівностей, а заключні операції для третювих поверхонь слід призначати не тільки з умов обробки різнанням, а і з урахуванням експлуатації.

Відносний напрямок нерівностей на спряжених поверхнях впливає на коефіцієнт тертя. При цьому найбільший коефіцієнт мають поверхні, в яких напрямок нерівностей збігаються, а найменший досягається при розміщенні напрямку нерівностей під кутом або довільно (притирка, полірування).

Створення у поверхневому шару деталі наклепу сприяє підвищенню опору втомлюваності після дрібноструминної обробки, обкатування роликками та інших операцій. Наклеп знижує пластичність третювих поверхонь і схоплювання металів, що зменшує знос. Проте великий ступінь наклепу може призвести до збільшення зносу та зниження опору втомлюваності. Вплив наклепу на знос сильніше виявляється в металах, схильних до нього.

Керуючи процесом різнання, можна отримати таке сполучення у поверхневому шарі залишкових і експлуатаційних напружень, яке сприятливо позначиться на опорі втомлюваності деталі. Сумування цих напружень дає змогу оцінити доцільність вибраного методу обробки різнанням.

Вплив шорсткості поверхні на міцність при ударному руйнуванні найбільш помітний у заготовок з твердих сталей. Відносно контактної жорсткості спряжень, то вона знижується при зміні висоти мікронерівностей у бік збільшення.

Дослідження антикорозійній стійкості металевих поверхонь показали, що в атмосферних умовах корозія виникає в першу чергу та швидше розповсюджується на грубо оброблених поверхнях. У агресивних середовищах вплив шорсткості на антикорозійну стійкість виявляється менше.

Шорсткість поверхні впливає на умови змащення, теплопровідність і геометричність стиків, умови протікання газів і рідини в трубопроводах, а також інші характеристики поверхонь і спряжень. Це вимагає забезпечення у виробництві цілком певних характеристик шорсткості поверхонь і її контролю.

## 10.4 Технологічні фактори, що впливають на шорсткість поверхні

### деталей

На шорсткість поверхні впливають наступні фактори:

- склад, структура та фізично-механічні властивості оброблюваного матеріалу;
- матеріал, мікрогеометрія та знос різального інструменту;
- умови обробки;
- жорсткість системи ВПД;
- кількість, якість і спосіб підведення мастильно-охолоджуючих речовин.

Залежно від властивостей оброблюваного матеріалу змінюється висота мікронерівностей, а також характер впливу інших факторів на чистоту поверхні. У процесі обробки маловуглецевої сталі отримується шорсткість більша у порівнянні з середньо - і високовуглецевою сталями. Пояснюється це великим вмістом фериту в маловуглецевій сталі, який підвищує схильність до наростоутворення. Наявність і форма включень графіту в чавуні позначається на шорсткості. Чавун з дрібнопластинчастим перлітом має меншу шорсткість, ніж феритовий або чавун з крупнопластинчастим перлітом і великим вмістом графіту, тому що останній сприяє утворенню стружки надлому.

На шорсткість поверхні впливає матеріал інструменту. Так, інструменти із вуглецевої та легованої сталі при малих швидкостях обробки дають більш чисту поверхню, ніж із швидкорізальної. Із збільшенням швидкості різання до 15-30 м/хв шорсткість підвищується внаслідок приварювання дрібних часток стружки до леза різального інструмента, оскільки оброблюваний матеріал (сталь конструкційна) і матеріал інструменту (сталь інструментальна) хімічно споріднені. Відносно твердосплавних інструментів, то на них стружка налипає менше і вони зношуються повільніше, що сприяє отриманню більш чистої поверхні.

Вплив режимів різання на характеристику чистоти поверхні сталевих заготовок виявляється наступним чином (рис.10.7).

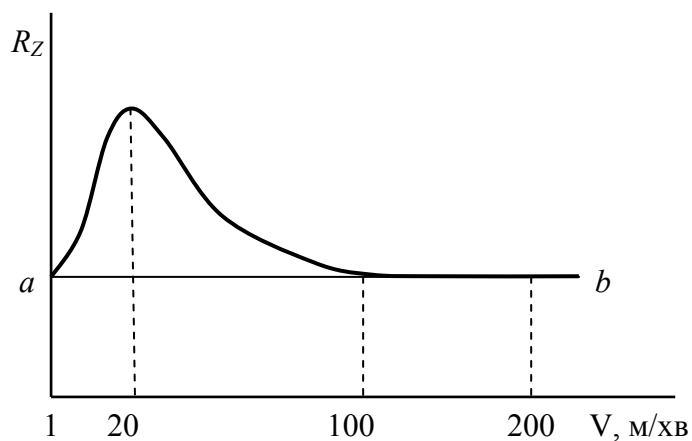


Рисунок 10.7 – Крива, що характеризує вплив швидкості різання на шорсткість

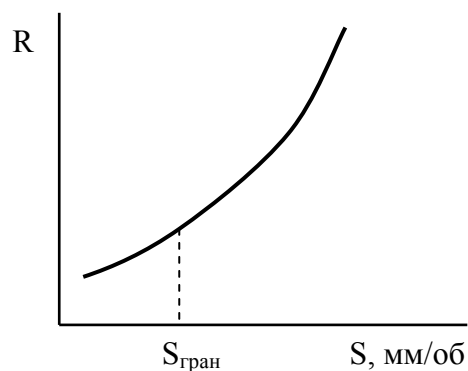


Рисунок 10.8 – Залежність висоти шорсткості від подачі

Шорсткість обробленої поверхні зростає при швидкостях різання, що обумовлюють утворення наросту. При цьому найбільше значення висоти нерівностей досягається при  $V=15-20 \text{ м/хв.}$ , при подальшому зростанні шорсткість зменшується і стабілізується ( $V=100...150 \text{ м/хв.}$ ). Підвищення швидкості різання сприяє зростанню глибини наклепу, проте при швидкостях вище  $20 \text{ м/хв.}$  вона зменшується.

Із графіка (рис.10.7) видно, що шорсткість поверхні зростає при свердлуванні із швидкостями різання в діапазоні  $15...25 \text{ м/хв.}$ , зенкеруванні –  $20...30 \text{ м/хв.}$ , більш висока якість поверхні отримується у процесі виконання розгортки із швидкістю різання  $4...8 \text{ м/хв.}$

Як відмічалось вище, на шорсткість поверхні впливає величина подачі, зокрема збільшення її сприяє зростанню показника якості. Проте зменшувати подачу необхідно до деякого граничного значення  $S_{\text{гран.}}$ , нижче якого чистота поверхні помітно не поліпшується, а іноді навіть погіршується (рис.10.8). Це викликано тим, що при малій подачі на утворення шорсткості великий вплив мають пластичні деформації та нерівномірність подачі.

Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що глибина різання практично не впливає на шорсткість поверхні. Ця тенденція характерна також для зміни глибини та ступеня наклепу. Разом з цим вплив глибини різання може мати місце при обробці заготовок з пластичних металів у зоні



наклепу, що створюється на суміжній попередній операції. У цих випадках шорсткість поверхні знижується у порівнянні з різанням по шарах, що не отримали наклепу при попередній обробки.

Вибором мастильно-охолоджуючої рідини можна поліпшити чистоту поверхні та підвищити стійкість інструменту. Так, застосування мінеральних рослинних мастил дозволяє знизити висоту мікронерівностей на 20-40% у порівнянні з обробкою без охолодження. При шліфуванні клас чистоти поверхні можна підвищити старанною фільтрацією охолоджуючої рідини.

На якість поверхні суттєво впливає жорсткість технологічної системи. При фіксованій характеристики жорсткості верстата та інструменту шорсткість залежить від конструктивних особливостей і розмірів заготовок, а також від жорсткості їх закріплення.

При консольному кріпленні вала шорсткість поверхні знижується на його вільному кінці (рис.10.9, *a*). При обробці в центрах з обертальним заднім центром (рис.10.9, *б*) шорсткість поверхні знижується при  $\ell < 15d$ , а при великій довжині вала ( $\ell > 15d$ ) цей показник погіршується від заднього центру до середини довжини, а потім поліпшується в міру наближення до попереднього центру. Аналогічна картина характерна для кріплення вала в патроні та на задньому обертальному центрі (рис.10.9, *в*). Але, при  $\ell > 15d$  найбільш низький клас чистоти спостерігається на 0,4 довжини вала від торця, що підтримується заднім центром. Така ж епюра зміни параметра шорсткості  $R_z$  спостерігається при кріпленні вала в патроні й люнеті (рис.10.9, *г*). Таким чином, під час обточування заготовок в ідентичних умовах отримується неоднорідність шорсткості поверхні. Це підкреслює труднощі досягнення у рамках виробництва шорсткості поверхонь, що обмежуються вузькими межами.

У процесі обробки деталей абразивними інструментами шорсткість знижується із зменшенням розмірів зерна, підвищенням твердості й швидкості обертання інструменту та деталі, зменшенням поздовжньої і поперечної подачі, збільшенням числа проходів. Проте слід враховувати, що кожному класу чистоти відповідає оптимальне значення зернистості кола, що відповідає

максимальній продуктивності. Застосування способу подачі мастильно-охолоджуючої рідини через пори шліфувального кола зменшує висоту шорсткості на 20-30%.

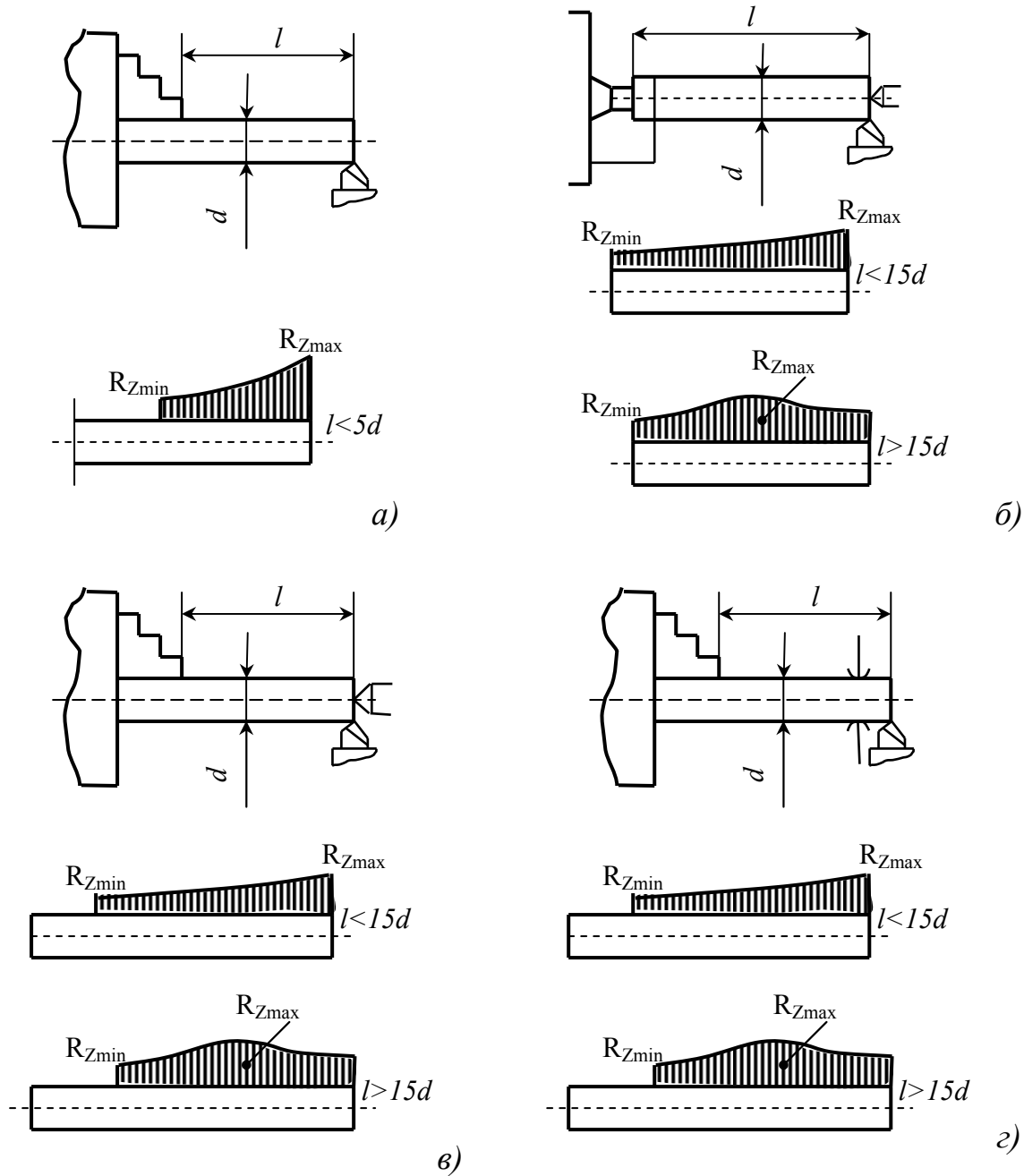


Рисунок 10.9 – Схеми кріплення валів і епюри значень  $R_z$  за їх довжиною

Слід відмітити, що знання впливу технологічних факторів на якість поверхні дає змогу створити умови обробки, що забезпечують досягнення заданого класу чистоти поверхні.

### *Запитання для самостійного контролю*

1. Чим характеризується якість поверхонь деталей машин?
2. Як впливають параметри механічної обробки заготовок та геометричні характеристики різального інструменту на величину нерівностей поверхні?
3. У чому сутність характеристик якості поверхні (форми, хвилястості, напрямку нерівностей), причини виникнення та їх вплив на зношування деталей?
4. Яка існує залежність між зносостійкістю елементів виробу і параметрами шорсткості?
5. Охарактеризуйте вплив напрямку нерівностей та шорсткості на знос спряжених поверхонь при різних видах тертя?
6. Назвіть технологічні фактори, що позначаються на якості обробки деталей
7. Як впливають конструктивні особливості й розміри оброблюваних заготовок, а також жорсткість технологічної системи ВПД на шорсткість поверхні?

## **Тема 11. Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей.**

11.1 Поверхневе загартування.

11.2 Цементация.

11.3 Азотування.

11.4 Іонне азотування.

11.5 Борування.

11.6 Інші методи підвищення зносостійкості деталей.

11.7 Комбіновані технології зміцнення поверхонь деталей.

11.8 Багатошарові електроерозійні покриття.

11.9 ЕЕЛ з наступним ППД.

11.10 ЕЕЛ з наступним іонним азотуванням.

11.11 ЕЕЛ з наступним епіламіруванням.

### **11.1 Поверхневе загартування**

Для підвищення довговічності взаємодіючих деталей застосовуються різні технологічні способи їх зміцнення. До основних з них відносяться: термічна, хіміко-термічна, фізико-хімічна обробка робочих поверхонь деталей, поверхневе пластичне деформування, гальванічні покриття, металізація напилюванням і наплавлення поверхонь, ЕЕЛ і ін.

Основною задачею застосовуваних методів є підвищення якісних параметрів поверхневого шару: підвищення твердості і мікротвердості, зниження шорсткості, підвищення зносостійкості і відновлення зношених ділянок поверхонь, зміна величини і знака залишкових напруг, збільшення втомлюваної міцності і т.п.

З метою одержання високої твердості в поверхневому шарі деталі зі збереженням грузлої серцевини, що забезпечує захисні властивості поверхні з механічною міцністю основи, застосовують поверхневе загартування або хіміко-термічну обробку.

Поверхневе загартування відрізняється від хіміко-термічної обробки меншою тривалістю процесу. Існує кілька методів поверхневого

загартування: у розплавлених металах або солях, полум'яне загартування, електрострумом високої частоти. Усі вони полягають у нагріванні поверхневого шару з наступним загартуванням деталі.

У практиці найбільш широке застосування знайшов останній спосіб (високочастотне загартування) при нагріванні поверхневого шару деталі перемінним струмом високої частоти (СВЧ). Основні переваги методу: можливість контролювати глибину загартованого шару від часток міліметра до 10 мм і більш, мінімальне короблення, висока продуктивність.

Одним з напрямків збільшення опору тертю і зношуванню деталей є створення на їхніх поверхнях шарів хімічних сполук, властивості яких відрізняються від властивостей основних металів. До такої категорії методів, що підвищують зносостійкість металів, відноситься хіміко-термічна обробка, при якій на поверхні металів утворюються з'єднання з вуглецем, азотом, сіркою й іншими хімічними елементами. Ці методи обробки, що одержали назви: цементация, азотування, Ціанування, борирування, хромування і ряд інших, останнім часом знаходять застосування в машинобудуванні переважно для поліпшення противозадирних і антифрикційних якостей тих деталей машин, що працюють у тяжких умовах тертя, коли мається небезпека заїдання.

## **11.2 Цементация**

При цементации, у результаті насичення поверхневого шару виробів вуглецем, виходить високовуглецевий поверхневий шар. Застосовують, як правило, низьковуглецеву сталь (до 0,3%С) і потім піддають загартуванню. У результаті утвориться твердий поверхневий шар (0,5 - 2,5 мм) і м'яка серцевина.

Розрізняють, у залежності від середовища, цементацию у твердому, газоподібному і рідкому карбюризаторах. Температура процесу 900 - 950 °С.

Основний недолік цементации - це те, що в результаті процесу в поверхневому цементованому шарі виникають напруги стиску, а в серцевині

- напруги розтягання. У результаті залишкові напруги приводять до значної деформації виробів.

Азотуванням називають дифузійне насичення азотом поверхонь сталевих і титанових деталей. Після азотування деталі незначно збільшуються в розмірах. Процес азотування ведуть при температурі 500 - 600 °С на готових деталях, що пройшли остаточну термообробку, і доводять до остаточного розміру поліруванням або шліфуванням. З легуючими елементами деталей (хромом, молібденом, ванадієм і алюмінієм) азот утворює тверді і стійкі нітриди. Найбільшу твердість шару який азотували додає легуючий елемент деталей - алюміній.

#### **Термінологічний словник:**

**Поверхнєве загартування** полягає у нагріванні поверхневого шару з наступним загартуванням деталі.

**Цементация** - насичення поверхневого шару виробів вуглецем і потім піддають загартуванню. У результаті утвориться твердий поверхневий шар (0,5 - 2,5 мм) і м'яка серцевина.

**Азотуванням** називають дифузійне насичення азотом поверхонь сталевих і титанових деталей.

**Іонне азотування** - полягає в обробці деталі або інструмента потоком іонів азоту. У результаті останні проникають на контрольовану глибину до 1 мм.

**Ціанірування** - процес одночасного насичення сталі вуглецем і азотом. Розрізняють тверде, рідке і газове Ціанування.

**Нітроцементация** - газове Ціанування

**Боріровання** - процес дифузійного насичення поверхні металу з'єднаннями бора у виді боридов заліза  $Fe_2B$  і  $FeB$ .

**Дифузійне хромування** - процес хромування придатний для будь-яких марок сталей і полягає в насиченні поверхні шару хромом.

**Термодифузійне хромування** сталі, сполучене з її термообробкою.

**Сульфідкування** полягає в тому, що сульфідна плівка має меншу міцність, чим основний метал, легко руйнується при терті і відокремлюється від підстави, запобігаючи захопленню поверхонь тертя. У процесі зношування сірка дифундує всередину металу і з тим більшою інтенсивністю, чим вище тиск у парі тертя.

### **11.3 Азотування.**

**Азотування** проводять у шахтній електричній печі опору з герметичним муфелем з жаростійкої сталі, постаченим вентилятором і трубками для введення і висновку газів. Тривалість витримки в залежності від необхідної глибини шару і температури процесу задають з розрахунку 15 ч на 0,1 мм шару який азотували.

У результаті наявності в шарі який азотували залишкових напружень стиску границя витривалості деталей значно підвищується, причому опір утоми тим вище, ніж товще азотований шар.

Азотуванню піддаються вироби, від яких потрібна висока зносостійкість і мікротвердість поверхневого шару, підвищена циклічна міцність, а також стійкість до корозії.

У порівнянні з цементацією і загартуванням процес азотування протікає при більш низькій температурі; поверхня яка азотувалась має більш високу твердість, зносо- і корозійну стійкість; властивості поверхні яка азотувалась зберігаються практично незмінними при повторних нагрівах аж до 500 - 600 °С, у той час як при нагрівах цементованої і загартованої поверхні до 225 -275 °С твердість її знижується.

### **11.4 Іонне азотування.**

Останнім часом широке поширення одержав процес азотування іонізованим азотом у плазмі тліючого розряду - **іонне азотування** (ІА).

Спосіб ІА полягає в обробці деталі або інструмента потоком іонів азоту. У результаті останні проникають на контрольовану глибину до 1 мм.

Процес зміцнення проводиться на установках ІА з використанням реакційного газу - диссоційованого аміаку. Установа може бути укомплектована пристроєм для іА внутрішніх поверхонь втулок, гільз і т.п. з використанням додаткового анода. ІА проводять у розрідженій азотовмісній атмосфері з підключенням виробів які азотують до негативного електрода (катода). Анодом є контейнер установки (печі). Між катодом і анодом збуджується тліючий розряд. Іони газу, бомбардуючи поверхню виробу, нагрівають її до температури насичення. Потім через камеру прокачують суміш азоту з воднем.

Дотримання технологічного процесу забезпечує мінімальних повідців, деформація незначна і складає ~ 10 мкм на сторону.

Переваги ІА в порівнянні зі звичайним рідинним і газовим азотуванням складаються в можливості цілеспрямованого контролю структури одержуваного поверхневого шару, застосуванні щодо низьких температур (до 500 °С), відсутність повідців і короблення, нешкідливість і екологічна безпека процесу, скорочення тривалості обробки. Тривалість ІА коливається від 0,5 до 36 ч у залежності від необхідної глибини зміцненого шару.

Під ціаніруванням розуміють процес одночасного насичення сталі вуглецем і азотом. Розрізняють тверде, рідке і газове Ціанування.

На склад і властивості зміцненого шару великий вплив робить температура **Ціанування**. При високій температурі процес більше нагадує цементацію, а при низькій - азотування. Ціанування розділяють на високотемпературне при 800 - 950 °С и низькотемпературне при 500 - 600 °С.

У порівнянні з цементованим, ціанований шар має більш високий опір зносу, більшу твердість й опір корозії.

Низькотемпературне рідинне Ціанування одержало широке поширення для підвищення стійкості інструмента зі швидкорізальної сталі. У результаті



на поверхні виникає тонкий (10-15 мкм) карбідонітрідний шар, який володіє гарним опором зносу і менш тендітний, чим чисті карбіди і нітриди.

Високотемпературному рідинному ціанірованні піддають: болти, гайки, ролики, зубчасті колеса і т. п. Глибина шару складає 0,05-0,25 мм.

Газове Ціанування або **нітроцементация**, виробляється в газовому середовищі, що складається з цементуючого і нітріруючого газів. Глибина ціанованого шару за час витримки до 8 ч складає до 2 мм.

### **11.5 Борування.**

**Борування** - процес дифузійного насичення поверхні металу з'єднаннями бора у виді боридов заліза  $Fe_2B$  і  $FeB$ . Застосовують для підвищення зносостійкості і червоностійкості виробів, у тому числі працюючих при підвищених або знижених температурах, знакозмінних і ударних навантаженнях або в агресивних і абразивних середовищах. Боруванню можуть піддаватися будь-які марки сталей, його проводять у суміші порошків, паст, газів або в розплаві солей.

Борування переважно використовується для зміцнення металевих поверхонь, що працюють на стирання: металорізальних інструментів зі швидкорізальних сталей, штампового інструмента, прес-форм, деталей дробильних машин, жолобів грохотів, башмаків коксовиштовхувачів і деталей, що працюють при 500 - 850 °С. Борування доцільно проводити у вакуумних печах або печах із захисною атмосферою. У результаті борування можлива зміна розмірів деталі.

### **11.6 Інші методи підвищення зносостійкості деталей.**

Процес **дифузійного хромування** може використовуватися для підвищення жаро -, зносо -, кавітаційної і корозійної стійкості деталей машин і інструмента в машинобудівній, хімічній, приладобудівній і іншій галузях промисловості. Хромовані вироби володіють підвищеною окалиностійкістю до температури 800 °С. Процес хромування придатний для будь-яких марок

сталей. Твердість хромованого шару підвищується зі збільшенням змісту вуглецю і може досягати HV 1300 при глибині шару до 0,3 мм.

**Термодифузійне хромування** сталі, сполучене з її термообробкою, застосовують при виготовленні втулок, штоків, деталей клапанів і інших деталей, що працюють при температурі 580 °С и вище, для захисту від корозії, ерозії і задирів. Недоліком методу є: мала товщина шару при великій тривалості і складності процесу, короблення деталей.

Процес насичення поверхневих шарів металу сіркою називають сульфідкуванням. Сульфідкуванню піддають технологічне оснащення, виготовлене зі швидкорізальної сталі, і сталей типу ХВГ, 9ХС. Найбільша товщина шару - 0,04 мм.

Ефективність **сульфідкування** полягає в тім, що сульфідна плівка має меншу міцність, чим основний метал, легко руйнується при терті і відокремлюється від підстави, запобігаючи схоплювання поверхонь тертя. У процесі зношування сірка дифундує всередину металу і з тим більшою інтенсивністю, чим вище тиск у парі тертя.

Сульфідкуванню піддають: поршні, втулки, поршневі кільця, сталеві підшипники ковзання, гайки ходових гвинтів, деталі рухливих частин, змазування яких утруднено.

Недоліками методу є значне збільшення шорсткості поверхні і збільшення розмірів деталі. Крім того, сульфідкування не може служити засобом захисту від корозії.

### **11.7 Комбіновані технології зміцнення поверхонь деталей.**

Одним з найбільш ефективних методів нанесення захисних покриттів на металеві поверхні є електроерозійне легування (ЕЕЛ).

Переваги методу :

- висока міцність зчеплення нанесеного матеріалу з основою;
- можливість проведення процесу в локальному місці;

- підвищення твердості, корозійній стійкості, зносу - і жаростійкості поверхонь, що труться;

- відсутність поводок і викривлень.

Недоліки:

- збільшення шорсткості поверхні;

- виникнення в поверхневому шарі розтягуючих напружень;

- зниження втомлювальної міцності виробів.

Недоліки істотно знижують застосування методу для ширшого круга деталей.

Недоліки ЕЕЛ можна усунути, удосконалюючи її технологію: застосуванням комбінованих електроерозійних покриттів (КЕП), створенням нових електродних матеріалів, оптимізацією режимів ЕЕЛ та ін. або поєднанням ЕЕЛ з іншими методами зміцнення, наприклад, поверхневою пластичною деформацією (ППД), іонним азотуванням (ІА), конденсованим іонним бомбардуванням (КІБ), епіламірованієм (ЕП) і т. п.

На рис. 11.1. представлений далеко не повний перелік різних методів зміцнення виробів, у поєднанні з якими ЕЕЛ може утворювати комбіновані технології. Сюди ж можна віднести багатошарові (комбіновані) електроерозійні покриття (КЕП), за допомогою яких можливо формувати поверхневий шар деталі з необхідними властивостями.



Рисунок 11.1 - Комбіновані технології ЕЕЛ.

## 11.8 Багатошарові електроерозійні покриття

### *Комбіновані електроерозійні покриття*

З метою розробки технології нанесення КЕП пошарово наносилися покриття електродами з твердих зносостійких і м'яких антифрикційних матеріалів.

Встановлено, що при нанесенні спочатку в якості технологічного покриття одного з легкоплавких металів (In, Sn, Cd, Pb) с подальшим нанесенням основного покриття з тугоплавкого зносостійкого металу спостерігається різке зниження шорсткості поверхні з  $Ra = 2,86... 3,26$  до  $Ra = 0,54...0,91$  мкм. Одночасно підвищується зносостійкість покриттів.

Проте досвід показує, що мікротвердість таких покриттів невелика. Так, при ЕЕЛ карбідом вольфраму стали 45 мікротвердість у міру поглиблення з поверхні зразка при «кроці» виміру 10 мкм розташовується в ряд 12500, 11000, 4700, 3300, 2800 МПа, а при первинному ЕЕЛ індієм, а потім карбідом вольфраму - 1970, 2500, 3860, 3570, 2800 МПа.

### ***КЕП з підшаром з міді***

Встановлено, що мікротвердість КЕП значною мірою залежить від кількості м'якого матеріалу в технологічному підшарі. Металографічні дослідження за визначенням впливу кількості м'якої складової в КЕП на мікротвердість поверхневого шару проводили з використанням в якості технологічного підшару міді, враховуючи те, що мідь забезпечує найбільш стабільні результати по масопереносу на усіх режимах легування.

Оптимізація режимів легування дозволила отримувати КЕП з підшаром з міді з шорсткістю  $Ra = 0,48 \dots 0,90$  мкм і мікротвердістю 8400...12300 МПа. При цьому найменша шорсткість ( $Ra = 0,48$  мкм) і найбільша мікротвердість (12300 МПа) отримані при використанні в якості основного покриття - твердого сплаву ВК8.

Наявність міді, як на поверхні, так і по глибині шару, підтверджується дослідженнями на растровому електронному мікроскопі-мікроаналізаторі "РЕММА-200".

При нанесенні спочатку тугоплавкого покриття, потім міді мікротвердість поверхневого шару 2300... 2500 МПа. Глибина поширення шару з такою мікротвердістю - до 30 мкм. Потім, у міру поглиблення, знаходиться шар завтовшки 5 - 10 мкм з мікротвердістю 8000...12300 МПа і далі перехідна зона з мікротвердістю 3300...4300 МПа.

### ***Квазібагатошарові КЕП***

З метою розширення сфери застосування, а також збільшення товщини сформованих поверхневих шарів, досліджувалися квазібагатошарові КЕП, сформовані за схемою ВК8 + Cu + ВК8. Мікротвердість таких покриттів знаходиться на рівні 6420...8740 МПа, шорсткість низька ( $Ra = 0,5$  мкм), різкі перепади мікротвердості в перехідній зоні відсутні. Мікротвердість від максимальної на поверхні плавно знижується у міру поглиблення до твердості основного металу. Позитивні результати при зміцненні нікелевого сплаву ХН58МБЮД забезпечують КЕП, створені за схемою ВК8 - ВК8 - Cu і ВК8 - ВК8 - Ni.

### ***Композиційні електроерозійні покриття***

Відоме зносостійке спечене покриття, в якому наповнювачем служить твердосплавна суміш ВК6, а легкоплавким зв'язком - твердий розчин системи Ni - Cr - Si - В. Покриття наносять на робочі поверхні деталей шлікерним методом з подальшим відпалом у вакуумі.

Нами досліджувалася можливість застосування вищезгаданого матеріалу в якості електродів для ЕЕЛ. Виготовленими електродами проводилося ЕЕЛ зразків із сталі 45 і Р6М5 на установці « УЛВ-8». Найбільш прийнятним є застосування електродів з матеріалу складу 90% ВК6 + 10% 1М (де 1М - 70% Ni, 20% Cr, 5% Si, 5% В (вес.%)), які дозволяють формувати поверхневий шар з мікротвердістю до 14000 МПа.

### **11.9 ЕЕЛ з наступним ППД**

Обробка поверхні після ЕЕЛ має визначені особливості. У зв'язку з відносно невеликою товщиною шарів (десятки мікрометрів), формованих при ЕЕЛ, наступне шліфування їх з метою зниження шорсткості поверхні в ряді випадків утруднено.

Для усунення факторів, що погіршують експлуатаційні властивості зміцнених ЕЕЛ шарів, часто використовують поверхневу пластичну деформацію, за допомогою якої можна не тільки підвищити несучу здатність деталей машин і знизити їхню матеріалоемність, але і широко регулювати властивості поверхневого шару.

Установлено, що ефективність ППД залежить від питомого зусилля обкатування і способу ЕЕЛ; знайдені залежності твердості поверхневих шарів від питомого зусилля деформації; отримано, що найбільш раціональними режимами питомих зусиль ППД для покриттів із твердих зносостійких матеріалів є 1000 МПа для АВ і 1500 МПа для ОК.

Аналіз деформованого стану ЕЕЛ шарів, підданих поверхневому пластичному деформуванню проводився з метою визначення геометричних і силових параметрів вогнища деформації.

Розглядалося два види покритть - тверде і м'яке. Коректування геометричних параметрів контактуючих тіл (вала і сферичного індентора) вироблялися з урахуванням параметрів структури ЕЕЛ шару.

При ППД твердих покритть сферичний індентор уминає твердий «білий» шар у більш м'який перехідний підшар, зміцнюючи останній. «Білий» шар служить передатною ланкою, збільшуючи радіус впливу індентора на величину, рівну товщині «білого» шару ( $2/3$  прирощеного шару  $\Delta h_c$ ). Радіус вала збільшується при цьому на  $1/3 \Delta h_c$ .

При ППД м'яких покритть величина радіуса сферичного індентора залишається без змін, а радіус вала збільшується на  $\Delta h_c$ . Деформуванню в цьому випадку піддаються як м'який поверхневий так і перехідної шар.

З обліком приведених вище коректувань, за відомою методикою, визначаються геометричні і деформаційні параметри вогнища деформації.

Зі збільшенням питомого зусилля обкатування шорсткість м'яких і КЕП знижується, мікротвердість м'якого поверхневого шару і підшару зростає, а твердого поверхневого шару залишається без зміни.

Для узагальнення і спрощення вибору найбільш раціонального зусилля деформації пропонуються всі електроерозійні покриття, у залежності від мікротвердості ділянки покриття яку зміцнюють, розбити на три групи: м'які ( $< 2000$  МПа), середні ( $2000 - 3000$  МПа) і тверді ( $> 3000$  МПа).

Для м'яких покритть рекомендуються питомі зусилля деформації  $P_{cp} = 750 - 1250$  МПа, середніх -  $1300 - 1500$  МПа і твердих -  $2500 - 3000$  МПа.

М'які покриття рекомендується зміцнювати ОК. Покриття середньої твердості і тверді можна зміцнювати як ОК, так і АВ, зважаючи на те, що шорсткість ( $R_a$ ) вихідної поверхні не повинна перевищувати  $12$  мкм для ОК і  $5$  мкм для АВ.

ЕЕЛ сталі 45 міддю, приводить до формування в її поверхневому шарі напруг, що розтягують, із глибиною залягання до  $0,1$  мм і максимальною величиною на поверхні до  $170$  МПа. Нанесення на сталь 45 КЕП мідь + хром приводить до зростання, як величини напруги, так і глибини залягання,

відповідно до 210 МПа і 0,15 мм. Застосування міді в якості попереднього покриття знижує величину напруг, що розтягують, при ЕЕЛ хромом з 250 МПа до 210 МПа.

Наступне ППД як м'яких антифрикційних, так і КЕП, формує в поверхневому шарі сприятливі стискаючі напруги, що цілком нейтралізують напруги що розтягують, утворені ЕЕЛ.

При іспиті натурних валів з КЕП Cu + Cr встановлено, що в результаті ЕЕЛ втомлювана міцність знизилася в порівнянні зі зразками без покриття в 1,5 рази (з 395 до 255 МПа). Однак, вона в 1,5 рази вище, ніж у зразків, легованих тільки хромом. Обкатування кулькою КЕП Cu + Cr підвищують їхню втомлювану міцність на 16-20 % у порівнянні зі зразками без покриття.

#### **11.10 ЕЕЛ з наступним іонним азотуванням**

Застосування ЕЕЛ для зміцнення термооброблених деталей, у сукупності з додатковою обробкою (для створення наклепу), дозволяє усунути різке зменшення «провал» твердості в зоні термічного впливу, але загального підвищення твердості в перехідній зоні не спостерігається

Встановлено, що для поліпшення службових характеристик зміцненого шару за рахунок усунення "провалу" твердості і підвищення твердості в перехідній зоні термічно оброблені деталі піддають ЕЕЛ з попереднім або наступним ІА. Тривалість ІА повинна бути достатньої для насичення азотом на глибину зони термічного впливу. Дослідження проводилися на зразках сталі 40Х після термообробки її до твердості НРС 45...50. Як матеріали легуючих електродів використовувалися тверді зносостійкі матеріали: хром, вольфрам і твердий сплав Т15К6.

З метою збільшення суцільності і товщини КЕП, проводилися роботи з їх ІА. Досліджувані зразки сталі 40Х, термооброблені до твердості НРС 30-32, піддавалися ІА і ЕЕЛ у різній послідовності.



Застосування комбінованої технології ЕЕЛ з попереднім або наступним ІА істотно (з 10 - 25 мкм до 70 - 120 мкм) збільшує зону підвищеної твердості і суцільність до 100%.

До практичного застосування можуть бути рекомендовані квазібагатошарові КЕП складу ВК8 + Сu + ВК8 з наступним ІА, що мають низьку шорсткість ( $R_a = 0,6$  мкм), суцільність - 100%, значну глибину сформованого шару (до 120 мкм) і мікротвердість, що плавно знижується в міру поглиблення і сягаючи на поверхні 9500 МПа.

### **11.11 ЕЕЛ з наступним епіламіруванням**

Сутність процесу епіламірування (ЕП) полягає в обробці поверхонь виробів, що зношуються, епіламом. [Епілам](#) - це композиція, що складається з розчинників: хладон 113, суміш хладонів 112 і 113, хладонів 114В2 і ним подібних із введенням у них поверхнево-активних речовин.

ЕП рекомендується застосовувати в інструментальному господарстві. У результаті ЕП на поверхні виробу утвориться мономолекулярний шар, що різко знижує тертя між інструментом і оброблюваним матеріалом, що, у свою чергу, сприяє значному зниженню зносу і збільшенню його терміну служби.

Наявність плівки ЕП визначається за допомогою краплі олії, нанесеної на поверхню інструмента. Крапля невеликого розміру повинна утримуватися на похилій поверхні і зберігати форму, близьку до сферичної (не повинна розтікатися).

Нами проводилися експериментальні роботи з вивчення впливу ЕП на зносостійкість мітчиків (М 22 x 1,5), легованих на установці «Елфа-541». Мітчики піддавалися ЕЕЛ пучком електродів із твердого сплаву ВК6М, молибдену і графіту, марки ЕГ - 4 і наступному ЕП. Потім мітчики з ЕП і ЕЕЛ + ЕП випробувалися у виробничих умовах при нарізуванні різьблення в деталях з латуні. Зносостійкість мітчиків підвищилася в 2 рази.

Таким чином, слід зазначити, що комбіновані технології ЕЕЛ є резервом підвищення якості поверхневих шарів виробів, тому що вони

доповнюють один одного. Наприклад, комбінована технологія ЕЕЛ + ППД - дозволяє сформувати поверхневий шар з високою твердістю, зносостійкістю, низькою шорсткістю і підвищеною втомлюваною міцністю; ЕЕЛ + ЛО - знижує шорсткість електроерозійних покриттів і збільшує глибину проникнення легуючих елементів в основу; ЕЕЛ з накладенням ультразвуку - до чотирьох разів збільшує масоперенос; ЕЕЛ + ІА - усуває «провал» твердості в перехідній зоні і збільшує глибину шару підвищеної твердості; накладення магнітного поля на зону ЕЕЛ збільшує інтенсифікацію масопереносу з анода на катод і т.п.

## **Тема 12. Проектування технологічних процесів складання виробів**

12.1 Основні поняття термінології процесу складання.

12.2 Технологічність виробу при складанні.

12.3 Вихідні дані, потрібні для розробки технологічних процесів складання.

12.4 Організаційні форми складання.

12.5 Характеристика методів складання.

12.6 Створення технологічних процесів складання.

12.7 Особливості проектування автоматичного складання.

12.8 Критерії оцінки запроєктованих технологічних процесів складання

### **12.1 Основні поняття термінології процесу складання**

Складання є завершальною частиною процесу виготовлення машини і здійснюється безпосередньо після механічної обробки. Трудомісткість складальних робіт дорівнює 10 – 15 % від трудомісткості механічної обробки у масовому виробництві, 25 – 40 % - у серійному, 30 – 60 % - в одиничному та дрібносерійному. Така висока трудомісткість в останніх двох випадках пояснюється тим, що значна частина деталей під час складання потребує слюсарної обробки й пригонки.

У процесі проектування технологічних процесів складання виріб поділяють на складальні одиниці (елементи). Більш складні складальні одиниці будують з кількох простих одиниць, зібраних за допомогою сполучних деталей. У свою чергу, прості складальні одиниці отримують з'єднанням окремих деталей. Їх виготовляють з однорідного по найменуванню та марки матеріалу без застосування складальних операцій або з використанням зварювання, паяння, склеювання, запресування та ін. Прикладом можуть служити зварний випускний клапан, маховик. При раціональному компонованні деталей у виробі кожна складальна одиниця може бути зібрана окремо і в подальшому в процесі збирання бере участь як одне ціле.

Нижче розглянемо основні поняття та визначення стосовно до технологічного процесу складання.

**Складання** - утворення з'єднань складових частин виробу. Складанням забезпечується необхідний взаємозв'язок окремих деталей і складальних одиниць. По об'єкту розрізняють складання вузлове й загальне. Процес складання складових частин виробу являє собою вузлове складання. Процес складання безпосередньо виробу є загальним складанням.

**Етап складання виробу** – закінчена частина технологічного процесу виробу або його складової частини, що виділяється відповідно до схеми складання. Технологічний процес складання містить дії по установленню та утворенню з'єднань складових частин заготовки або виробу.

**Складальна операція** – технологічна операція установлення і утворення з'єднань складових частин заготовки або виробу. Ця операція охоплює всі дії, які здійснюються над однією складальною одиницею. Так, запресування на вал підшипників, які розміщені на його кінцях, можна здійснювати в одну або дві операції. Запресування підшипників з однієї та з іншої сторони послідовно означатиме одну операцію, виконану в два переходи. Якщо у партії валів, що складаються з підшипниками, спочатку запресувати підшипники усіх валів з однієї сторони, а потім з іншої, то це буде складання в дві операції, кожна з яких виконується за один перехід. Прийоми при складанні частіше виконують одночасно, наприклад, закручування колісних гайок багатошпindelними гайкообертами.

## **12.2 Технологічність виробу при складанні**

Цей термін означає сукупність властивостей виробу, що визначають його пристосування до технологічної підготовки складального виробництва та складання, а також характеризується відношенням витрат праці, засобів, матеріалів і часу на їх виконання до значень відповідних показників виробів – аналогів, у прийнятих умовах виробництва.

Складальна одиниця повинна мати мінімальне число деталей. Це досягається вибором найбільш простої схеми складання та об'єднання кількох деталей у одну більш технологічну. У свою чергу, простота і зручність складання, доступність місць складання досягається рядом конструктивних рішень. Так, складання спрощується, якщо у конструкціях спряжених та запресованих деталей передбачити фаски або західну частину.

Під час складання деталі, що встановлюється по двом різним поверхням, посадку цілодобово виконувати не одночасно по двом поверхням  $d$  і  $D$  (рис. 12.1, *а*), а послідовно (рис. 12.1, *б*). При з'єднанні деталей з натягом переміщення їх по ділянці з нерухомою посадкою буде в цьому випадку мінімальним.

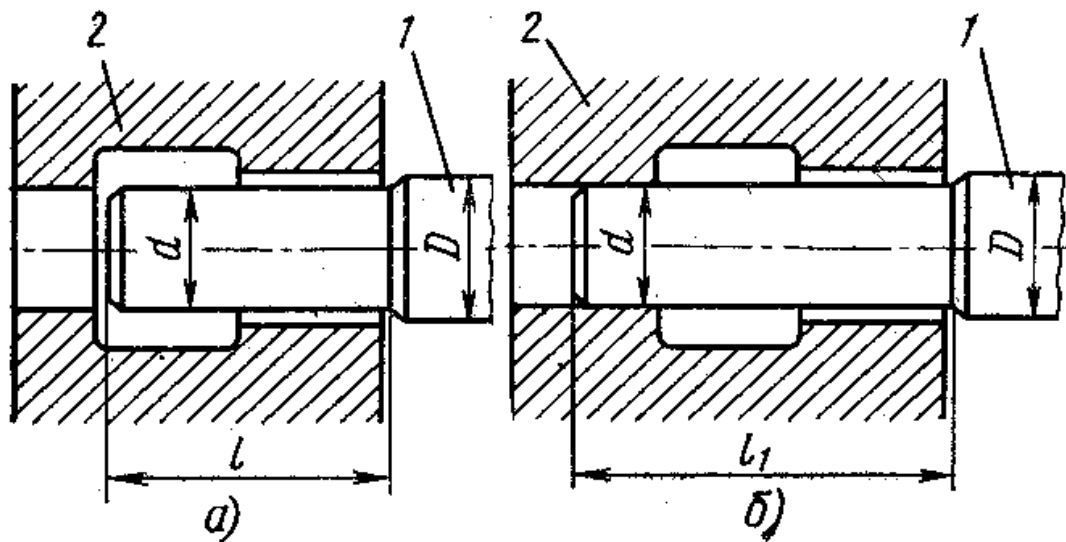


Рисунок 12.1 – Схема складання ступеневого вала з корпусом:

1– вал; 2 – корпус

У масовому й серійному виробництві не допускається додаткова обробка окремих деталей, а також спільна обробка спряжених деталей. Технологічність виробу при складанні повинна відповідати прийнятому типу виробництва. При будь-якому методі складання слід прагнути до максимальної взаємозамінюваності з'єднань. Це спрощує процес складання та ремонту електромеханічних систем. Конструкцією мають бути передбачені монтажні щілини й натяги з урахуванням економічного міркування. Дуже жорсткі вимоги

ускладнюють складання і обробку різанням, а збільшення допусків може призвести до зниження експлуатаційних показників виробу.

Розглянемо деякі технологічні способи складання. Для забезпечення надійності з'єднань деталей здійснюють фіксування шліцьовими з'єднаннями. Найбільш технологічним з існуючих видів шліцьових з'єднань є посадка по зовнішньому діаметру, тому що точна обробка зовнішнього діаметра втулки і вала менш трудомістка, ніж при посадці по внутрішньому діаметру.

У конструкціях широке розповсюджене отримали підшипники кочення. Установлення і фіксування таких підшипників у корпусних деталях здійснюється по виступу в отворі корпусу пружними кільцями. При складанні валів на конічних підшипниках необхідно враховувати деталь обертання: вал, який обертається в корпусі або сам корпус. У цих випадках зовнішні й внутрішні кільця встановлюють по одній з перехідних посадок, а парні їм кільця – по ковзній, при цьому натяг підшипників регулюють переміщенням кілець. Особливість складання валів на упорних кулькових підшипниках полягає в тому, що треба передбачити незалежне установлення упорного й радіального підшипників (рис. 12.2).

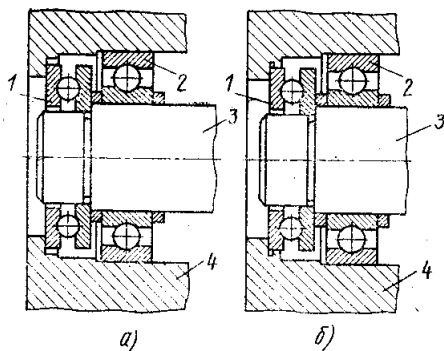


Рисунок 12.2 – Варіанти складання вала на упорних підшипниках

Вільне, незалежне установлення упорного 1 та радіального кулькових підшипників забезпечує їх нормальну роботу (рис. 12.2, а). Разом з цим, подана на рис. 12.2,б конструкція не технологічна. У неї передбачено жорстке центрування обох підшипників по валу 3 і корпусу 4, що перешкоджає нормальній роботі складальної одиниці.

Під час проектування складальних одиниць машин різного призначення особливу увагу треба приділяти технологічності регулюючих пристроїв зачеплення черв'ячних та конічних зубчастих передач, при виготовленні яких необхідно забезпечити точність зачеплення за рахунок точності обробки

різанням. Зачеплення таких пар, як правило, регулюють у процесі складання, що більш технологічно. При складанні черв'ячних і конічних зубчастих передач регулювання зазору здійснюють регулюючими прокладками або втулкою.

### **12.3 Вихідні дані, потрібні для розробки технологічних процесів складання**

Вихідними даними для проектування технологічного процесу є: складальне креслення, що визначає конструкцію виробу або вузла; технічні умови приймання; розмір програмного завдання; строк виконання завдання.

Ступінь заглибленості розробки технологічного процесу складання залежить від типу виробництва і розміру програмного завдання. При великих розмірах випуску процес складання розробляють детально і з можливо повною диференціацією, а у разі незначних обсягів випуску обмежуються тільки загальною наміткою складальних операцій.

Розробку технологічного процесу складання слід починати з вивчення конструкції виробу та умов його роботи, а отже, технічних умов його приймання. Вивчення конструкції треба поєднувати з технологічним контролем складального креслення.

Складальне креслення повинно містити всі дані, які необхідні для виконання складання, а саме: проекції та розміри, що забезпечують швидке і повне засвоєння конструкції виробу; номери та специфікацію деталей і вузлів, що складають виріб; розміри, які необхідно додержувати під час складання; дані про вагу виробу; особливі технічні умови, що ставляться до виробу або вузла.

При відсутності тих чи інших даних вони повинні бути відповідно поповнені, а у разі помилок – виправлені конструкторським бюро. Можливі також пропозиції щодо конструктивних змін, що спрощують складання. Але такі зміни не повинні порушувати конструкції виробу в цілому і несприятливо впливати на його роботу.

Вивчення збираного виробу або вузла завершується збиранням технологічної схеми загального і вузлового складання. При наявності зразка виробу або вузла цей процес спрощується. У цьому разі послідовність складання може бути встановлена у процесі пробного розбирання виробу. Розбираючи зразок, складають технологічну схему розборки і одночасно записують її послідовний порядок. Проводячи складання у зворотному порядку, перевіряють правильність записів і вносять до них корективи. При відсутності зразка складання технологічних схем збирання і встановлення її послідовності є більш складним завданням.

#### **12.4 Організаційні форми складання**

У машинобудуванні складання за формою організації може бути стаціонарним і рухомим. При стаціонарному складанні виріб знаходиться на одному нерухомому робочому місці, до якого подаються всі деталі та вузли. Під час рухомого складання виріб переміщується від одного до іншого місця. На кожному робочому місці виконується постійно одна й та ж операція одним робітником або бригадою.

Стаціонарне складання застосовують в одиничному й серійному виробництві, а рухоме – в серійному, великосерійному і масовому. Стаціонарне загальне складання проводиться концентрованим або диференційним методом. При першому методі усе складання машини з окремих деталей виконують без розбивання на операції від початку до кінця однією бригадою. Цей метод, характерний для одиничного виробництва, потребує великих витрат часу на складання, не дозволяє спеціалізувати робітників на окремих операціях, потребує високої кваліфікації слюсарів-складальників і тому коштує дорого.

При диференційному методі процес складається з окремих операцій, кожна з яких виконується або окремими робітниками, або невеликою бригадою, що спеціалізується на даній операції. Цей метод, що використовується у серійному й масовому виробництві, дає більш високу продуктивність праці. Як часткову диференціацію складального процесу можна розглядати таку



організацію складання, коли одна бригада виконує загальне складання машини з вузлів, попередньо зібраних іншими бригадами. Таким способом досягається деяке підвищення продуктивності праці у порівнянні з концентрованим методом і скорочення тривалості всього процесу складання.

Рухоме складання є диференційним і супроводжується у багатьох випадках детальним розподілом процесу на велику кількість дрібних операцій. У масовому і великосерійному виробництві застосовується в основному поточний метод стаціонарного або рухомого складання.

Поточне складання є прогресивним фактором і служить меті підвищення технологічної культури на всіх етапах виробничого процесу та росту продуктивності праці. Переваги поточного складання визначаються можливістю вести складання ширшим фронтом, скороченням міжопераційних заділів, спеціалізацією робочих місць і робітників, від яких вимагається в цьому разі менша кваліфікація. Впровадженням її досягається скорочення незавершеного виробництва, зниження трудомісткості складальних процесів за рахунок їх диференціації та кращої спеціалізації робітників-складальників. Разом з тим її впровадження пов'язано з виконанням певних вимог, які не обмежуються конвеєром або поточною складальною лінією, а розповсюджуються на усі попередні етапи виробничого процесу. При поточному складанні конструкція виробу повинна бути старанно відпрацьована і узгоджена з технічними умовами поточного виробництва. Повинно бути забезпечено безперервне, пов'язане з темпом складання, постачання лінії взаємозамінюваними деталями і вузлами виробу.

Стаціонарне поточне загальне складання застосовують при випуску великих, важких виробів, переміщення яких є утрудненим. Збираний виріб встановлюють на нерухомому стенді. До нього по черзі підходять бригади, кожна з яких виконує певну операцію і після її закінчення переходить до наступного стенду і на ньому виконує ту ж операцію з іншим примірником виробу.

При рухомому поточному складанні виробу звичайно знаходяться на конвеєрі і переміщуються безперервно або через певний проміжок часу. Для збирання складних виробів вимагається декілька конвеєрів: один – для загального, а інші – для вузлового складання.

Необхідною умовою безперервності процесу поточного складання є його ритмічність: процес повинен бути розбитий на операції, щоб тривалість її була рівною або кратною темпу випуску виробу з поточної лінії.

Поточне складання з переміщенням збираного об'єкта здійснюється наступними способами: з передачею об'єкта від одного робочого місця до іншого вручну (по верстаку, на візках, що переміщуються по безрейковому або рейковому шляху); за допомогою механічних транспортуючих пристроїв, що призначені для міжопераційних переміщень збираних біля них об'єктів; на конвеєрі з періодичним переміщенням (пластинчасті конвеєри, візки, ведомі по рейковому шляху замкнутим ланцюгом), на конвеєрі у період його зупинки; на безперервно рухомому конвеєрі, що переміщує збираний виріб з певною швидкістю, яка забезпечує можливість виконання складальних операцій протягом кожного робочого місця.

Механічна обробка деталей машин повинна забезпечувати додержання технологічних вимог поточного складання (взаємозамінюваності, регламентовані просторові відхилення елементів деталей та ін).

Таким чином, поточне складання є прогресивним і служить для підвищення технологічної культури на всіх етапах виробничого процесу та росту продуктивності праці.

### **12.5 Характеристика методів складання**

Залежно від того, як забезпечується необхідна точність спряження збираної машини, а також точність взаємного розміщення різних поверхонь, складання проводиться різними методами. У машинобудуванні складання здійснюють такими методами: повної взаємозамінюваності, неповної взаємозамінюваності, групової, пригонки та регулювання.

**Складання з повною взаємозамінюваністю** забезпечує задану точність замикаючої ланки без додаткової обробки або вибору та підбору складових деталей. Усі складальні одиниці зібрані при цьому методом з потрібною точністю для усіх виробів. Таке складання спрощує організацію виробництва і полегшує переведення його на поточний метод, створює можливість кооперування та зручність експлуатації.

**Складання з неповною взаємозамінюваністю** полягає в тому, що потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга забезпечується не в усіх зібраних об'єктах, а тільки в частини. Таким чином, на відміну від вищерозглянутого методу встановлюються більш ширші допуски на усі складові ланки розмірного ланцюгу. У результаті цього в деякій частини об'єктів відхилення замикаючої ланки може вийти за встановлений (монтажний) допуск, тобто існує певний ризик (до 5...7 %).

**Складання з груповою взаємозамінюваністю** застосовують у малоланкових складальних розмірних ланцюгах, що характеризуються високою точністю замикаючої ланки. Задана точність досягається включенням до неї складових, що належать до однієї з груп, на які вони попередньо поділені. Економічно доцільний середній виробничий допуск дорівнює

$$\delta'_{сер.} = n \cdot \delta_{сер.},$$

де  $n$  – кількість груп, на які треба поділити складові ланки;

$\delta_{сер.}$  - середній допуск.

У кожній з  $n$  груп потрібна точність замикаючої ланки забезпечується методом повної взаємозамінюваності. Отже, розрахувавши середнє значення виробничого допуску  $\delta'_{сер.}$  за рахунок збільшення в  $n$  разів допуску  $\delta_{сер.}$ , який підраховується для методу повної взаємозамінюваності, визначаємо розширені допуски на розмір для кожної складової ланки.

**Складання з пригонкою** полягає у тому, що задана точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною компенсуючої ланки шляхом зняття шару металу. Основними операціями тут є шабрування, обпилування,

полірування, притирка, свердлування отворів за місцем. Середнє значення допуску компенсуючої ланки  $\delta_k$ :

$$\delta_k = \delta'_\Delta - \delta_\Delta,$$

де  $\delta'_\Delta$  – поширений допуск замикаючої ланки, що визначається економічно досяжними допусками складових ланок розмірного ланцюга;

$\delta_\Delta$  – задана конструктором точність замикаючої ланки, що виходить із службового призначення складальної одиниці.

**Складання з регулюванням** полягає у тому, що потрібна точність замикаючої ланки забезпечується без зняття металу за рахунок використання компенсаторів, які можуть бути рухомими й нерухомими. До рухомих компенсаторів відносяться, наприклад, втулки й кільця, які фіксуються гвинтом. Як нерухомі компенсатори використовують кільця, шайби, прокладки та ін.

При розрахунку розмірних ланцюгів з нерухомими компенсаторами потрібно розрахувати число ступенів  $N$  компенсатора:

$$N = \delta_k / \delta_\Delta + 1; \quad N' = \delta_k / (\delta_\Delta - \delta'_k) + 1,$$

де  $\delta_k$  – величина компенсації;

$\delta_\Delta$  – допуск замикаючої ланки;

$\delta'_k$  – допуск на виготовлення компенсатора;

$N'$  – уточнене число ступенів компенсатора з урахуванням похибок компенсаторів.

Для кожної складальної одиниці визначають величину компенсуючої ланки і залежно від цього для розмірного ланцюга вибирають нерухомий компенсатор ближнього ступеня розмірів. У разі, якщо компенсуюча ланка збільшена, то треба брати компенсатор ближнього меншого ступеня, а якщо зменшена – більшого ступеня. Цим забезпечується часткова компенсація зносу, що з'являється у процесі роботи складальної одиниці.

## 12.6 Створення технологічних процесів складання

Технологічні схеми складання, що обумовлюють взаємний зв'язок складальних елементів виробу або вузла, служать відправними при проектуванні технологічних процесів. У цьому випадку можна розробляти технологічні процеси для окремих груп і підгруп, що складається звичайно з невеликого числа з'єднань, а потім вести розробку технологічного процесу загального складання. Крім того, проектування можуть виконувати одночасно кілька технологів, внаслідок чого вдається значно скоротити час, що витрачається звичайно на розробку технологічних процесів складання. При цьому, технологу необхідно знати умови, в яких буде виконуватися розроблюваний технологічний процес. Він може здійснюватись на проектуваному заводі і на діючому підприємстві. Якщо в першому випадку вибір і розробка варіанта процесу вільні, то в умовах діючого підприємства вони залежать від ряду факторів: наявності обладнання і його завантаження, перспектив установа нового обладнання, виробничих можливостей інструментального цеху та цеху пристроїв.

При розробці технологічного процесу складання перш за всього необхідно скласти схему розподілу виробу. Для цього потрібні такі вихідні дані: опис призначення виробу та складальних одиниць; технічні умови на їх виготовлення та приймання, складальні креслення виробу та одиниць, дані про програму випуску виробу.

На підставі аналізу вихідних даних складають схему складання виробу та складальних одиниць. Ця робота значно полегшується, якщо є зразок, спробне розбирання якого спрощує етапи збирання. Демонтовані елементи в нерозібраному вигляді, являють собою технологічні складальні одиниці, на які повинні бути складені схеми збирання. Останні визначають взаємозв'язок складальних елементів виробу, показують порядок їх комплектування, спрощують розробку процесів складання, а також дозволяють провести технологічну оцінку конструкції. Таким чином, схема складання є основою

розробки етапів збирання виробу. Для складних виробів розробляють технологічні процеси складання окремих груп і підгруп, а потім виробу в цілому.

Для кожного технологічного неподільного елемента, виявленого при поділу виробу або складальної одиниці, визначають оперативний час, потрібний для складання. При цьому сума часу кожної послідовної операції повинна дорівнювати дійсному такту складання:

$$\tau_{\text{дійс.}} = (T_{\text{зм.}} - T_{\text{обс.}} - T_{\text{пер.}}) / N_{\text{зм.}}$$

де  $\tau_{\text{дійс.}}$  – дійсний такт складання;

$T_{\text{зм.}}$  – тривалість робочої зміни;

$T_{\text{обс.}}$  – час на обслуговування робочих місць;

$T_{\text{пер.}}$  – час на регламентовані перерви на відпочинок;

$N_{\text{зм.}}$  – заданий обсяг випуску за зміну.

У випадку коли оперативний час буде більше такта, його прагнуть зробити кратним такту й виконують дану операцію паралельним дублюванням складальних місць. При поточному складанні операцію виконують роздвоєнням потоку (рис. 12.3,а).

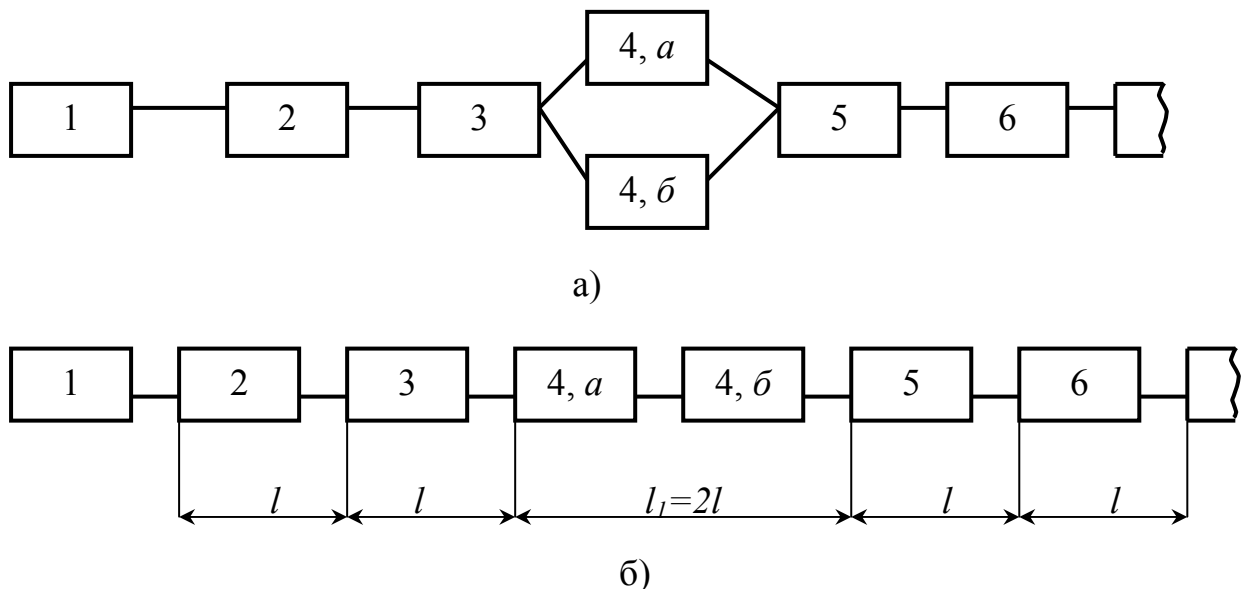


Рисунок 12.3 – Схема дублювання четвертої операції конвеєрного складання: 1...6 – складальні місця

При конвеєрному складанні дублювання складальних робочих місць здійснюється подвоєнням їх довжини в порівнянні з іншими.

Як приклад наведемо схему дублювання четвертої операції конвеєрного складання (рис. 12.3,б). Складальне місце, яке обслуговують два складальники, має довжину  $l_1=2l$ . До початку виконання першим складальником операції на місці 4а другий робітник виконав її на 50 % і знаходиться в середині місця 4б. При переході другого складальника разом з рухомих конвеєром до складального місця 5 перший наближається до середини складального місця 4б і передає зібраний виріб на місце 5. Далі другий складальник переходить на місце 4а, а в цей час перший знаходиться в середині складального місця 4б і таким чином цикл повторюється. При цьому треба відзначити, що на місцях 1-3 працюють по одному складальнику.

До основних технологічних заходів, що сприяють підвищенню техніко-економічних показників процесів складання, слід віднести: заміну в максимально можливої ступіні ручних операцій механізованими; широке застосування складальних і контролюючих пристосувань; ліквідацію або можливе зменшення технологічно неминучих простоїв шляхом відповідного перерозподілу технологічних переходів між операціями з метою можливо більшого ув'язування оперативного часу з темпом складання.

### **12.7 Особливості проектування автоматичного складання**

Використана при конвеєрному складанні механізація у процесі подальшого розвитку переходить в автоматизацію процесів складання і служить ефективним засобом подальшого підвищення продуктивності праці.

У автоматичних і автоматизованих лініях складання орієнтація збираємих деталей або складальних одиниць здійснюється за допомогою різних пристроїв та механізмів, що забезпечують потрібне взаємне положення спряжених поверхонь. Для подачі деталей до робочих місць складання використовують бункирні пристрої, магазини, різні конвеєри. З'єднання виконуються універсальними та спеціальними механізованими струмовими, пневматичними

і гідравлічними інструментами та пристроями. Особлива увага спрямовується на механізацію і автоматизацію виконання різьбових з'єднань, які складають до 25 % трудомісткості складання.

При автоматичному складанні важливу роль грають параметри шорсткості оброблених поверхонь і точність заготовки, що є основою можливості здійснення автоматичного з'єднання деталей. При такому складанні особливе значення має тривалість позицій, що визначають можливість здійснення процесу складання на потоку з певним тактом:

$$t_{зб.н} = t_n + t_o + t_{скл.} + t_{н.з},$$

де  $t_{зб.н}$  – тривалість збираючої позиції;

$t_n$  – час, потрібний для переміщення збираємих деталей до складальної позиції;

$t_o$  – час орієнтації деталей;

$t_{скл.}$  – час складання деталей;

$t_{н.з}$  – час переміщення зібраних деталей на наступну складальну позицію.

Складову  $t_o$  визначають із відношення

$$t_o = l_m / V,$$

де  $l_m$  – довжина робочого ходу орієнтуючих механізмів, м;

$V$  – швидкість руху механізмів, м/хв.

Складові  $t_n$  і  $t_{н.з}$  знаходять за виразом

$$t_{n(n.з)} = l / V,$$

де  $l$  – довжина ланки від лотка магазину до складальної позиції, м;

$V$  – швидкість переміщення зібраних деталей, м/хв.

Час  $t_{скл.}$  (хв.) визначається характером спряження (із зазором, з натягом і гвинтове). При спряжених деталях із зазором час складає:

$$t_{скл.} = \sqrt{2h/g},$$

де  $h$  – висота падіння деталі, м;



$g$  – прискорення вільного падіння, в технічних розрахунках приймається  $9,81\text{м/с}^2$ .

Якщо спряження здійснюється з натягом під пресом, то час буде

$$t_{\text{скл.}} = 1/n_{\text{подв.х}},$$

де  $n_{\text{подв.х}}$  – число подвійних ходів пресу за хвилину.

Час, потрібний на спряження гвинтового з'єднання:

$$t_{\text{скл.}} = l_3 / (nS),$$

де  $l_3$  – довжина різьбового з'єднання (загвинчування), мм;

$n$  – частота обертання загвинчуваної деталі,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$S$  – крок різьби, мм.

Таким чином, тривалість автоматичної складальної позиції визначається швидкостями переміщення різних механізмів, що використовуються у автоматичному складальному процесі. Проектування технологічного процесу автоматичного та автоматизованого складання завершується розрахунком та розробкою циклограми.

## **12.8 Критерії оцінки запроектованих технологічних процесів складання**

Розроблений технологічний процес складання повинен бути ефективним для заданих умов. Оцінку його ефективності можна проводити за наступними показниками:

1. Коефіцієнт завантаження складального робочого місця

$$K = t / (t_g B),$$

де  $t$  – час виконання однієї складальної операції;

$B$  – кількість робітників на збиральному місці;

$t_g = \tau_g$  – оперативний час, потрібний для складання.

2. Продуктивність збирального робочого місця (часова, змінна)

$$Q = TB / t,$$

де  $T$  – робочий час, до якого віднесена продуктивність.

### 3. Середній коефіцієнт завантаження складальної лінії

$$K_{л} = \frac{1}{n_{р.м}} \sum_{1}^{n_{р.м.}} K_{р.м.п},$$

де  $n_{р.м}$  – кількість робочих місць на лінії;

$K_{р.м.п}$  – коефіцієнт завантаження  $n$ -го робочого місця.

### 4. Коефіцієнт трудомісткості складального процесу

$$K_{ск.п} = T_{ск} / \sum T_g,$$

де  $T_{ск}$  – трудомісткість процесу складання;

$\sum T_g$  – сумарна трудомісткість технологічних процесів, що входять до складальної одиниці.

Цей показник дуже важливий, бо характеризує виготовлення збиральної одиниці в цілому. Звичайно він складає 0,1-0,4.

### 5. Порівняння собівартості варіантів технологічного процесу складання

Підсумовуючи собівартість виконання окремих складальних операцій, отримуємо загальну собівартість складання вузла або виробу для різних технологічних варіантів і вибираємо найбільш економічний. Собівартість є основним критерієм, який в сукупності з іншими техніко-економічними показниками служить основою для виробу оптимального варіанта технологічного процесу складання.

### ***Запитання для самостійного контролю***

1. Наведіть поняття термінології технологічного процесу складання
2. У чому полягає технологічність конструкції виробу при здійсненні його збирання?
3. Які потрібні вихідні дані для проектування технології складання виробу?
4. Дайте характеристику стаціонарної та рухомої форм організації складання?

5. Які види й переваги притаманні поточному складанню виробів?
6. У чому сутність методів складання, що застосовуються в машинобудуванні?
7. Назвіть принцип побудови технологічних процесів збирання виробів
8. Перелічіть особливості проектування автоматичного складання
9. Які використовують критерії для оцінки ефективності технологічних схем складання?

## Рекомендована література

### Базова

1. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс]: підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с
2. Горбатюк, Є.О. Технологія машинобудування: Навчальний посібник/ Є.О. Горбатюк, М.П. Мазур, А.С. Зенкін, В.Д. Каразей - Львів: "Новий Світ-2000", 2012. – 358 с.
3. Черевко, О.І. Технологічні основи машинобудування. У 2-х ч.: Навч. посібник. Ч.1. Теоретичні основи технології машинобудування / О.І. Черевко, В.М. Михайлов, І.В. Бабкіна та ін. – Харків: ХДУХТ, 2005. – 82с.
4. Богуслаєв, В.О. Основи технології машинобудування: навчальний посібник для студ. вищ. навч. закладів/ В.О.Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К.Яценко.-Запоріжжя: Мотор Січ, 2003. – 336с.
5. Бондаренко, С.Г. Основи технології машинобудування: навчальний посібник/ С.Г.Бондаренко. -Львів: Магнолія 2006, 2007. –500с.
6. Чумак, М.Г. Матеріали та технологія машинобудування: підручник/ М.Г.Чумак. - Київ: Либідь, 2000. – 368с.
7. Тарельник, В.Б. Сучасні методи формоутворення поверхонь тертя деталей машин: Монографія / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, Б. Антошевський.- Суми: Видавництво «МакДен», 2012.-280 с.
8. Бабук В.В. и др. Дипломное проектирование по технологии машиностроения.- Минск: Вышэйш. шк., 1979.- 464 с.

### Допоміжна

1. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для

- машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1997.- 592с.
2. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». Л.: Машиностроение, 1985. 512с.
  3. Тарельник В.Б. Триботехнологія деталей машин : навчальний посібник / [Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В., Марцинковський В.С., Антошевський Богдан]; за ред. проф. В.Б. Тарельника.- Суми: Видавництво «МакДен», 2010.- 264 с.
  4. Підвищення стійкості різального інструменту технологічними методами : навчальний посібник / [Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В., Марцинковський В.С. та ін.] ; за ред. проф. В.Б. Тарельника.- Суми : Університетська книга, 2011.- 189 с.
  5. Тарельник В.Б. Триботехнічне матеріалознавство та триботехнологія в задачах / В.Б. Тарельник //.- Суми : Університетська книга, 2014.- 192 с.
  6. Жигуц, Ю.Ю. Технологія машинобудування: збірник лабораторних робіт: навчальний посібник для студ. вищих навч. закладів: рек. МОНУ/ Ю.Ю.Жигуц, В.Ф. Лазар.- Київ: Кондор, 2013.-352с.
  7. Івченко Л.Й. Державні стандарти в машинобудуванні і металообробці/ Л.Й. Івченко, В.В. Петрикін.- Харків: Компанія СМІТ, 2006.- 320с.
  8. ДСТУ 2232-93. Базування та бази в машинобудуванні. Терміни та визначення



