

**Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного**

ОЛЕНА ДЕРЕЗА, СЕРГІЙ ДЕРЕЗА

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ
КУРС ЛЕКЦІЙ

*для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності
131 «Прикладна механіка»*



Запоріжжя
2023

УДК 621.9
Д36

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
механіко-технологічного факультету
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного (протокол № 10 від 29 червня 2023 р.)*

Рецензенти:

Журавель Д. П., доктор технічних наук, професор кафедри «Експлуатації та технічного сервісу машин», Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,

Болтянський Б. В., кандидат технічних наук, доцент кафедри «Експлуатації та технічного сервісу машин», Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Д36 Дереза О. О., Дереза С. В.

Технологічні основи машинобудування: курс лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» / О. О. Дереза, С. В. Дереза. Запоріжжя, 2023. 193 с.

У курсі лекцій наведено основні визначення та поняття з теоретичних основ технології машинобудування. Розглянуто послідовність проектування технологічних процесів механічної обробки. Надано інформацію про способи обробки та основні технічні характеристики сучасних металорізальних верстатів. Розглянуті основи обробки матеріалів різанням, інструментальні матеріали, технологічний процес і його складові, вибір заготовок, припуски на механічну обробку.

Зміст видання відповідає освітньо-професійній програмі підготовки бакалаврів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка».

© Дереза О.О., Дереза С. В., 2023
© Таврійський державний
агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ТЕМА 1 ПРОГРАМА КУРСУ. СТИСЛА ІСТОРИЧНА ДОВІДКА ПРО РОЗВИТОК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ..	6
1.1 Стисла історична довідка про розвиток сільськогосподарського машинобудування	6
1.2 Види виробів. Основні поняття та визначення	8
1.3 Види і типи виробництва і їх характеристики	9
1.4 Виробничі технологічні процеси	10
1.5 Класифікація технологічних процесів і форми технологічної документації	12
1.6 Порядок розробки технологічних процесів механічної обробки	17
ТЕМА 2 ТОЧНІСТЬ ТА МЕТОДИ ЇЇ ДОСЯГНЕННЯ	27
2.1 Поняття про точність та методи її досягнення	27
2.2 Систематичні похибки обробки	32
2.3 Вплив жорсткості та податливості на точність обробки	44
2.4 Випадкові похибки обробки	46
2.5 Поняття про якість обробленої поверхні	57
2.6 Поняття припуску, види припусків.....	67
ТЕМА 3 БАЗУВАННЯ ТА БАЗИ У МАШИНОБУДУВАННІ	74
3.1 Поверхні і бази оброблюваної деталі.....	74
3.2 Способи установки деталей. Правило шести точок.....	85
ТЕМА 4 ПРИСТРОЇ ДО МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ.....	94
4.1 Класифікація пристосувань	95
4.2 Основні елементи пристосувань	98
4.3 Методи закріплення деталей.....	106

4.4 Елементарні затискні механізми	107
ТЕМА 5 ТИПОВА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	127
5.1 Технологія виготовлення валів	127
5.2 Технологія виготовлення втулок.....	136
5.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталей.....	141
ТЕМА 6 ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	145
6.1 Обробка шліцьових поверхонь.....	145
6.2 Різноманітність обробки корпусних деталей	157
6.3 Способи нарізування зубів циліндричних шестерень	168
6.4 Технологія обробки черв'яків	179
6.5 Розрахунок режимів різання	183
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	192

ВСТУП

Машинобудування – найважливіша галузь промисловості, яка має величезний вплив на розвиток усього народного господарства.

Технологія машинобудування – це наука, яка вивчає закономірності, що виникають при виготовленні машин, з метою використання цих закономірностей для підвищення якості та продуктивності і зниження собівартості машин.

Очевидно, що технологія зародилася дуже давно, ще коли людина почала виготовляти найпростіші знаряддя праці, однак як наука вона оформилась значно пізніше.

Останнім часом технологія машинобудування бурхливо розвивається на базі комплексної автоматизації виробництва за допомогою верстатів з числовим програмованим керуванням (ЧПК), роботів і гнучких виробничих систем.

Загальновідомо, що досконалість конструкції машин та апаратів визначається не тільки їх відповідністю сучасному рівню техніки, продуктивністю та надійністю, але і можливістю застосувати при їх виготовленні найбільш продуктивні та економічні способи виробництва з урахуванням річної програми випуску і конкретних умов, тобто їх технологічності.

Недооцінка технологічності машин приводить до підвищення їх вартості. Наприклад, конструктор може розробити деталь із закритим отвором, важкодоступним для різального і міряльного інструменту. Таку деталь надзвичайно важко виготовити. Більш технологічно і дешево передбачити відкритий отвір або забезпечити вільний доступ до нього інструмента іншим шляхом.

Дуже актуальною в технології машинобудування є проблема підвищення точності виготовлення виробів, адже вартість оброблення поверхні деталі збільшується приблизно пропорційно квадратові точності, тобто при підвищенні точності у 2 рази вартість обробки збільшується в 4 рази і т. д. Тому точність та шорсткість поверхонь деталей повинна призначатись економічно обґрунтовано, з урахуванням затрат на виготовлення машин та наступного ефекту від їх експлуатації.

Кожне розроблене конструктором креслення виробу повинно затверджуватися відділом головного технолога заводу і проектанту часто доводиться застосовувати весь арсенал знань, щоб довести правильність прийнятого рішення.

ТЕМА 1 ПРОГРАМА КУРСУ. СТИСЛА ІСТОРИЧНА ДОВІДКА ПРО РОЗВИТОК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

1.1 Стисла історична довідка про розвиток сільськогосподарського машинобудування

Зв'язки з іншими дисциплінами. Стисла історична довідка про розвиток сільськогосподарського 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.

Машинобудування є 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 (τεχνη - мистецтво, майстерність; λόγος - 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.

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 інженерів.

Значного зростання галузь досягла в 1870-х і в кінці **XIX століття**. Сільськогосподарське машинобудування до 1914 було провідною галуззю машинобудування, на що впливав попит на машини через брак робочих рук в с.-г. степу, а також наявність сировини (її постачали металеві центри) і палива.

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 агрегаткування 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-конвесрних 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.

В даний час наукові дослідження в цій сфері проводяться в багатьох дослідницьких і навчальних закладах різних міст України, а також в інших містах як ближнього, так і далекого зарубіжжя.

1.2 Види виробів. Основні поняття та визначення

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 роликотілопідшипникові 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. ДСТУ 3321-2003 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.).

1.3 Види і типи виробництва і їх характеристики

Усі машинобудівні підприємства характеризуються видом і типом **виробництва**.

- **ВИД ВИРОБНИЦТВА** – класифікаційна характеристика, що виділяється за методами виготовлення виробів. Наприклад: ливарне, ковальсько-пресове, зварювальне, механоскладальне, термічне виробництво.

- **ТИП ВИРОБНИЦТВА** – класифікаційна характеристика виробництва, що виділяється за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності й обсягу випуску виробів. У машинобудуванні розрізняють одиничне, серійне і масове виробництво.

Розглянемо їх основні характеристики.

Одиничне виробництво характеризується широкою номенклатурою виробів, що виготовляються або ремонтуються, і малим обсягом випуску.

ОБСЯГ ВИПУСКУ – кількість виробів визначеного найменування, типорозміру і виконання, виготовлених або відремонтованих підприємством протягом планованого інтервалу часу.

Характерною ознакою одиничного виробництва є виконання на робочих місцях технологічних операцій без їх періодичного повторення. Устаткування застосовується універсальне, пристосування в основному універсальні (3-кулачкові патрони, лещата і т. ін.), крім випадків, коли без спеціального оснащення операцію виконати неможливо. Вимірювальний і різальний інструменти універсальні. Устаткування розміщується у цеху за типами (ділянка токарних верстатів, фрезерувальних...). Працюють робітники високої кваліфікації.

Серійне виробництво – це виробництво з більш стабільною номенклатурою виробів, що випускаються повторними партіями, розмір яких і розділяє цей тип виробництва на дрібносерійне, середньосерійне і великосерійне. У серійному виробництві

застосовується більш різноманітне устаткування від верстатів із ЧПК у дрібно- і середньосерійному до спеціалізованих і агрегатних верстатів у великосерійному. Пристосування – універсальні, універсально-складальні пристрої (УСП) або переналагоджувані. Ефективно застосування групової обробки з організацією предметно-замкнутих ділянок для виготовлення деталей визначеної групи. Устаткування на таких ділянках розташовується в порядку виконання технологічних операцій. Застосовуваний різальний інструмент від універсального (свердла, різці) до спеціального (свердло-зенкер і т. ін.), вимірювальний інструмент як універсальний (шкальний), так і граничні калібри, і контрольно-вимірювальні пристосування (КВП). Робітники – середньої кваліфікації. Іноді предметно-замкнуті ділянки організовуються за принципом перемінно-потоків ліній, на яких організовується в необхідній для виробництва послідовності обробка конструктивно подібних деталей.

Масове виробництво – характеризується постійним виготовленням виробів у великих кількостях тривалий час. Обсяг випуску в масовому виробництві дозволяє проводити спеціалізацію робочих місць на виконання однієї операції. Устаткування розташовується згідно з послідовністю операцій технологічного процесу. Верстати застосовуються спеціалізовані, спеціальні, автоматичні лінії і т. ін. Пристосування в основному спеціальні (створені для конкретної деталі операції), різальний інструмент – спеціальний, комбінований, спеціальне багатоінструментальне налагодження, але іноді й універсальний. Вимірювальний інструмент – граничні калібри, КВП. Широко застосовуються механізація та автоматизація транспортування заготовок (конвеєри, сходи, сковзало тощо), вимоги до кваліфікації наладчиків високі, а до робітників-верстатників низькі.

1.4 Виробничі технологічні процеси

Для виготовлення машини, що відповідає своєму службовому призначенню і технічним вимогам, в умовах підприємства необхідно виконати комплекс робіт з перетворення матеріалу для вихідних заготовок у готові деталі, складальні одиниці, а з них у готові машини, зробити їхнє випробування й інші роботи аж до

відвантаження споживачам. Весь комплекс цих дій називають поняттям виробничого процесу.

ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС – це сукупність усіх дій людей і знарядь праці, необхідних на даному підприємстві для виготовлення або ремонту виробів (ДСТУ 2974-94). Виробничий процес містить у собі різні технологічні процеси (ТП): заготівельні (кування, литво і т. ін.) і інші роботи. Отже, виробничий процес - поняття більш широке, ніж технологічний процес. Визначення основних частин технологічних процесів встановлено згідно з ДСТУ 2391:2010.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС – закінчена частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії щодо зміни або визначення стану предмета праці. У загальному випадку технологічний процес складається з таких елементів: операції, установи, позиції, переходи, ходи і прийоми.

ТЕХНОЛОГІЧНА ОПЕРАЦІЯ – частина технологічного процесу, виконувана на одному робочому місці. Операції нумерують через 5, наприклад, 05, 010, ...

УСТАНОВ - закінчена частина технологічної операції, яка виконується при незмінному закріпленні заготовки або складальної одиниці. У документації позначаються великими літерами А, Б. Це частина технологічної операції при незмінному закріпленні оброблюваної заготовки або складальної одиниці (рис. 1.1).

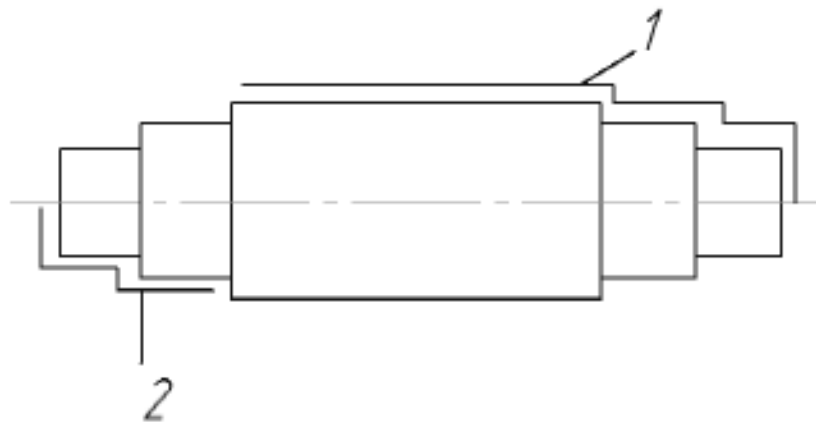


Рис. 1.1. Поверхні 1 і 2 вала, які оброблюються при різних установах

ПОЗИЦІЯ – фіксоване положення, що займає незмінно закріплена заготовка або складальна одиниця під час складання разом із пристосуванням щодо інструмента або нерухомої частини

обладнання при виконанні частини операції. Позначають позиції римськими цифрами I, II, ... (рис. 1.2).

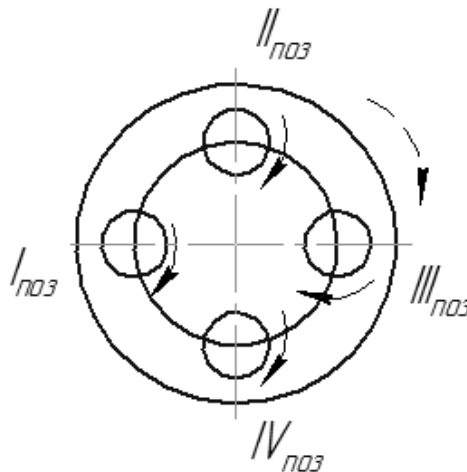


Рис. 1.2. Позиції, які по чергово займає заготовка при обробці на 4-х шпиндельному токарному автоматі

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПЕРЕХІД – закінчена частина технологічної операції, що характеризується застосуванням одних засобів технологічного оснащення при постійних технологічних режимах і установці.

ДОПОМІЖНИЙ ПЕРЕХІД – закінчена частина технологічної операції, що складається з дій людини (або обладнання), що не супроводжуються змінами властивостей предметів праці, але необхідних для виконання технологічного переходу.

РОБОЧИЙ ХІД – закінчена частина технологічного переходу, що складається з однократного переміщення інструмента відносно заготовки та супроводжується зміною форми, розмірів, якості поверхні і властивостей заготовки.

ДОПОМІЖНИЙ ХІД – закінчена частина технологічного переходу, що складається з однократного переміщення інструмента відносно заготовки, яке не супроводжується зміною форми, розмірів, якості поверхні і властивостей заготовки, але необхідна для підготовки робочого ходу.

1.5 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.

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, застосовуваний 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) (рис. 1.3, 1.4, 1.5).

Відповідно до ДСТУ 3278-95 Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення 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.

1.6 Порядок розробки технологічних процесів механічної обробки

Технологічні процеси механічної обробки проєктують у наступній послідовності:

1. Аналіз технологічності конструкції.
2. Визначення типу виробництва й методу його роботи.
3. Вибір методу одержання заготовки, визначення її форми й розмірів.
4. Вибір методів і етапів обробки поверхонь.
5. Розробка технологічного маршруту, запис змісту операцій і переходів, вибір способів базування й закріплення заготовки, засобів технологічного оснащення (ЗТО — устаткування, інструмента, технологічного оснащення).
6. Проведення розмірного аналізу й розрахунки припусків на механічну обробку.
7. Розрахунки режимів різання.
8. Технічне нормування технологічного процесу.
9. Оформлення технологічної документації.

1 Аналіз технологічності конструкції виробу

Технологічністю конструкції виробу називається сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають її пристосованість до досягнення певних витрат при виробництві, експлуатації й ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску й умов виконання робіт. Іншими словами, технологічність — це сукупність властивостей виробу, що забезпечують його просте, якісне, економічне виготовлення й експлуатацію. Відпрацьовування конструкції на технологічність ведеться на всіх етапах проєктування й виробництва виробу. Однак її основна частина повинна бути виконана при проєктуванні. Конструктор повинен мати гарну технологічну підготовку. У той же час оцінка технологічності конструкції при розробці технологічного процесу обов'язкова, тому що кваліфікація технолога в області проєктування технологічних процесів, як правило, вище, чим у конструктора. Оцінка технологічності конструкції на стадії виробництва є перевіркою ефективності конструкторських і технологічних розв'язків. Ця оцінка дозволяє усунути наявні недоліки, внести зміни в конструкцію виробів, розкриває резерви для подальшого підвищення технологічності конструкції.

Аналіз технологічності конструкції є складним завданням, успішний розв'язок якої суттєво залежить від досвіду й кваліфікації виконавців. Коло питань, яке зачіпається при цьому, досить широкий. Докладний їхній виклад представлений у спеціальній літературі. Розглянемо ряд рекомендації зі зміни конструкції виробів деяких типів для підвищення їх технологічності при механічній обробці.

1.1 Корпусні деталі

До цих деталей відносяться рами, станини, корпуси і т.д., які складні й різноманітні по конструкції. Вони є базовими деталями складальних одиниць і служать опорою для інших вузлів і деталей, поєднуючи їх у закінчену конструкцію. Найбільш відомим представником класу таких деталей є корпус редуктора зубчастих передач. Розглянемо деякі приклади вимог до технологічності корпусних деталей. Оброблювані площини рекомендується розташовувати на одному рівні, що дозволяє обробляти ці поверхні за один робітник хід без зупинки й настроювання верстата на інший розмір (рис. 1.6)

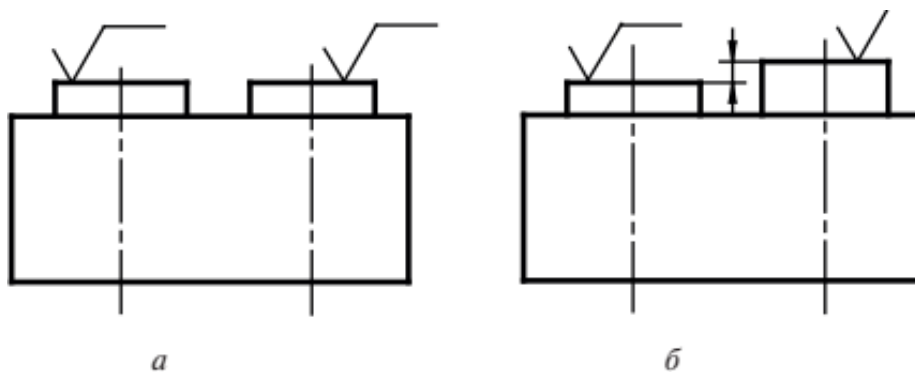


Рис. 1.6. Конструкція корпусних деталей з бобишками:
a — технологічна; *б* — нетехнологічна

Деталь, показана на рис. 1.6, *б*, має глухий паз із виступом (бобишкою) на дні. Недолік конструкції деталі полягає в тому, що для обробки бобишки в розмір по висоті можна використовувати тільки вертикально-фрезерний верстат, а також фрезу, діаметр якої менше ширини паза. Крім того, при обробці кожної деталі необхідно фрезу ввести в паз, налаштувати верстат для обробки бобишки в розмір по висоті, потім вивести фрезу з паза. Ці дії збільшують витрати часу на обробку деталі. Якщо розмір бобишки по висоті буде більше глибини паза, тобто виступати з нього, то обробку бобишки можна

вести кінцевою фрезою будь-якого діаметра, використовувати крім вертикально-фрезерного верстата горизонтально-фрезерний верстат, а також вести обробку деталей з одним настроювання верстата по методу автоматичного отримання розмірів, що підвищує продуктивність.

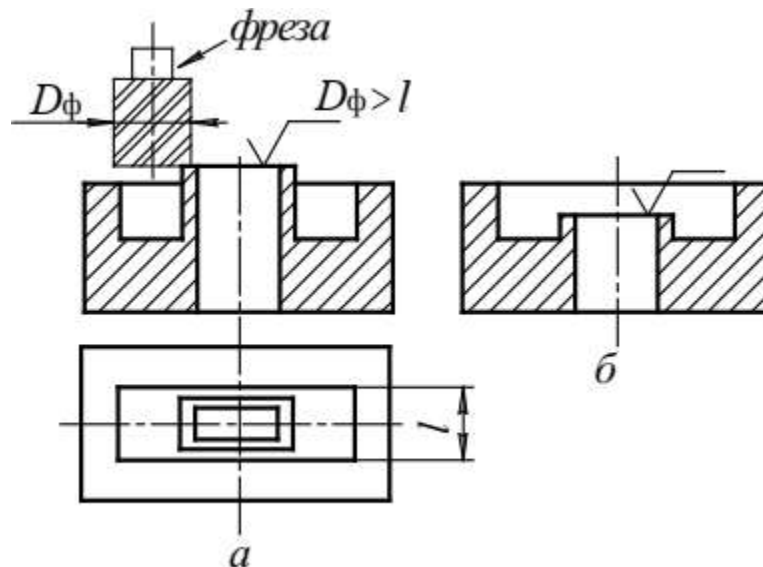


Рис. 1.7 Конструкція корпусних деталей з пазом і бобишкою:
 a — технологічна; b — нетехнологічна

Міжосьові відстані отворів невеликого діаметра в корпусних деталях необхідно задавати так, щоб була можливість їх обробки на багатошпиндельних верстатах (рис. 1.8).

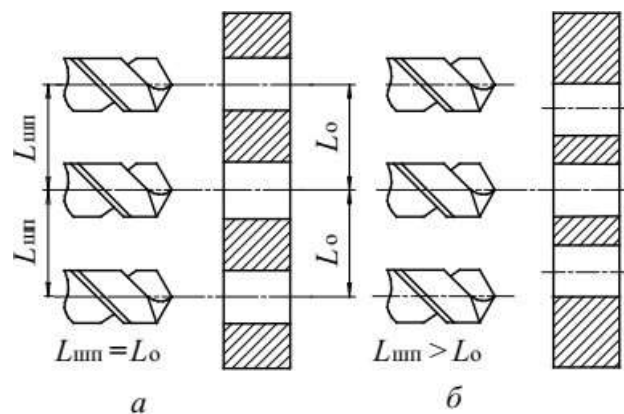


Рис. 1.8. Конструкція корпусних деталей з отворами:
 a — технологічна; b — нетехнологічна

Якщо міжосьові відстані отворів будуть більше мінімальних міжосьових відстаней шпинделів, які можна забезпечити конструкцією свердлильної головки, то рекомендується збільшувати

міжосьові відстані отворів до мінімальних міжосьових відстаней шпинделів.

На рис. 1.9 представлена конструкція деталі зі співвісними отворами. Ці отвори використовуються для установки підшипників. Тому до відхилень від співвісності цих отворів пред'являються підвищені вимоги. Розточування отворів виконують на горизонтально розточувальних верстатах (рис. 1.10). Горизонтально-розточувальний верстат має нерухливу стійку 1, на якій установлена шпиндельна бабка 2 із планшайбою 3 і висувним шпинделем 4.

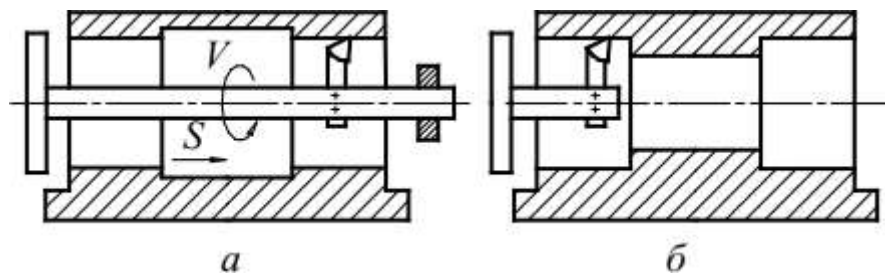


Рис. 1.9. Конструкція корпусних деталей зі співвісними отворами:
a — технологічна; *б* — нетехнологічна

На напрямних станини розташовані поздовжній і поперечний супорта 5 з поворотним столом 6, а також люнет 7 для кріплення борштанги. Борштанга з різцем установлюється в шпиндель консольно або закріплюється вільним кінцем у люнеті. Планшайба й шпиндель мають роздільне обертання. Розточування отворів проводиться обертанням шпинделя з переміщенням його уздовж своєї осі. Якщо ділянка між цими отворами має менший діаметр, то спочатку розточують отвір з одного боку, потім деталь повертають і розточують отвір з іншої сторони. Коли поворот деталі здійснюється зі зміною установка, то при розточуванні отворів виникає погрішність у вигляді відхилення від співвісності. Зміна положення деталі поворотом стола підвищує точність, тобто відхилення від співвісності зменшується, але збільшує час обробки через його витрати на поворот стола.

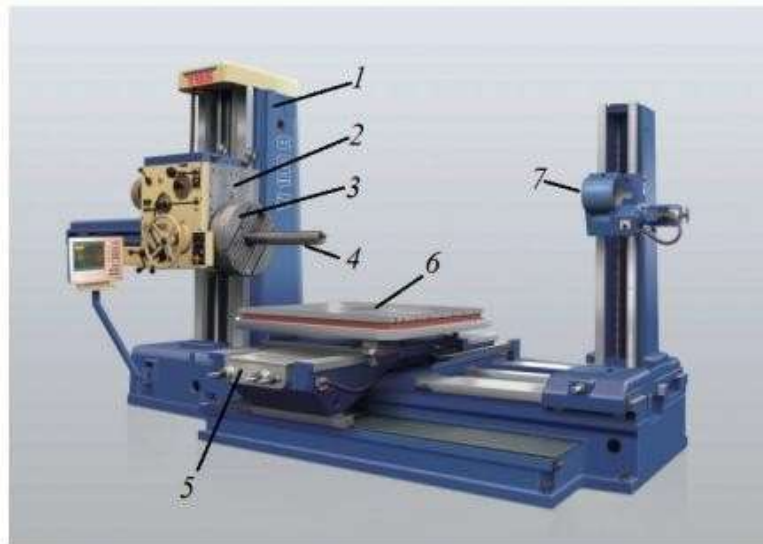


Рис. 1.10. Горизонтально- розточувальний верстат

Розточування отворів на прохід за один установ повністю виключає погрішність у вигляді відхилення від співвісності. Тому для підвищення технологічності конструкції необхідно, щоб діаметр ділянки між отворами був більше діаметра отворів. На рис. 1.11 представлена конструкція деталі, при обробці якої необхідно одержати точний розмір між внутрішніми торцевими поверхнями. Цей розмір забезпечується підрізуванням торців на горизонтально-розточувальному верстаті. Для виконання даної операції на планшайбі верстата є спеціальний супорт, який працює від індивідуального привода з радіальною подачею за рахунок переміщення по напрямних планшайби. На супорт встановлюється оправлення з різцем. Рух різання проводиться обертанням планшайби. Підрізування внутрішніх торцевих поверхонь є складною операцією. Щоб виключити підрізування цих поверхонь і забезпечити розмір між ними, доцільно встановити в отвори деталі втулки по посадці з натягом.

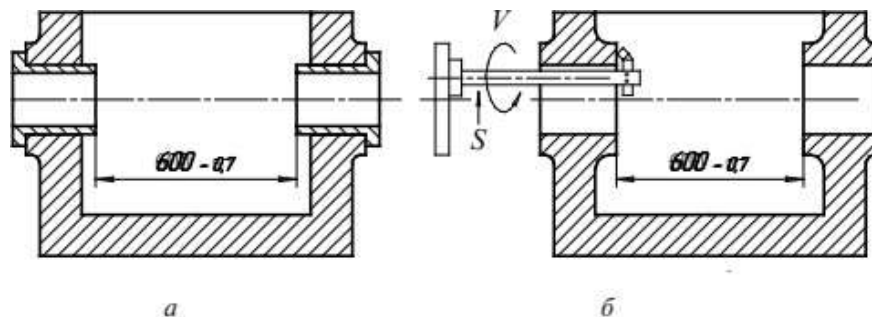


Рис. 1.11. Конструкція корпусних деталей з точним розміром між внутрішніми торцями отворів:
a — технологічна; *б* — нетехнологічна

На рис. 1.12 представлена деталь, отвори в якій обробляються на горизонтально-розточувальному верстаті.

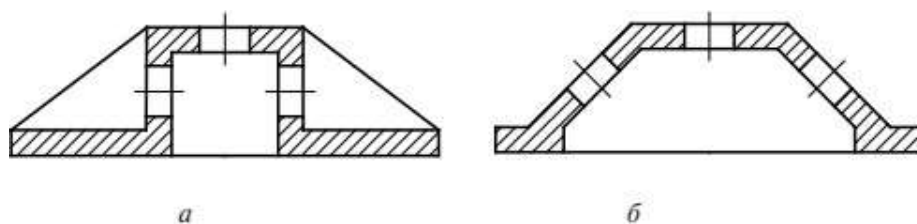


Рис. 1.12. Конструкція корпусних деталей з отворами:
a — технологічна; *б* — нетехнологічна

Якщо поверхні з отворами розташовані похило, те при обробці цих отворів на горизонтально-розточувальному верстаті необхідно використовувати пристосування, у якому заготовка встановлюється так, щоб осі отворів розташовувалися горизонтально. Проектування й виготовлення такого пристосування пов'язане з додатковими працезатратами. Крім того, кожний отвір необхідний буде розточувати окремо зі зміною установка. Тому для підвищення технологічності такої конструкції доцільно розташовувати поверхні з отворами вертикально. При установці заготовок на верстаті необхідно забезпечити їхнє стійке положення. Для цього опорні поверхні заготовки повинні мати достатні розміри. Опорна поверхня заготовки, представленої на рис. 1.13, *б* має невеликі розміри, тому її положення при обробці площин бобишек є нестійким.

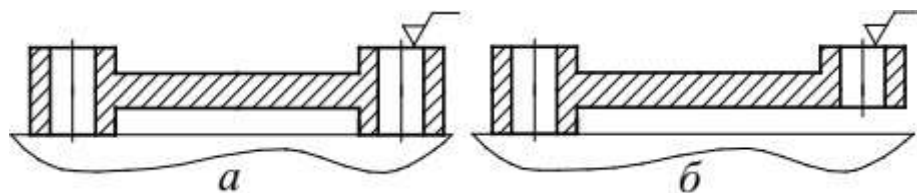


Рис. 1.13. Конструкція деталей з опорними поверхнями:
a — технологічна; *б* — нетехнологічна

Підвищити стійкість заготовки можна за рахунок зміни її конструкції, доповнивши її елементами з опорними поверхнями. При проектуванні деталей на опорах доцільно використовувати конструкцію із трьома опорами (рис. 1.14). Висота опор через погрішності розмірів може бути неоднаковою. Тому при більшій кількості опор деталь, при установці на площину, буде опиратися на три крапки, причому щораз на різні, що створює невизначеність положення деталі при закріпленні.

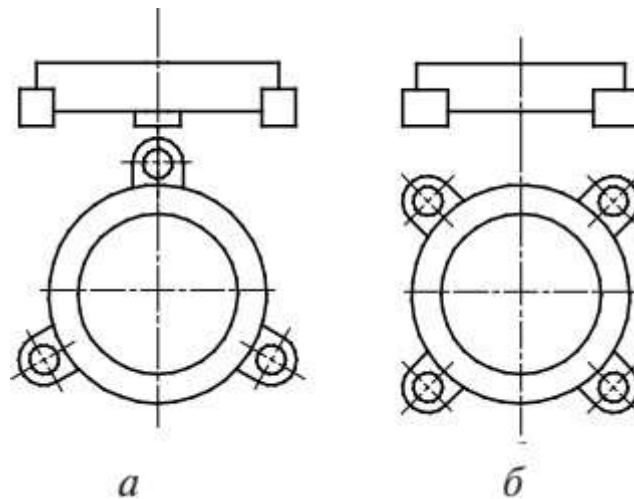


Рис. 1.14. Конструкція корпусних деталей на опорах:
a — технологічна; *б* — нетехнологічна

При свердленні отворів необхідно забезпечувати вхід і вихід інструмента перпендикулярно поверхні, що виключає його поломку. Тому поверхні з ухилами необхідно попередньо обробити так, як показано на рис. 1.15, *a*.

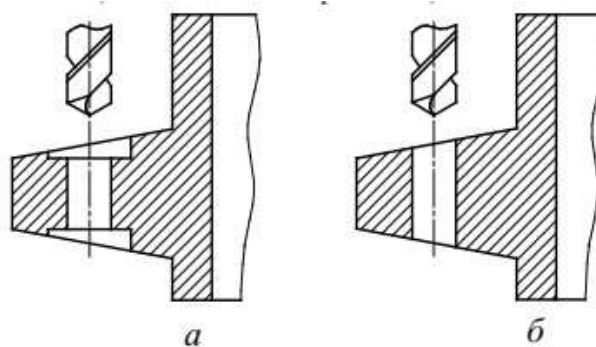


Рис. 1.15. Конструкція корпусних деталей з отворами:
a — технологічна; *б* — нетехнологічна

На рис. 1.16, *б* представлена деталь із фланцем, отвору на якому розташовані близько до корпусу деталі. Для свердління цих отворів необхідно використовувати свердел великої довжини, яка може не відповідати стандарту. Для використання стандартного свердла доцільно збільшувати відстань між осями отворів на фланці (рис. 1.16, *a*)

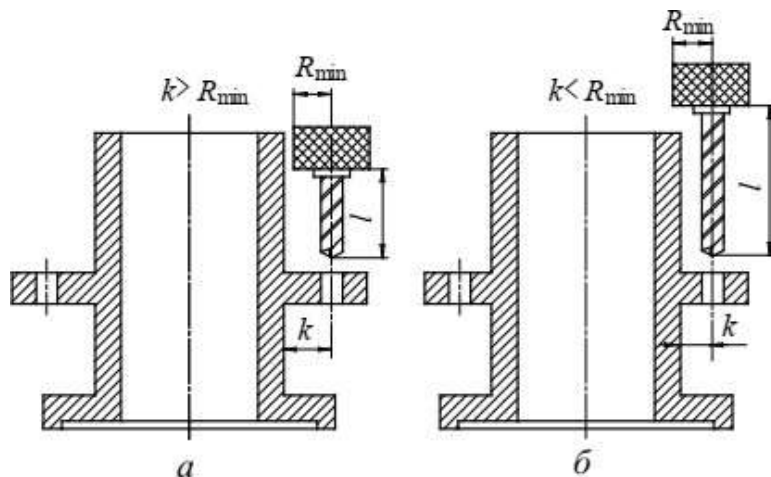


Рис. 1.16. Конструкція корпусних деталей з отворами на фланці:
 a — технологічна; b — нетехнологічна

1.2 Вали та осі

По конструкції вали й осі можуть бути гладкими, східчастими, порожнистими й суцільними. На валах і осях розміщаються зубчасті колеса, шків, підшипники. Базовим елементом валів і осей є геометрична вісь, щодо якої в основному проводиться нормування точності елементів цих деталей. Приклади вимог до технологічності валів і осей:

- Точні вали й осі необхідно обробляти в центрах з повідковим патроном.
- Там, де можливо, слід застосовувати гладкі осі й вали. Це дозволяє використовувати при виготовленні точний калібрований прокат, що зменшує працезатрати на механічну обробку.
- Для валів, що зазнають загартування струмами високої частоти (ТВЧ), гострі краї елементів у зоні нагрівання слід притупити, щоб уникнути їхнього оплавлення через більш високу швидкість і температури нагрівання.
- При загартуванні східчастих валів ТВЧ рекомендується залишати незагартованими ділянки переходу від одного щабля до іншої з жолобниками, щоб знизити концентрацію напружень і зменшити ймовірність появи гартівних тріщин.
- При обробці валів на багаторізцевих токарських напівавтоматах довжину щаблів слід вибирати однаковій або кратній довжині найменшого щабля. У цьому випадку вал можна буде обробляти по довжині за один робітник хід (рис. 1.17).

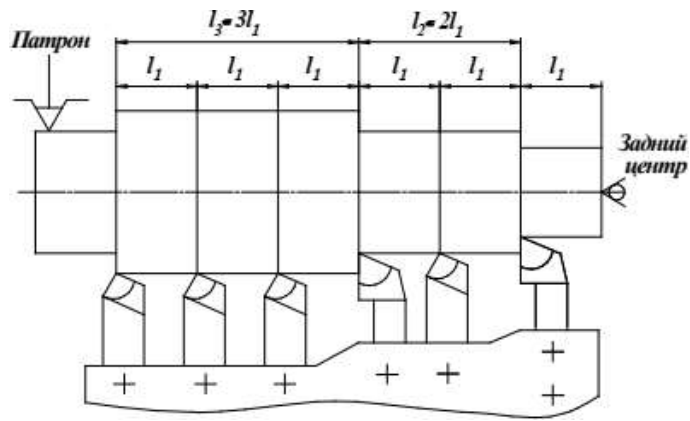


Рис. 1.17. Обробка вала на токарському багаторізцевому напівавтоматі

– Східчасті вали й осі необхідно проектувати з мінімальним перепадом діаметрів ступеней, тому що при цьому знижується концентрація напружень на ділянках переходу від однієї ступені до іншої й підвищується опір утоми.

– Заготовку для валів із фланцем на кінці доцільно одержувати висадженням на горизонтально-кувальних машинах, штампуванням або зварюванням, що знижує трудомісткість механічної обробки й витрата металу.

1.3 Втулки

– Деталі типу втулок і кілець застосовують як муфт, розпірних елементів і опор для валів. Втулки можуть мати різьбові, шліцьові поверхні, а також буртики й канавки на зовнішній і внутрішній поверхнях.

– При конструюванні деталей цього класу рекомендується:

– Для забезпечення співвісності внутрішніх і зовнішніх поверхонь обробляти ці поверхні за один установ.

– Не застосовувати глухі отвори, розташовані із двох сторін втулки, тому що обробка таких отворів проводиться за два установи, а при зміні установи виникає відхилення від співвісності.

– Не застосовувати внутрішні канавки малого діаметра з точними розмірами.

– Втулки зі шліцями виконувати наскрізними, щоб забезпечити вільний вихід різального інструменту й використовувати протягання (рис. 1.18, а).

– Не використовувати переривчасті поверхні зі шліцями, що дозволяє зменшити кількість ударів по різальному інструменту при врізанні (рис. 1.18, в). Вимоги до технологічності для інших типів

виробів (важелів, зубчастих коліс і т.д.) можна знайти в спеціальній літературі.

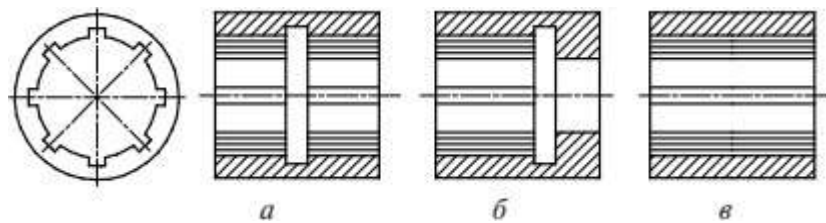


Рис. 1.18. Конструкція втулок зі шліцями:
a, б — технологічна; *в* — нетехнологічна

Контрольні запитання

1. Поняття технологічності деталі у машинобудуванні.
2. Загальні вимоги, які визначають технологічність конструкції виробу.
3. Які параметри визначають технологічність деталі?
4. Які типи виробництва ви знаєте і як їх визначають?
5. Назвіть основні характеристики одиничного виробництва.
6. Назвіть основні характеристики серійного виробництва.
7. Назвіть основні характеристики масового виробництва.
8. Які види заготовок існують у машинобудуванні?
9. Якими методами отримують заготовки?
10. Як розрахувати розміри заготовки?
11. Назвіть основні елементи технологічного процесу.

ТЕМА 2 ТОЧНІСТЬ ТА МЕТОДИ ЇЇ ДОСЯГНЕННЯ

2.1 Поняття про точність та методи її досягнення

Найважливішою характеристикою сучасних машин є їх якість. Відповідно до ДСТУ під якістю продукції розуміється сукупність властивостей, що обумовлюють її придатність задовольняти певним потребам відповідно до її призначення.

Для загальної оцінки якості машини велике значення має її працездатність.

Працездатність – стан виробу, при якому воно здатне виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів в межах встановлених нормативно-технічною документацією. У зв'язку з цим однією з основних характеристик сучасних машин є їх надійність.

Надійність – це властивість виробу зберігати в часі свою працездатність (ДСТУ 2860-94) [10].

Надійність виробу – це узагальнена властивість, яка включає поняття безвідмовності і довговічності.

Безвідмовність – це властивість виробу безперервно зберігати працездатність протягом деякого періоду часу або деякого напруження. При цьому передбачається самостійна безперервна робота виробу без якого-небудь втручання для підтримки працездатності (тобто без регулювання і ремонту).

Довговічність – це властивість виробу зберігати працездатність до настання граничного стану, тобто протягом всього періоду експлуатації при встановленій системі технічного обслуговування і ремонтів.

Точність більшості виробів машинобудування і приладобудування є найважливішою характеристикою їх якості. Сучасні могутні і високошвидкісні машини не можуть функціонувати при недостатній точності їх виготовлення у зв'язку з виникненням додаткових динамічних навантажень і вібрацій, що порушують нормальну роботу машин і що викликають їх руйнування.

Підвищення точності виготовлення деталей і збірки вузлів збільшує довговічність і надійність експлуатації механізмів і машин. Цим пояснюється безперервне посилювання вимог до точності виготовлення деталей і машин в цілому. Якщо недавно в

машинобудуванні вважалися точними деталі, виготовлені в межах допусків в декілька сотих долях міліметра, то в даний час для деяких точних виробів потрібні деталі з допусками в декілька мікрометрів або навіть десятих доль мікрометра.

Важливе значення має підвищення точності і для процесу виробництва виробів. Підвищення точності початкових заготовок знижує трудомісткість механічної обробки, зменшує розміри припусків на обробку деталей і приводить до економії металу.

Отримання точних і однорідних заготовок на всіх операціях технологічного процесу є однією з неодмінних умов автоматизації обробки і збірки.

Під точністю деталі розуміється її відповідність вимогам креслення: за розмірами, геометричною формою, правильності взаємного розташування оброблюваних поверхонь і по ступеню їх шорсткості.

Точність виготовлення містить три складові точності: *конструкторську, технологічну і експлуатаційну.*

Конструкторська точність розглядається в період проектних робіт і визначається похибками, закладеними у виробничому процесі з урахуванням його впливу на функціональні характеристики і вартість виробу.

Технологічну точність розглядають у процесі виробництва виробів.

Експлуатаційна точність залежить від часу експлуатації виробу.

Задану точність обробки заготовки можна досягти одним з двох принципово відмінних методів: пробних ходів і промірів, а також методом автоматичного отримання розмірів на настроєних верстатах.

Метод пробних ходів. Суть методу полягає в тому, що до оброблюваної поверхні заготовки, встановленої на верстаті, підводять ріжучий інструмент і з короткої ділянки заготовки знімають пробну стружку. Після цього верстат зупиняють, роблять пробний вимір отриманого розміру, визначають величину його відхилення від креслярського і вносять поправку в положення інструменту, яку відлічують по розподілу лімба верстата. Потім знов проводять пробну обробку («хід») ділянки заготовки, новий пробний вимір отриманого розміру і при необхідності вносять нову поправку до положення інструменту. Таким чином, шляхом пробних ходів і

промірів встановлюють правильне положення інструменту щодо заготовки, при якому забезпечується необхідний розмір. Після цього виконують обробку заготовки по всій її довжині. При обробці наступної заготовки всю процедуру установки інструменту пробними ходами і проміжними промірами повторюють.

У методі пробних ходів і промірів часто застосовують розмітку. В цьому випадку на поверхню початкової заготовки спеціальними інструментами (рисувалками, штангенрейсмусом і ін.) наносять тонкі лінії, що показують контур майбутньої деталі, положення.

Метод пробних ходів і промірів має наступні переваги:

- при неточному устаткуванні дозволяє отримати високу точність обробки; робочий високої кваліфікації шляхом пробних промірів і ходів може визначити і усунути похибка заготовки, що виникла при її обробці на неточному верстаті;

- при обробці партії дрібних заготовок виключає вплив ріжучого інструменту на точність розмірів, що витримуються при обробці; при пробних промірах і ходах визначають і вносять необхідну поправку до положення інструменту, потрібну у зв'язку із зносом останнього;

- при неточній заготовці дозволяє правильно розподілити припуск і запобігти появі браку; з маломірної заготовки при розмітці часто вдається викроїти контур оброблюваної заготовки і отримати придатний виріб;

- звільняє робочого від необхідності виготовлення складних і дорогих пристосувань типу кондуктора, поворотних і ділильних пристосувань і ін.; положення центрів отворів і взаємне розташування оброблюваних поверхонь зумовлюється розміткою.

Разом з тим метод пробних ходів і промірів має ряд серйозних недоліків:

- залежність точності обробки, що досягається, від мінімальної товщини стружки, що знімається; при токарній обробці доведеними різцями ця товщина не менше 0,005 мм, а при точінні зазвичай заточеними різцями вона складає 0,02 мм (при деякому затупленні різця навіть 0,05 мм); очевидно, що при роботі пробними ходами робочий не може ввести до розміру заготовки поправку менш товщини стружки, що знімається, а отже, і гарантувати отримання розміру з похибкою, меншою цієї лощини;

- поява браку з вини робочого, від уваги якого в значній мірі залежить точність обробки, що досягається;

- низьку продуктивність обробки із-за великих витрат часу на пробні ходи, проміри і розмітку;

- високу собівартість обробки деталі унаслідок низької продуктивності обробки у поєднанні з високою кваліфікацією робочого, що вимагає підвищеної оплати праці.

У зв'язку з перерахованими недоліками метод пробних промірів і ходів використовується, як правило, при одиничному або дрібносерійному виробництві виробів, в дослідному виробництві, а також в ремонтних і інструментальних цехах. Особливо часто цей метод застосовується у важкому машинобудуванні. При серійному виробництві цей метод знаходить застосування для отримання придатних деталей з неповноцінних початкових заготовок («порятунок» браку по литву і штампуванню).

В умовах великосерійного і масового виробництва метод пробних ходів і промірів використовується головним чином при шліфуванні, оскільки дозволяє без зусиль компенсувати знос абразивних інструментів, що часто протікає нерівномірно і викликає втрату точності обробки. При підвищенні якості абразивів і досягненні їх однорідності, а також при створенні систем автоматичної компенсації зносу кругів метод пробних ходів і промірів повинен бути витиснений також і з шліфувальних операцій.

Метод автоматичного отримання розмірів на настроєних верстатах

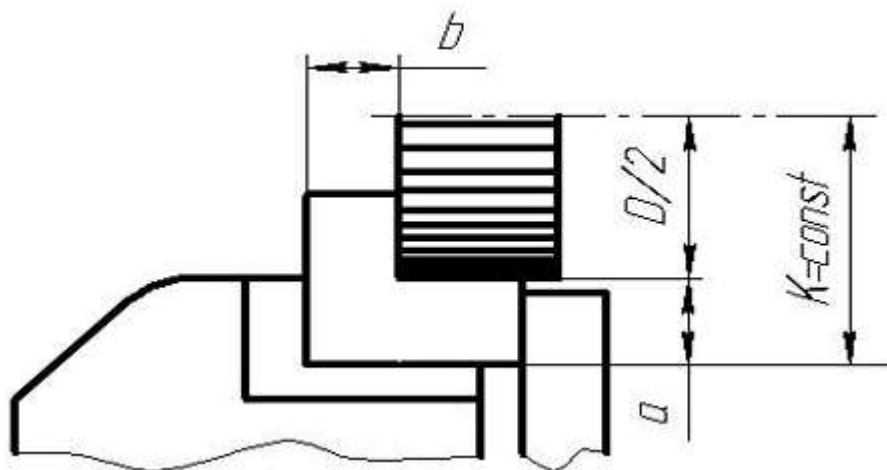


Рис. 2.1. Обробка заготовок по методу автоматичного отримання розміру

Цей метод значною мірою не має недоліків, властивих методу пробних ходів і промірів.

При обробці заготовок по методу автоматичного отримання розмірів верстат заздалегідь настраюється так, щоб потрібна від заготовок точність досягалася автоматично, тобто майже незалежно від кваліфікації і уваги робочого.

При фрезеруванні заготовки на розміри «а» і «b» (рис. 1) стіл фрезерного верстата заздалегідь встановлюють на висоті так, щоб опорна поверхня нерухомої губки лещат відстояла від осі обертання фрези на відстані $K = \frac{D}{2} + a$.

При цьому бічну поверхню фрези 3 видаляють (поперечним переміщенням столу) від вертикальної поверхні нерухомої губки на відстань b. Цю попередню настройку верстата проводять по методу пробних ходів і промірів. Після такої настройки виконують обробку всієї партії заготовок без їх проміжних промірів (виключаючи вибіркові контрольні проміри) і без додаткових переміщень столу верстата в поперечному і вертикальному напрямках. Оскільки в процесі обробки розміри K і b залишаються незмінними, то і точність розмірів «а» і «b» оброблюваної заготовки зберігається однаковою для всіх заготовок.

Отже, при використанні методу автоматичного отримання розмірів на настроєних верстатах завдання забезпечення необхідної точності обробки переноситься з робочого-оператора на настроювач, що виконує попередню настройку верстата; на інструментальника, що виготовляє спеціальні пристосування, і на технолога, що призначає технологічні бази і розміри заготовки, а також що визначає метод її установки і кріплення та конструкцію необхідного пристосування.

До переваг автоматичного методу отримання розмірів відносяться:

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

- зростання продуктивності обробки за рахунок усунення витрат часу на попередню розмітку заготовки і здійснення пробних ходів і промірів; крім того, фахівець, що працює на настроєному верстаті по упорах, а не по пробних промірам, проводить роботу впевненіше і спокійно; в процесі обробки виникає певний ритм

доцільних і продуманих рухів, що дають найменшу стомлюваність і високу продуктивність;

- раціональне використання робочих високої кваліфікації; роботу на настроєних верстатах можуть проводити учні і малокваліфіковані робочі-оператори, а надалі із зростанням автоматизації виробничих процесів вона буде повністю покладена на верстати-автомати і промислові роботи; висококваліфіковані робочі виконують настройку верстатів і обслуговують одночасно по 8 – 12 верстатів;

- підвищення економічності виробництва; висока продуктивність праці, зниження браку, зменшення потреби у висококваліфікованій робочій силі сприяють зниженню виробничих витрат і загальному підвищенню економічності виробництва.

Переваги методу автоматичного отримання розмірів на настроєних верстатах зумовлюють його широке розповсюдження в умовах сучасного серійного і масового виробництва.

Використання цього методу в умовах дрібносерійного виробництва обмежується деякими економічними міркуваннями: витрати часу на попередню настройку верстатів можуть перевершити виграш часу від автоматичного отримання розмірів; витрати на виготовлення однорідних і точних початкових заготовок, потрібних для роботи на настроєних верстатах, можуть не окупитися при малих кількостях продукції, що випускається; ретельна технологічна підготовка виробництва з докладною розробкою технологічних процесів і схем настройки верстатів не здійснюється в умовах дрібносерійного і багатомоделного виробництва.

Кожний з розглянутих методів досягнення заданої точності неминує супроводжується погрішностями обробки, різними причинами систематичного і випадкового характеру, що викликаються. Відповідно похибки, що виникають унаслідок цих причин, підрозділяються на систематичні і випадкові.

2.2 Систематичні похибки обробки

Систематична похибка - це така похибка, яка для всіх заготовок даної партії залишається постійною або ж закономірно змінюється при переході від кожної оброблюваної заготовки до наступної.

У першому випадку похибкою прийнято називати постійною систематичною похибкою (часто іменованою скорочено

систематичною похибкою $\Delta_{\text{сист}}$, а у другому випадку - змінною систематичною (або функціональною) похибкою $\Delta_{\text{п.е.}}$.

Причинами виникнення систематичних і змінних систематичних погрішностей обробки заготовок є: неточність, знос і деформація верстатів, пристосувань і інструментів; деформація оброблюваних заготовок; теплові явища, що відбуваються в технологічній системі і в змащувально-охолоджуючій рідині, а також похибки теоретичної схеми обробки заготовок.

Похибки, що виникають унаслідок неточності, зносу і деформації верстатів

Похибки виготовлення і збірки верстатів обмежуються нормами ДСТУ, що визначають допуски і методи перевірки геометричної точності верстатів, тобто точність верстатів в ненавантаженому стані.

Нижче приведені деякі характеристики геометричної точності (у міліметрах) верстатів загального призначення середніх розмірів.

Радіальне биття шпинделів токарних і фрезерних верстатів (на кінці шпинделя).....	0,01-0,015
Биття конічного отвору у шпинделі: токарного і фрезерного верстатів на довжині оправки 300 мм.....	0,02
вертикально-свердлувальних верстатів на довжині оправки 100-300 мм	0,03-0,05
Биття торця (осьове) шпинделів.....	0,01-0,02
Прямолінійність і паралельність тих, що направляють токарних і поздовжньо-строгальних верстатів: на довжині 1000 мм.....	0,02
на всій довжині.....	0,05-0,08
Прямолінійність подовжніх направляючих і столів фрезерних верстатів на довжині 1000 мм.....	0,03-0,04
Паралельність осей шпинделів токарних верстатів напряму руху кареток: у вертикальній площині на довжині 300 мм.....	0,02-0,03
у горизонтальній площині на довжині оправки 300 мм.....	0,01-0,015
Перпендикулярність осей шпинделів вертикально-свердлильних верстатів відносно площини столів на довжині 300 мм.....	0,06-0,10

Приведені орієнтовні дані відносяться до верстатів нормальної точності (верстати групи Н), призначених для обробки заготовок середніх розмірів в межах допусків 7 – 9-го квалітетів точності СЕВ. Характеристики геометричної точності, тобто геометричні похибки верстатів груп вищих за точністю, значно зменшуються, а трудомісткість їх виготовлення різко зростає і по відношенню до характеристик верстатів нормальної точності складають у відсотках до похибок і трудомісткості виготовлення верстатів нормальної точності наступні співвідношення (табл. 2.1).

Похибки геометричної точності верстатів повністю або частково переносяться на оброблювані заготовки у вигляді систематичних погрішностей. Величина цих систематичних погрішностей піддається попередньому аналізу і розрахунку. Наприклад, при непаралельності осі шпинделя токарного верстата напрямку руху супорта в горизонтальній площині циліндрична поверхня оброблюваної заготовки, закріпленої в патроні верстата, перетворюється на конічну. При цьому зміна радіусу r заготовки рівна лінійному відхиленню «а» осі від паралельності по відношенню до направляючих на довжині заготовки, тобто

$$r_{\text{заг}} = r + a.$$

Таблиця 2.1

Точностні характеристики верстатів

	Похибка	Трудомісткість
1	2	3
Верстати нормальної точності (група Н)	100	100
Верстати підвищеної точності (група П)	60	140
Верстати високої точності (група В)	40	200
Верстати особливо високої точності (група А)	25	280
Верстати особливо точні (група С)	16	450

При непаралельності осі шпинделя щодо тих, що направляють у вертикальній площині оброблювана поверхня набуває форми гіперболоїда обертання, найбільший радіус якого $r_{\text{заг}} = \sqrt{r^2 + b^2}$, де b – лінійне відхилення осі шпинделя від паралельності по

відношенню до тих, що направляють у вертикальній площині на довжині L оброблюваної заготовки.

Неперпендикулярність осі шпинделя вертикально-фрезерного верстата щодо площини його столу в поперечному напрямі викликає непаралельність обробленої площини по відношенню до настановної, яка чисельна рівна лінійному відхиленню від перпендикулярності на ширині заготовки.

При неперпендикулярності осі шпинделя вертикально-фрезерного верстата по відношенню до площини його столу в подовжньому напрямі угнутість обробленої поверхні, залежна від кута нахилу шпинделя, діаметру фрези і ширини оброблюваної поверхні. Угнутість можна підрахувати аналітично або визначити експериментально.

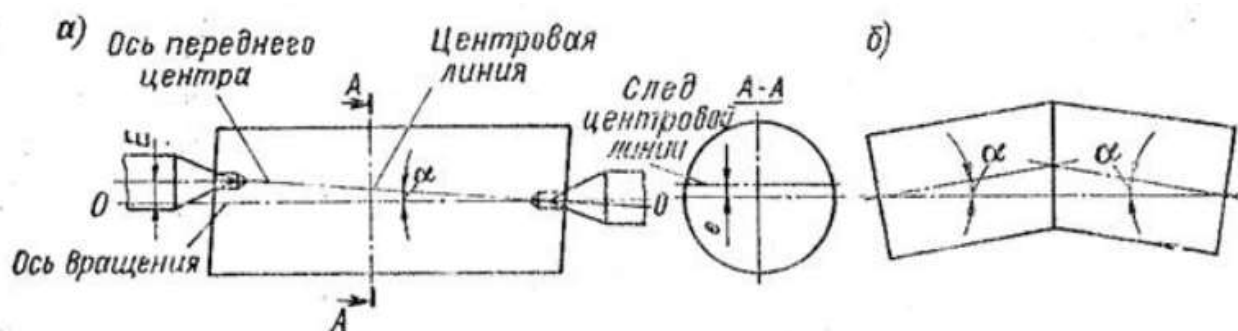


Рис. 2.2. Вплив биття переднього центру на точність обробки

а – похибка при обточуванні за один установ;

б – похибка при обточуванні з перевертанням заготовки

Биття шпинделів токарних і круглошліфувальних верстатів, що викликається овальністю підшипників і опорних шийок шпинделів, спотворює форму оброблюваної заготовки в поперечному перетині. Овальність шийок шпинделів в цьому випадку переноситься на заготовку, оскільки при її обробці шийки шпинделів весь час притискаються до певних ділянок поверхонь підшипників.

Биття передніх центрів токарних і круглошліфувальних верстатів при правильному положенні осі шпинделя викликає перекіс осі оброблюваної поверхні при збереженні правильного кола в поперечному перетині заготовки.

Причинами биття переднього центру в цьому випадку можуть бути: биття осі кінцевого отвору шпинделя; биття осі переднього центру по відношенню до осі його хвостовика; неточність посадки переднього центру в кінцевому отворі шпинделя.

На рисунку 2, а показано, що при битті переднього центру відцентрова лінія в процесі обробки описує конус з вершиною у заднього центру. Підстава цього конуса рівна биттю переднього центру, а віссю конуса є вісь обертання шпинделя верстата. В результаті обточування в поперечному перетині заготовки (перетин А-А) виходить правильне коло заданого радіусу (оскільки обертання заготовки відбувається навколо правильно розташованій і постійній осі обертання ОО шпинделя), але слід центральної лінії, що сполучає центрові отвори заготовки, виявляється зміщеним від центру перетину на відстань Е. Після обробки заготовка набуває форми циліндра, вісь якого нахилена по відношенню до лінії центрових отворів на кут α . При цьому

$$\sin \alpha = \frac{E}{L},$$

де L – довжина заготовки;

Е – ексцентриситет переднього центру.

У окремому випадку при обточуванні за дві установки (з перевертанням для перестановки повідкового хомутика) оброблена заготовка виходить двовісною з найбільшим кутом перетину осей, рівним 2α (рис. 2, б).

Биття осі конуса отвору шпинделя вертикально-свердлильного верстата по відношенню до осі обертання шпинделя викликає зростання діаметру отвору, який свердлять, у зв'язку з його «розбиттям».

Знос верстатів спричиняє збільшення систематичних погрешностей оброблюваних заготовок. Це пов'язано в першу чергу з тим, що знос робочих поверхонь верстатів відбувається нерівномірно; ця обставина приводить до зміни взаємного розташування окремих вузлів верстатів, що викликає виникнення додаткових погрешностей оброблюваних заготовок.

Однією з важливих причин втрати точності верстатів є знос направляючих. За рік експлуатації токарних верстатів при двозмінній роботі в умовах одиничного і серійного виробництва при середньому діаметрі оброблюваних заготовок 100 мм і їх довжині 150 – 200 мм знос U (мм) передньою від робочого граней несиметричною трикутною направляючою в середньому склав:

При чистовій обробці.....0,04-0,05
При частково чистовій і частково обдирній
обробці сталі (80 %) і чавуну (20 %)......0,06-0,08
При обдиранні сталі (90 %) і чавуну (10 %)......0,10-0,12.

Знос другої (плоскої) направляючої при цьому опинився в п'ять разів менше. Знос направляючих по довжині також не є рівномірним. У обстежених верстатах ділянка найбільшого зносу направляючих знаходився на відстані 400 мм від торця шпинделя.

Нерівномірний знос передньою і задньою направляючими викликає нахил супорта і зсув вершини різця в горизонтальній площині, що безпосередньо збільшує радіус оброблюваної поверхні. Нерівномірність зносу направляючих по їх довжині приводить до появи систематичної похибки форми оброблюваних заготовок.

Деформації верстатів при їх неправильному монтажі, а також під дією маси при осіданні фундаментів (викривлення станин і столів, вивернутість направляючих) викликають додаткові систематичні похибки обробки заготовок.

Осідання фундаментів подовжньо-стругальних і подовжньо-фрезерних верстатів приводить до виникнення відхилень від прямолінійності направляючих станин завдовжки 8 – 11 м, що досягають 3 – 4 мм (як вказувалося вище, по існуючих нормах для нових верстатів відхилення від прямолінійності направляючих).

Вплив зносу різального інструменту на точність обробки

Знос ріжучого інструменту при роботі на настроєних верстатах по методу автоматичного отримання розмірів приводить до виникнення змінної систематичної похибки обробки. При чистовій обробці заготовок знос різців відбувається по задній поверхні, що викликає віддалення вершини від центру обертання заготовки на величину радіального зносу і відповідне збільшення радіусу обточування (або зменшення радіусу розточування).

Початковий знос U_n і його тривалість l_1 (тобто тривалість прироблення інструменту) залежать від матеріалів ріжучого інструменту і виробу, якості заготовки, а також від доведення інструменту і режимів різання. Зазвичай тривалість початкового зносу, виражена довжиною l_1 шляху різання, знаходиться в межах 500 – 2000 м (перша цифра відповідає добре доведеним інструментам, друга – заточені інструментом).

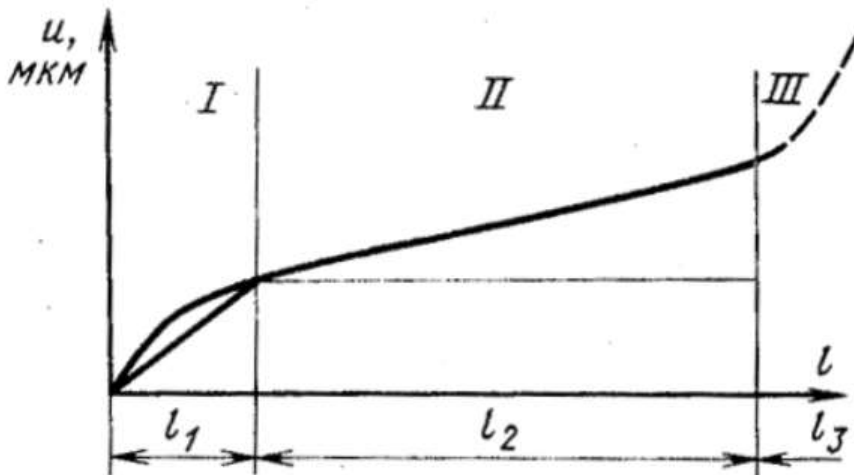


Рис. 2.3. Залежність зносу інструменту від довжини шляху різання

Другий період l_2 характеризується нормальним зносом різального інструменту прямо пропорційним шляху різання. Інтенсивність цього періоду зносу прийнято оцінювати відносним (питомим) зносом U_o (мкм/км), визначається за формулою:

$$U_o = \frac{U}{L},$$

де U – розмірний знос у мікрометрах від шляху різання, мкм;

L – шлях різання у зоні нормального зносу у кілометрах.

Довжина шляху різання у період нормального зносу при обробці сталі різцями Т15К6 може досягнути 50 км.

III – період катастрофічного зносу супроводжується значним зносом різального інструменту.

Розрахунок зносу різального інструменту, який має вплив на точність обробки, стосовно умов нормального зносу, який діє в зоні II, визначають за формулою:

$$U = \frac{U_o L}{1000},$$

де U – розмірний знос різального інструменту, мкм;

L – довжина шляху різання, м.

Точіння довжина шляху різання визначається за формулою:

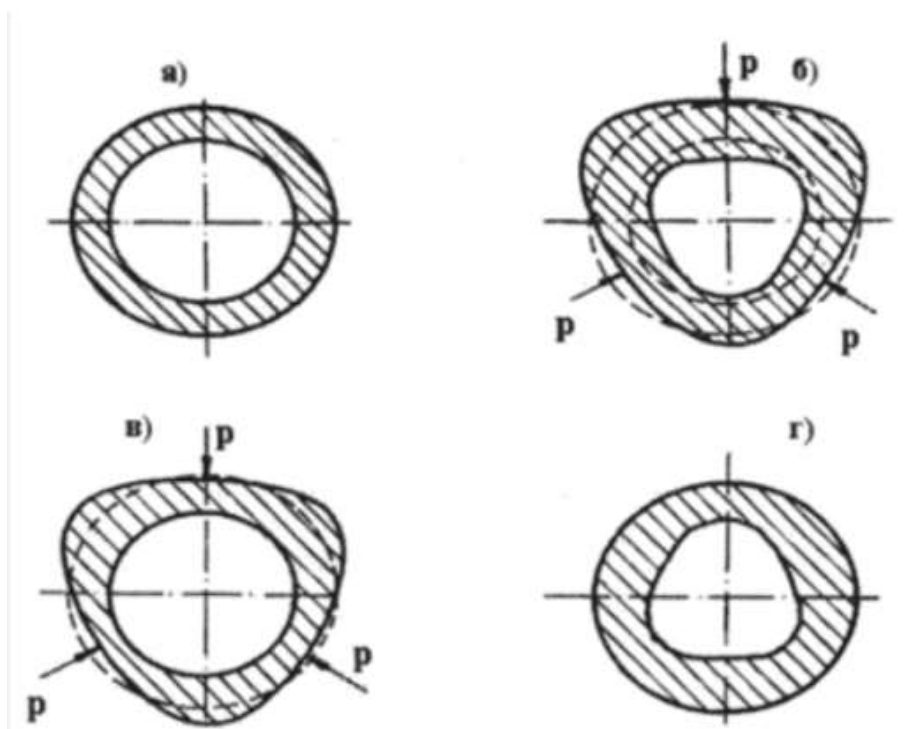
$$L = \frac{\pi D l}{1000 s},$$

де D – діаметр оброблюваної заготовки, мм;
 S – подача, мм/об;
 l – довжина обробки, мм.

Вплив зусилля затиску заготовки на похибка обробки

Зусилля затиску (закріплення) заготовок в пристосуваннях, так само як і зусилля різання, викликають пружні деформації заготовок, що породжують похибки форми оброблених заготовок. При постійності розмірів заготовок і зусиль затиску похибки форми деталей, що викликаються ними, є систематичними і можуть бути обчислені за відповідними формулами.

При закріпленні втулки в патроні відбувається її пружна деформація (рис. 2.4, а), причому в місцях контакту з кулачками діаметр заготовки зменшується, а в проміжках між ними – збільшується (рис. 2.4, б). Якщо при цьому провести обробку центрального отвору (рис. 2.4, в), то після вилучення втулки з патрона (рис. 2.4, г) вона матиме похибку форми – некруглість.



а – в патроні; б – форма отвору після розточування; в – форма отвору після розкріплення втулки

Рис. 2.4. Схема виникнення похибки форми отвору тонкостінної втулки

Похибка геометричної форми оброблюваного отвору втулки визначається різницею найбільшого і найменшого радіусів (рис. 2.4, в).

Похибка форми оброблюваної заготовки, пов'язана з її пружною деформацією при закріпленні в кулачкових патронах, залежить від числа кулачків. За розрахунками професора В.С. Корсакова при збільшенні числа затискних кулачків похибка геометричної форми втулки помітно зменшується.

При формі кулачків, відповідній формі заготовки, і якнайповнішому приляганні затискних поверхонь кулачків до поверхні заготовки похибка геометричної форми втулки також знижується.

Таким чином, на похибки форми оброблюваних заготовок великий вплив чинять зусилля їх затиску в пристосуваннях. Разом з тим, істотними причинами виникнення погрішностей оброблюваних заготовок можуть з'явитися сили тяжіння (деформації заготовок під дією власної маси), відцентрові сили (деформації невірноважених мас окремих частин заготовок у момент їх обробки) і залишкова напруга заготовки.

Пружні деформації заготовок, що викликаються дією перерахованих сил, служать джерелом виникнення систематичних погрішностей геометричної форми деталі.

Похибки, обумовлені пружними деформаціями технологічної системи під впливом нагріву

При безперервній роботі верстата відбувається поступове нагрівання всіх елементів технологічної системи, що викликає появу змінної систематичної похибки обробки заготовок.

Теплові деформації верстатів. Основними причинами нагрівання верстатів і їх окремих частин (бабць шпинделів, столів, станин і т.п.) є втрати на тертя в рухомих механізмах верстатів (підшипниках, зубчатих передачах), гідроприводах і електропристроях, у вбудованих електромоторах, а також теплопередача від охолоджуючої рідини, яка відводить теплоту із зони різання, і нагрівання від зовнішніх джерел (місцеве нагрівання від близько розташованих батарей, сонячних променів, охолодження через фундамент).

Важливий вплив на точність обробки надає нагрівання бабць шпинделів. При роботі верстата відбуваються поступове розігрівання бабць шпинделів і їх зсув у вертикальному і

горизонтальному (на робочого) напрямках. При цьому температура в різних точках корпусу бабці змінюється від 10 до 50° С. Найбільша температура нагріву спостерігається в місцях розташування підшипників шпинделя і підшипників швидкохідних валів.

Тому, для усунення похибки обробки, пов'язаної з тепловими деформаціями верстата, проводять попередній прогрів верстата його обкаткою вхолосту протягом 2 – 3 годин. Подальшу обробку заготовок слід проводити без значних перерв в роботі верстата.

Теплові деформації інструменту. Деяка частина теплоти, що виділяється в зоні різання, переходить в ріжучий інструмент, викликаючи його нагрівання і зміну розмірів. При токарній обробці найбільша частина похибки, пов'язаної з тепловими деформаціями технологічної системи, обумовлена подовженням різців при нагріванні.

При підвищенні швидкості різання, глибини різання і подачі інтенсифікувалося нагрівання, а отже, збільшується подовження різця.

Нагрівання і подовження різців прямо пропорційно твердості оброблюваного матеріалу. У звичайних умовах роботи без охолодження подовження різця може досягати 30 – 50 мкм. При створенні рясного охолодження подовження різців зменшується в 3 – 3,5 рази.

Подовження Δl_p (мкм) різця в умовах теплової рівноваги можна приблизно підрахувати за формулою:

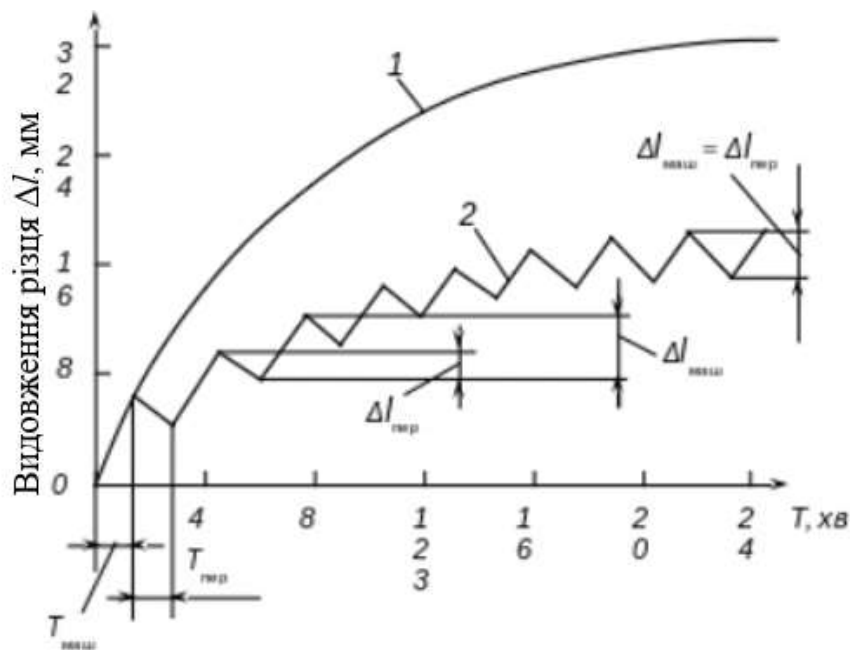
$$\Delta l_p = C \frac{l_p}{F} \sigma_o (t - s)^{0,75} - \sqrt{V},$$

де C – постійна; при $V = 100 - 200$ м/хв., $t \leq 1,0$ мм, $S \leq 0,2$ мм/об – $C = 4,5$;

l_p – виліт різця, мм;

F – поперечний перетин різця.

Теплові деформації заготовки. Деяка частина теплоти, що виділяється в зоні різання, переходить в оброблюваний виріб, викликаючи зміну його розмірів і появу похибки обробки. При рівномірному нагріванні виробу виникає похибка розмірів, а при місцевих нагріваннях окремих ділянок оброблюваних виробів – викривлення, що приводить до утворення похибки форми.



1 – нагрівання різця за неперервної роботи; 2 – робота в умовах різання з переривами; $\Delta l_{\text{маш}}$ – видовження різця упродовж машинного часу;

$\Delta l_{\text{пер}}$ – зменшення довжини різця через охолодження за час перерви

Рис. 2.5. Вплив безперервної роботи різця на його теплові деформації

На рисунку 6 наведена схема розподілу температурного поля при обробці заготовки у центрах (Рис. 2.6, а) та її форма після охолодження (рис. 2.6, б).

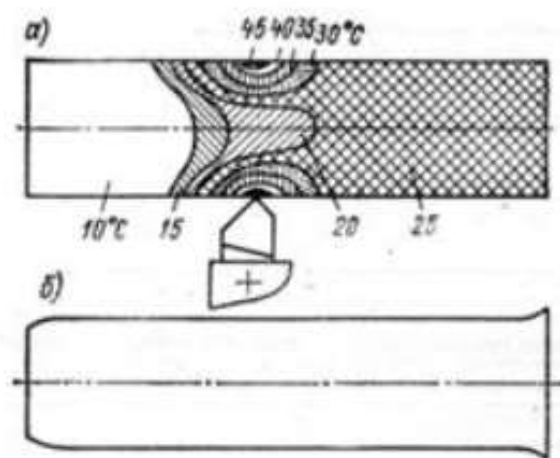


Рис. 2.6. Температурне поле заготовки

У цьому випадку циліндрична заготовка нагрівається температурним полем, що повільно переміщується від правого до лівого її торця.

Спочатку, коли заготовка холодна, її нагрівання незначне. При подальшій обробці теплові деформації зростають і залишаються на певному рівні (стабільний період). При наближенні обробки до лівого торця має місце значне підвищення температури заготовки за рахунок відбиття теплового потоку від нього.

У результаті після охолодження заготовка набуває ступінчастої форми, дійсні розміри якої можуть виходити за межі допуску.

Нагрівання оброблюваного виробу залежить від режимів різання. При токарній обробці із збільшенням швидкості різання і подачі, тобто із зменшенням тривалості теплової дії на оброблюваний виріб, його температура знижується.

У разі збільшення глибини різання температура оброблюваної заготовки зростає.

Нагрівання оброблюваних заготовок має істотне значення при виготовленні тонкостінних деталей.

Застосування рясного охолодження значно зменшує небезпеку нагрівання заготовок і скорочує похибка їх обробки.

Технологічна система (верстат, пристосування, інструмент, деталь) є пружною системою, в якій вплив сил різання і закріплення, інерційних і інших сил приводить до утворення погрешностей форм і розмірів оброблюваних деталей.

На рисунку 2.7 представлено дві схеми обробки циліндрової деталі: із закріпленням в центрах (а) і в трикулачковому токарному патроні (б), які ілюструють виникаючі пружні деформації Δ_y , а також обумовлені ними похибки форми деталі (бочкоподібність і конусоподібність). Пружні деформації Δ_y обумовлені віджиманням основних вузлів і окремих елементів технологічної системи, а також контактними деформаціями і в загальному випадку можуть досягати 20.40% від сумарної похибки обробки.

Нестабільність сил різання (із-за зміни припуску твердості матеріалу, що знімається, навіть в межах оброблюваної партії деталей), різна жорсткість деталі при обробці (у кожен з моментів часу обробки поверхні деталі) - обумовлюють і нерівномірність пружних деформацій. Для кількісної оцінки пружних деформацій технологічної системи використовують поняття жорсткість і податливість.

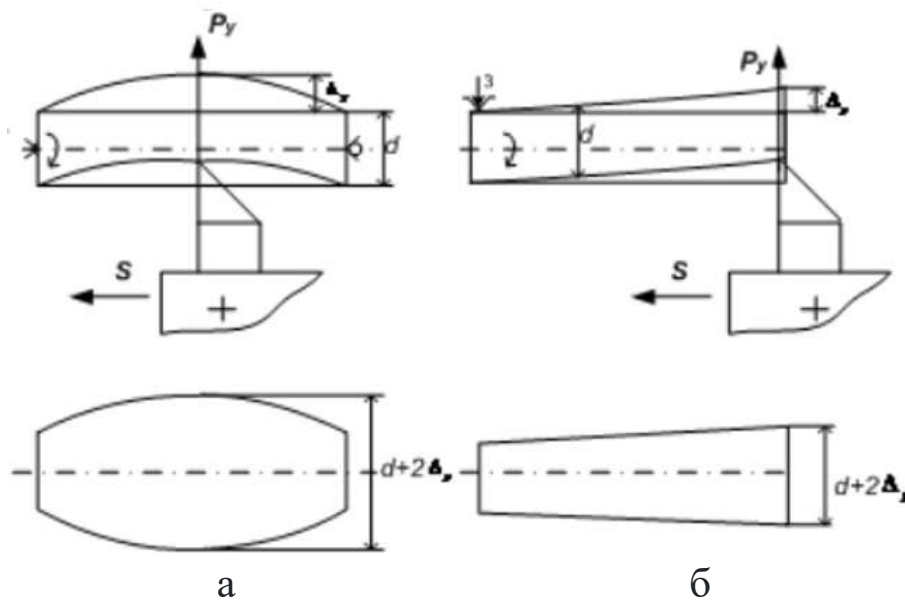


Рис. 2.7. Схеми формування похибок від пружних деформацій

2.3 Вплив жорсткості та податливості на точність обробки

Для кількісної оцінки пружних деформацій технологічної системи використовують поняття жорсткість і податливість.

Жорсткістю системи називається здатність системи чинити опір деформуючим силам.

Жорсткість технологічної системи визначається як відношення складової сили різання, направленої по нормалі до оброблюваної поверхні, до зсуву ріжучої кромки інструменту відносно оброблюваної поверхні заготовки в тому ж напрямі:

$$J = \frac{P_y}{y},$$

де J – жорсткість технологічної системи, Н/мм;

P_y – радіальна складова сили різання, Н;

y – пружні деформації технологічної системи (зсув ріжучої кромки інструменту), мм.

Для зручності розрахунків часто використовується величина зворотна жорсткості, яка називається **податливістю**.

Податливість технологічної системи - здатність цієї системи пружно деформуватися під дією зовнішніх сил, що прикладаються до неї:

$$W = \frac{y}{P_y} = \frac{1}{J}.$$

Сумарна податливість системи дорівнює сумі податливостей елементів технологічної системи:

$$\frac{1}{J_{\text{сист.}}} = \frac{1}{J_{\text{верст.}}} + \frac{1}{J_{\text{прист.}}} + \frac{1}{J_{\text{інстр.}}} + \frac{1}{J_{\text{дет.}}}$$

Жорсткість – величина що не є постійною $J \neq \text{const.}$

R_y – розраховується за формулами теорії різання.

u – визначається експериментально.

W – податливість (величина, зворотна жорсткості).

Жорсткість нових верстатів токарної групи складає $J_{\text{верст.}} = 20000-40000$ Н/мм, для деяких типів верстатів $J_{\text{верст.}} = 100000$ Н/мм (шліфувальні та координатно-розточні верстати).

Таким чином похибки від пружних деформацій залежать та визначаються жорсткістю технологічної системи СПД.

У практичних розрахунках враховують тільки податливість верстата та оброблюваної деталі.

$$W_{\text{сист.}} = W_{\text{верст.}} + W_{\text{дет.}}$$

$$\frac{1}{J_{\text{сист.}}} = \frac{1}{J_{\text{верст.}}} + \frac{1}{J_{\text{дет.}}}$$

Величина пружних деформацій оброблюваних деталей у значній мірі залежить від схеми обробки, її можливо розрахувати за відомими формулами з курсу опір матеріалів. Так для заготовки, що закріплена у патроні та підтримується центром максимальні пружні деформації визначаються за формулою:

$$y_{\text{верст.}} = \frac{R_y I^3}{100 E J}$$

де I – довжина заготовки, мм;

E – модуль пружності 1-го роду, Н/мм²

J – момент інерції поперечного перетину заготовки, (для круглих заготовок

$$J = 0,05d^4);$$

d – номінальний діаметр деталі, мм.

Тоді жорсткість заготовки буде дорівнювати:

$$J = \frac{100 E J}{I^3},$$

Величина радіальної складової сили різання розраховується за формулами із курсі «Теорія різання або знаходять за довідником технолога-машинобудівника. Наприклад для токарних операцій:

$$P_y = C_y \cdot S^x \cdot t^m \cdot HB^n,$$

де C_y – емпіричний коефіцієнт;

S – подача, мм/об;

t – глибина різання, мм;

HB – твердість матеріалу заготовки;

x, m, n – показники ступеню.

Жорсткість усіх складових елементів технологічної системи, як правило, визначають експериментально або за паспортними даними верстата. Середньостатистична жорсткість нових верстатів складає $j_{\text{верст.}} = 2000-40000 \text{ Н/мм}$ (до 100000 Н/мм), а для тих які відпрацювали свій ресурс - менш 10000 Н/мм .

2.4 Випадкові похибки обробки

В процесі обробки партії заготовок на настроєних верстатах їх розміри безперервно коливаються в певних межах, відрізняючись один від одного і від настроєного розміру на величину випадкової похибки.

Випадкова похибка – це така похибка, яка для різних заготовок даної партії має різні значення, причому її поява не підкоряється ніякій видимій закономірності.

В результаті виникнення випадкових похибок відбувається розсіювання розмірів заготовок, оброблених за одних і тих же умов. Розсіювання розмірів викликається сукупністю багатьох причин випадкового характеру, непаддатливих точному попередньому визначенню і що проявляють свою дію одночасно і незалежно один від одного. До таких причин відносяться:

1. Коливання твердості оброблюваного матеріалу і величини припуску, що знімається;

2. Зміни положення початкової заготовки в пристосуванні, пов'язані з погрішностями її базування і закріплення або обумовлені неточностями пристосування;

3. Неточності установки положення супортів по упорах і лімбах;

4. Коливання температурного режиму обробки і пружних підтискань елементів технологічної системи під впливом нестабільних сил різання й т.п.

Закони розсіювання (розподілу) розмірів

В результаті виникнення випадкових погрешностей при обробці партії заготовок на настроєному верстаті дійсний розмір кожної заготовки є випадковою величиною і може приймати будь-яке значення у межах певного інтервалу.

Сукупність значень дійсних розмірів заготовок, оброблених за незмінних умов і розташованих в зростаючому порядку з вказівкою частоти повторення цих розмірів або частотей, називається **розподілом розмірів заготовок**.

Під частістю розуміється відношення числа заготовок одного розміру до загального числа заготовок партії.

Розподіл розмірів заготовок можна представити у вигляді таблиць і графіків. На практиці зміряні значення дійсних розмірів заготовок розбивають на інтервали або розряди так, щоб ціна інтервалу (різниця між найбільшим і найменшим розмірами в межах одного інтервалу) була дещо більше ціни ділення шкали вимірювального пристрою. Цим компенсуються похибки вимірювання. Частість в цьому випадку є відношенням числа m заготовок, дійсні розміри яких потрапили в даний інтервал, до загальної кількості n зміряних заготовок в партії.

Наприклад, після вимірювання 100 штук заготовок з дійсними розмірами в межах від 20,00 до 20,35 мм розподіл розмірів цих заготовок може мати вигляд, представлений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Розподіл розмірів заготовок

Інтервал, мм	Частота m	Частість m/n
20,0 – 0,05	2	0,02
20,05 – 20,10	11	0,11
20,10 – 20,15	19	0,19
20,15 – 20,20	28	0,28
20,20 – 20,25	22	0,22
20,25 - 20,30	15	0,15
20,30 – 20,35	3	0,03
РАЗОМ	$n = \Sigma m = 100$	$\Sigma m/n = 1$

Розподіл зміряних розмірів заготовок можна представити у вигляді графіка (рис. 2.8). По осі абсцис відкладають інтервали розмірів відповідно, а по осі ординат відповідні ним частоти m або частоти m/n .

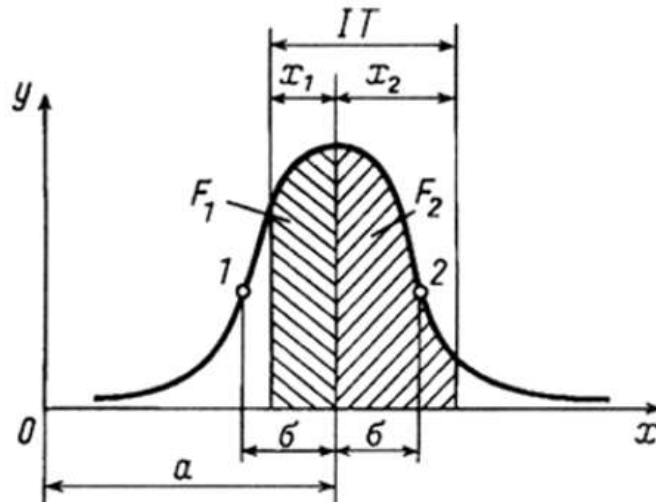


Рис. 2.8. Розподіл зміряних розмірів заготовок

В результаті побудови виходить ступінчаста лінія 1, яка має назву гістограма розподілу. Якщо послідовно з'єднати між собою крапки, відповідні середині кожного інтервалу, то утворюється ламана крива, яка носить назву емпіричної кривої розподілу, або полігону 2 розподілу. При значній кількості зміряних заготовок і великому числі інтервалів розмірів ламана емпірична крива наближається формою до плавної кривої, яка має назву крива розподілу. Для побудови гістограмного розподілу рекомендується зміряні розміри розбивати не менше чим на шість інтервалів при загальному числі вимірюваних заготовок не менше 50 штук.

За різних умов обробки заготовок розсіювання їх дійсних розмірів підкоряється різним математичним законам. У технології машинобудування велике практичне значення мають наступні закони: нормального розподілу (закон Гауса), рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона), ексцентриситету (закон Релея), закони рівної імовірності і функції розподілу, що є композицією цих законів.

Закон нормального розподілу (закон Гауса). Численні дослідження, проведені професорами А.Б. Яхним, А.А. Зиковим і іншими, показали, що розподіл дійсних розмірів заготовок,

оброблених на настроєних верстатах, дуже часто підкоряється закону нормального розподілу (закону Гауса).

Це пояснюється відомим положенням теорії вірогідності про те, що розподіл суми великого числа взаємно незалежних випадкових складових величин (при нікчемно малому і приблизно однаковому впливі кожній з них на загальну суму і за відсутності впливу домінуючих чинників) підкоряється закону нормального розподілу Гауса.

Результуюча похибка обробки зазвичай формується в результаті одночасної дії великого числа погрішностей, які залежать від верстата, пристосування, інструменту і заготовки, які по суті є взаємно незалежними випадковими величинами; вплив кожної з них на результуючу похибка має один порядок, тому розподіл результуючої похибки обробки, а значить і розподіл дійсних розмірів оброблюваних заготовок підкоряється закону нормального розподілу.

Рівняння кривої нормального розподілу має наступний вигляд:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - x_{cp})^2}{2\sigma^2}},$$

де y – середнє квадратичне відхилення, яке визначається за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\Sigma(L_i - L_{cp})^2 \frac{m_i}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \Sigma(L_i - L_{cp})^2 m_i},$$

де L_i – поточний дійсний розмір;

L_{cp} – середнє зважене арифметичне значення дійсних розмірів заготовок даної партії.

Значення L_{cp} можна визначити з виразу:

$$L_{cp} = \Sigma L_i \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \Sigma L_i m_i,$$

де m_i – частота (кількість заготовок даного інтервалу розмірів);

n – кількість заготовок в партії.

Крива, що характеризує диференціальний закон нормального розподілу, показана на рисунку 2.9. Середнє арифметичне L_{cp} дійсних розмірів заготовок даної партії характеризує положення центру групування розмірів.

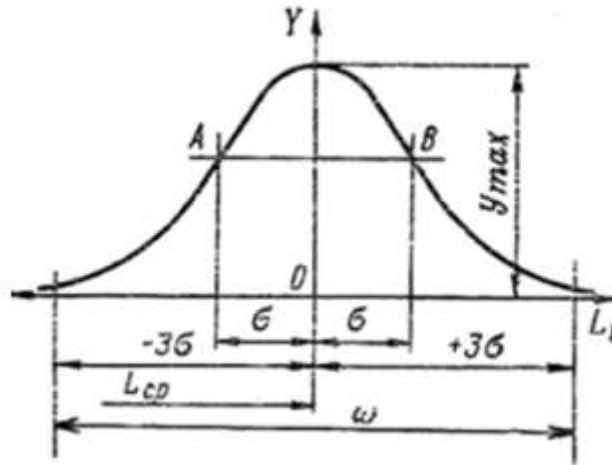


Рис. 2.9. Крива нормального розподілу (закон Гауса)

Аналіз рівняння показує, що крива нормального розподілу симетрична щодо осі ординат. Значенням x і $-x$ відповідає однакова величина ординати y . При $L_i = L_{cp}$ крива має максимум, рівний:

$$y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}.$$

На відстані $\pm y$ від вершини крива має дві точки перегину (точки A і B). Крива асимптотично наближається до осі абсцис. На відстані $\pm 3\sigma$ від положення вершини кривої її гілки так близько підходять до осі абсцис, що в цих межах опиняється 99,73 % площі, яка знаходиться між всією кривою нормального розподілу з віссю абсцис. При практичних розрахунках зазвичай приймається, що на відстані $\pm 3\sigma$ від положення вершини кривої нормального розподілу її гілки перетинаються з віссю абсцис, обмежуючи 100 % площі між кривою і віссю абсцис. Виникаюча при цьому допущенні похибка, що становить 0,27 %, практичного значення не має.

При збільшенні σ значення ординати y_{max} зменшується, а поле розсіювання $\omega = 6\sigma$ зростає; в результаті цього крива стає пологішою і нижчою, що свідчить про більше розсіювання розмірів і, отже, про меншу точність. У цьому сенсі середнє квадратичне відхилення σ є мірою розсіювання або мірою точності. Вплив σ на форму кривої нормально показано на рисунку 2.10.

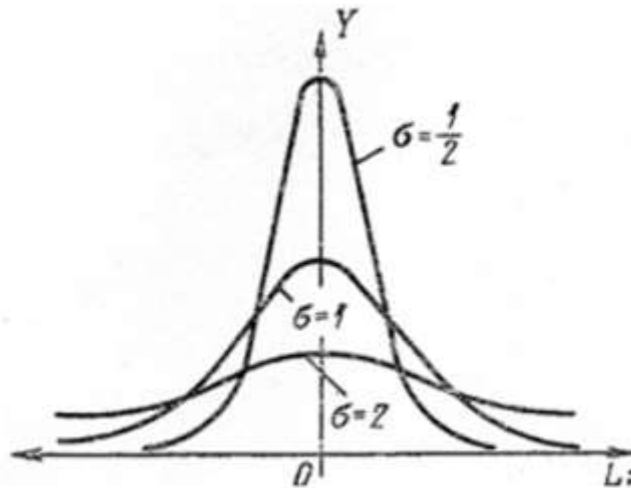


Рис. 2.10. Вплив середнє квадратичного відхилення на форму кривої нормального розподілу

Фактичне поле розсіювання розмірів заготовок:

$$\omega = 6\sigma.$$

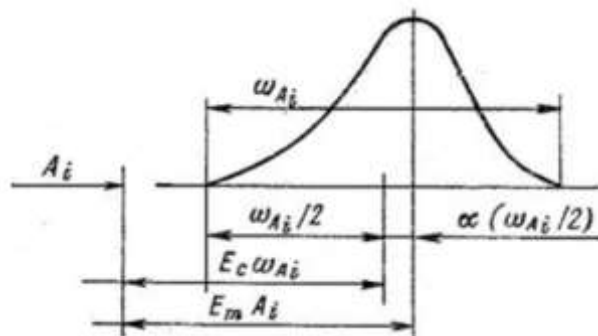


Рис. 2.11. Зсув вершини кривої розподілу щодо середини поля розсіювання ω

Практично під впливом різних причин систематичного і випадкового характеру вершина кривої розподілу може зміщуватися по відношенню до середини поля розсіювання в ту або іншу сторону, а форма кривої може змінюватися; в результаті цього фактична крива нормального розподілу може стати несиметричною.

Закон нормального розподілу (закон Гауса) в більшості випадків виявляється справедливий при механічній обробці заготовок з точністю 8, 9 і 10-го квалітетів і грубіше. При точнішій обробці розподіл розмірів зазвичай підкоряється іншим законам.

Закон рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона). При обробці заготовок з точністю 7-го і 8-го, а в деяких випадках і 6-го

квалітетів розподіл їх розмірів в більшості випадків підкоряється закону Сімпсона, який графічно виражається рівнобедреним трикутником (рис. 2.12) з полем розсіювання:

$$\omega = 2\sqrt{\sigma} - \sigma \approx 4,9\sigma.$$

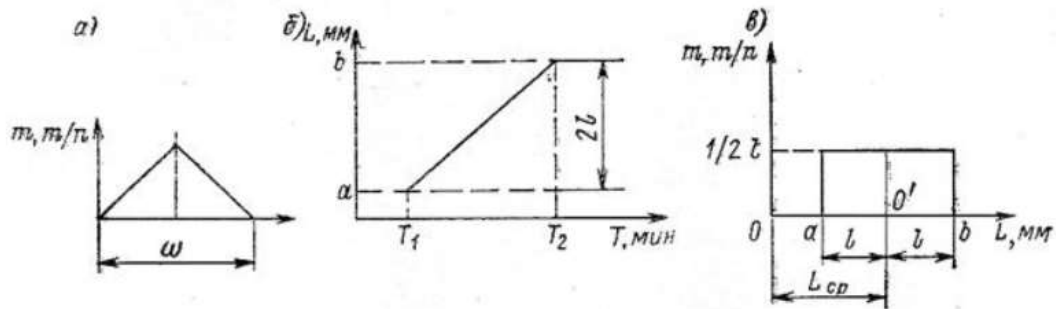


Рис. 2.12. Розподіл розмірів оброблених заготовок
а) згідно із законом Сімпсона; б, в) за законом рівної імовірності

Закон ексцентриситету (закон Релея). Розподіл таких істотно позитивних величин, як ексцентриситет, биття, різностінність, непаралельність, неперпендикулярність, овальність, конусообразність і деяких інших, що характеризуються їх абсолютними значеннями (тобто без урахування знаку), підкоряється закону розподілу ексцентриситету (закону Релея).

Закон розподілу Релея однопараметричний, і рівняння його кривої розподілу має вигляд:

$$y = \frac{R^2}{\sigma_0^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma_0^2}},$$

де σ_0 – середнє квадратичне відхилення значень координат x і y .

На рисунку 2.13 показано, що для теоретичної кривої розподілу згідно із законом Релея характерні крутий підйом висхідної гілки і пологіший спуск низхідної гілки.

Вершина кривої більш загострена, ніж у кривій нормального розподілу, і зміщена від середнього значення змінної величини R у бік початку координат.

З рівняння кривої розподілу Релея виходить, що $R = 0$ і $y = 0$, тобто початок кривої розподілу ексцентриситету співпадає з початком координат. Низхідна гілка цієї кривої асимптотично наближається до осі абсцис.

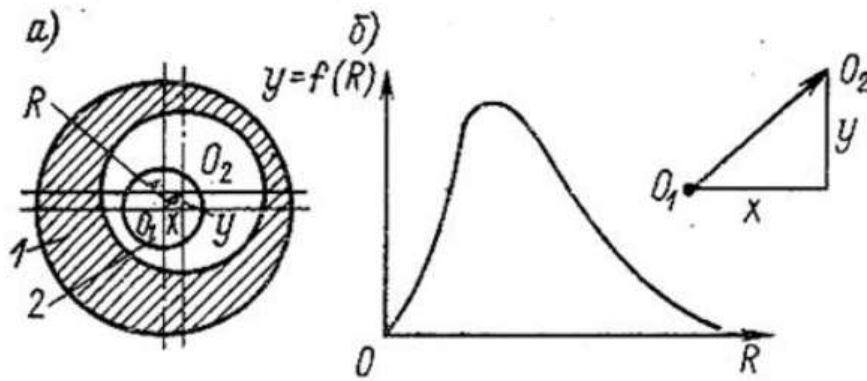


Рис. 2.13. Утворення ексцентриситету (радіусу-вектора R) втулки 1 при її обробці на циліндричному оправці 2 при відмінності зазору між оправкою і отвором втулки (а) і функція $y = f(R)$ розподілу розмірів згідно із законом Релея (б)

Основні параметри закону Релея. Середнє арифметичне R_{CP} змінної випадкової величини (ексцентриситету, різностінності і інших), її середнє квадратичне відхилення σ_R і середнє квадратичне відхилення σ_0 значень координат x і y кінця радіус-вектора R зв'язані між собою наступними співвідношеннями:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_R}{0,655};$$

$$R_{CP} = 1,92; \quad \sigma_R = 1,253\sigma_0.$$

Фактичне поле розсіювання значень змінної величини радіус-вектора R (ексцентриситету, різностінності, непаралельності і інших) знаходять з виразів:

$$\omega = 5,252\sigma_R,$$

$$\omega = 3,44\sigma_0.$$

Фактичне поле розсіювання значень змінної величини радіус-вектора R (ексцентриситету, різностінності, непаралельності і інших) знаходять з виразів:

Складові загального розсіювання розмірів заготовок

Розсіювання розмірів оброблюваних заготовок викликається численними випадковими чинниками різного характеру, що надають свою дію на окремі елементи технологічної системи одночасно і незалежно один від одного. По своєму походженню ці чинники

можуть бути об'єднані в певні групи, що викликають свою частку загального розсіювання розмірів.

Розсіювання розмірів, пов'язане з видом обробки (миттєве розсіювання)

Кожному виду обробки, здійснюваному на певному устаткуванні, властива своя величина розсіювання розмірів, що характеризується полемо ω_M розсіювання.

Проте і усередині даного виду обробки значення ω_M змінюється залежно від конструкції, типорозміру і стану верстата (тобто від його точності і жорсткості). Розвиток конструкції верстатів і появи їх нових типорозмірів можуть викликати переоцінку уявлень про розсіювання розмірів при даному виді обробки.

Розсіювання розмірів, пов'язане з видом обробки, не залишається постійним і в продовженні обробки партії заготовок, а змінюється залежно від стану ріжучого інструменту. На початку (початковий знос інструменту) і в кінці (інтенсивний катастрофічний знос і руйнування інструменту) обробки партії заготовок поле розсіювання $\omega_M^{\text{поч}}$ і $\omega_M^{\text{катастр}}$ більше, ніж $\omega_M^{\text{ср}}$ в середині обробки партії (рис. 2.14).

Розсіювання розмірів, пов'язане з похибкою установки. При установці заготовки на верстаті для обробки методом автоматичного отримання розмірів точність розмірів, що досягається, залежить від положення вимірювальної бази заготовки щодо ріжучого інструменту.

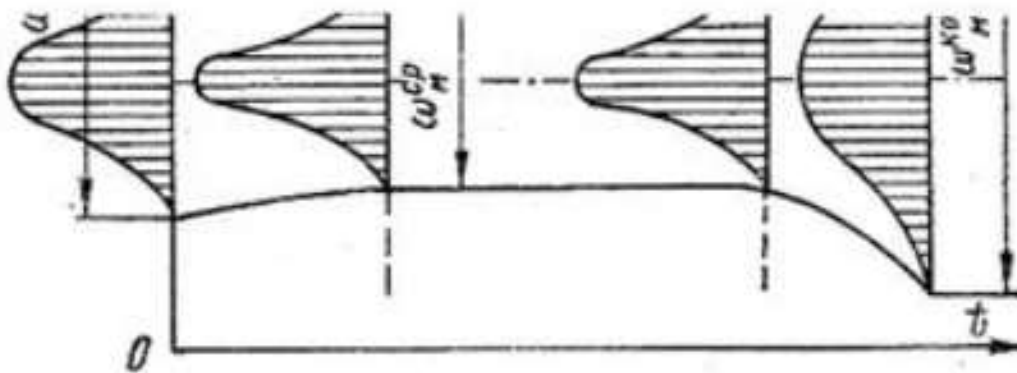


Рис. 2.14. Знос ріжучого інструменту і зміна поля миттєвого розсіювання розмірів оброблених заготовок

Коливання положення вимірювальної бази заготовки є причиною виникнення похибки установки Δ_y , що викликає розсіювання ω_y розмірів. Значення ω_y складається з погрешностей базування $\Delta_6 = \omega_6$, закріплення $\Delta_3 = \omega_3$ і пристосування $\Delta_{\text{пр}} = \omega_{\text{пр}}$.

Похибка базування

При установці заготовки в пристосуванні у ряді випадків виникає похибка базування $\Delta_6 = \omega_6$, пов'язана з неспівпаданням вимірювальної (площина А) і технологічної (площина В) баз (рис. 2.15).

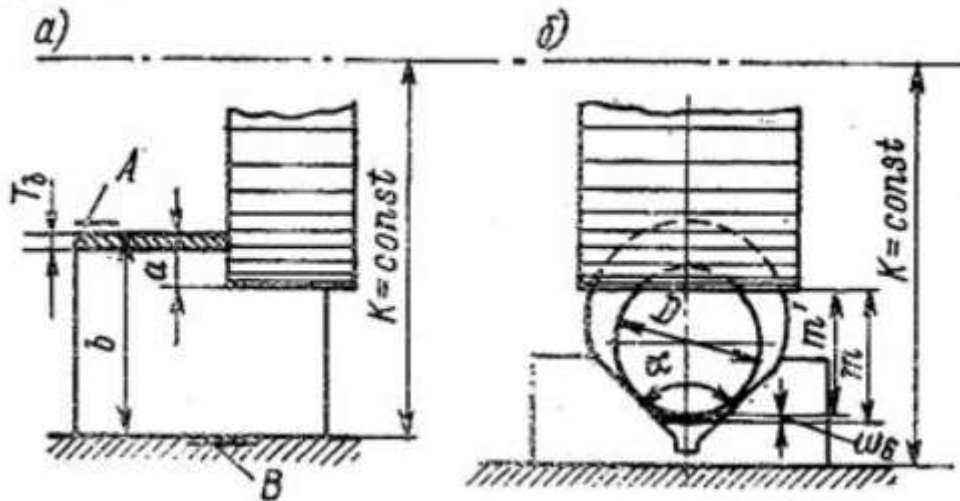


Рис. 2.15. Виникнення похибки базування ω_6

Похибка закріплення

При закріпленні заготовки в пристосуванні в багатьох випадках відбувається її переміщення (вичавлювання з пристосування), що приводить до появи зазору S між базуючою поверхнею заготовки і відповідною настановною поверхнею пристосування, по відношенню до якої проводиться настройка верстата. Зміна переміщення заготовки при її закріпленні в пристосуванні викликає розсіяння розміру «а» з полем розсіяння ω_3 , яке визначається в більшості випадків експериментальним шляхом.

Похибка закріплення $\Delta_3 = \omega_3$ залежить від конструкції і стану затискного пристрою пристосування і від напрямку зусилля затиску. Найменша похибка закріплення, пов'язана з вичавлюванням заготовки з пристосування, досягається при напрямі затискного зусилля перпендикулярному технологічній настановній базі.

Похибка пристосування

При установці і закріпленні заготовки в пристосуванні її положення щодо інструменту може виявитися неточним із-за похибки виготовлення і збірки самого пристосування.

Загальна похибка Δ_y установки складається зі всіх перерахованих складових і визначається відповідно до правил підсумовування випадкових величин за формулою:

$$\Delta_y = \omega_y = 1,2 \sqrt{\omega_6^2 + \omega_3^2 + \omega_{\text{пр}}^2}.$$

Розсіяння розмірів, пов'язане з похибкою налаштування

Похибка налаштування верстата $\Delta_n = \omega_n$ змінюється як випадкова величина в результаті дії похибки регулювання $\omega_{\text{рег}}$ положення ріжучого інструменту і окремих вузлів верстата щодо встановленого інструменту і під впливом похибки вимірювання $\omega_{\text{изм}}$ пробних заготовок, по яких проводиться настройка верстата.

Сумарна похибка налаштування в загальному випадку визначається виразом:

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2 \sqrt{\omega_{\text{рег}}^2 + \omega_{\text{изм}}^2}.$$

Загальне (сумарне) розсіяння розмірів заготовок і загальна похибка обробки

Сумарне поле загального розсіяння розмірів партії заготовок, оброблених на настроєному верстаті по методу автоматичного отримання розмірів, виражається формулою:

$$\omega = 1,2 \sqrt{\omega_M^2 + \omega_y^2 + \omega_R^2}.$$

або в розгорненому вигляді

$$\omega = 1,2 \sqrt{\omega_M^2 + \omega_6^2 + \omega_3^2 + \omega_{\text{пр}}^2 + \omega_{\text{рег}}^2 + \omega_{\text{изм}}^2 + \omega_{\text{см}}^2}.$$

Чисельні значення величин, що входять у формулу, визначаються для конкретних умов виконання операції по фактичних значеннях полів розсіяння або приблизно за довідковими, літературними і статистичними даними.

За статистичними даними величина поля розсіяння виду обробки ω_M складає:

- для середніх револьверних верстатів – 0,16 – 0,039 мм;
- для токарних – 0,013 – 0,036 мм;
- для круглошліфувальних - 0,004 – 0,017 мм.

Поле розсіяння, пов'язане із закріпленням ω_3 в середньому складає:

- у лещатах – 0,05 - 0,2 мм;
- прихватами – 0,01 – 0,2 мм;
- у патроні – 0,04 – 0,1 мм;
- у затискній гільзі – 0,02 - 0,1 мм.

Похибка пристосувань $\omega_{\text{пр}} = 0,005 - 0,02$ мм.

Розсіяння, пов'язане з похибкою регулювання $\omega_{\text{рег}}$, складає: при установці по лімбу або по індикатору – 0,01 – 0,06 мм; по жорсткому упору – 0,04 - 0,10 мм (при особливо ретельному регулюванні $\omega_{\text{рег}} = 0,02$ мм); по індикаторному упору – 0,005 - 0,015 мм; по еталонній деталі – 0,10 - 0,13 мм.

2.5 Поняття про якість обробленої поверхні

Якість обробленої поверхні визначається шорсткістю і хвилястістю, а також фізико-механічними характеристиками поверхневого шару.

У машинобудуванні є поняття реальна поверхня.

Реальна поверхня - це поверхня, що обмежує тіло і що відокремлює його від навколишнього середовища.

Реальна поверхня деталі утворюється в процесі її виготовлення, і на відміну від ідеальної геометричної номінальної поверхні, що зображується на кресленнях, завжди має нерівності різної форми і висоти у вигляді виступів і западин з невеликими відстанями між ними.

Відхилення форми реальної поверхні умовно розрізняють залежно від відношення кроку «S» до висоти «H» нерівностей:

S/H > 1000 – макронерівності

S/H = 50 - 1000 - хвилястість

S/H < 50 – шорсткість

Макронерівності (макрогеометрія) – відхилення форми деталі, що розглядаються на великих ділянках реальної поверхні (конусність, овальність, угнутість).

Шорсткість поверхні (ДСТУ ISO 4287:2012) – це сукупність нерівностей обробленої поверхні з відносно малими кроками.

Шорсткість поверхні прийнято визначати за її профілем, який утворюється в перетині цієї поверхні площиною, перпендикулярною до номінальної поверхні. При цьому профіль розглядається на довжині базової лінії, яка використовується для виділення нерівностей і кількісного визначення їх параметрів.

При стандартизації шорсткості поверхні в основу прийнята система відліку, в якій як базова лінія служить середня лінія профілю.

Середня лінія профілю – це базова лінія, що має форму номінального профілю і проведена так, що в межах базової довжини l середнє квадратичне відхилення профілю до цієї лінії мінімально.

Відстань між лінією виступів профілю і лінією западин профілю в межах базової довжини є найбільшою висотою нерівностей профілю $R_{\max}$.

Висота виступу профілю y_{ri} – це відстань від середньої лінії профілю до вищої точки виступу профілю.

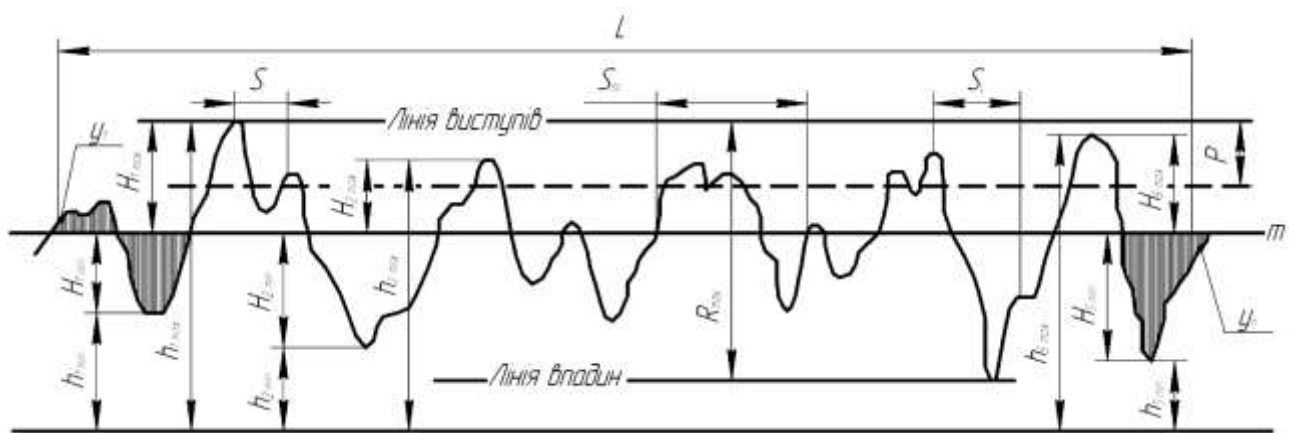


Рис. 2.16. Елементи шорсткості поверхні

Глибина западини профілю y_{ri} – це відстань від середньої лінії профілю до нижчої точки западини профілю.

Шорсткість поверхні, згідно ДСТУ ISO 4287:2012, оцінюється або середнім арифметичним відхиленням профілю R_a , або висотою нерівностей профілю R_z по десяти точках, узятих в мікрометрах.

Середнє арифметичне відхилення R_a профілю – є середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини l , тобто:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx,$$

або приблизно

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

де y – відхилення профілю, визначуване відстанню між будь-якою точкою профілю і середньою лінією;

l – базова довжина;

n – число вибраних точок на базовій довжині.

Висота (мкм) нерівностей профілю по десяти точках R_z представляє суму середніх арифметичних абсолютних відхилень точок п'яти найбільших мінімумів і п'яти найбільших максимумів профілю в межах базової довжини:

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right).$$

Всі поверхні по шорсткості розділяються на 14 класів. Класи шорсткості поверхні 6 – 14 додатково підрозділяють на 3 розряди (а, б, в). Для вказівки шорсткості поверхні на кресленнях використовують умовні позначення відповідно до ДСТУ ISO 4287:2012.

$\sqrt{R_z 12,5}$

а

$\sqrt{Ra 0,63}$

б

$\sqrt{Ra 12,5}$

в

«а» – вид обробки, який конструктором не встановлюється.

«б» – при позначенні шорсткості поверхні, яка повинна бути утворена видаленням шару матеріалу (наприклад, точінням, фрезеруванням, свердлінням, шліфуванням, поліруванням, труїть і т.п.).

«в» – при позначенні шорсткості поверхні, яка повинна бути утворена без видалення шару матеріалу (наприклад, литвом, куванням, об'ємним штампуванням, прокатом, волочінням і т.п.), застосовують знак, показаний на рисунку 2, г. Цим же знаком позначають поверхні, що не обробляються по даному кресленню.

Необхідно відзначити, що співвідношення параметрів R_z і R_a прийняте в такому наближеному виді $R_z = 4R_a$.

Значення параметра шорсткості поверхні за ГОСТом 2789-73 указується в позначенні шорсткості: для параметра R_a – без символу, наприклад, 2,5; для R_z – після відповідного символу, наприклад, $R_z 10$.

Чинники, що впливають на шорсткість поверхні

На шорсткість обробленої поверхні впливають наступні чинники:

Режими різання

Швидкість різання є одним з найбільш істотних чинників, що впливають на розвиток пластичних деформацій при точінні. Малі швидкості різання вуглецевих конструкційних сталей (сталі 30, 40, 50) порядку $V = 1$ м/хв. приводять до порівняно невеликого підвищення температури і сприяють утворенню елементної стружки. При цьому відділення стружки відбувається легко і без помітних деформацій верхнього шару обробленої поверхні. Нерівності на обробленій поверхні незначні.

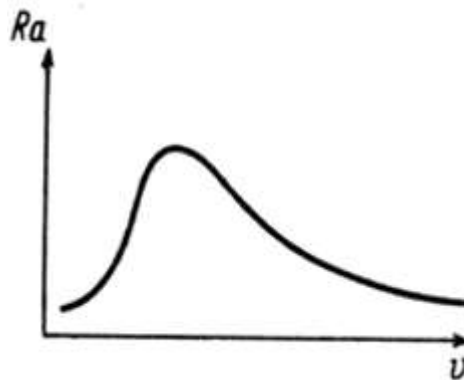


Рис. 2.17. Залежність шорсткості від швидкості різання

Із збільшенням швидкості різання до 40 м/хв. в процесі утворення стружки виділяється велика кількість теплоти, яка сприяє пластичному точінню відокремлюваного металу уздовж передньої і задньої поверхні різця. У деякий момент під дією зусиль, що притискають шари металу до передньої поверхні різця, і високої температури шари металу приварюються до передньої (і частково задньої) поверхні, утворюючи наріст. При швидкості різання 20 – 40 м/хв. наріст найбільш великий і стійкий.

При подальшому підвищенні швидкості різання кількість теплоти, що виділяється в процесі стружкоутворення, збільшується. При цьому наріст нагрівається швидше за решту частини зони деформації, частково разупрочнюється і сили зчеплення окремих частинок наросту вже не можуть чинити достатнього опору силам тертя стікаючої стружки, тому частинки металу застійної зони несуться разом зі стружкою. Внаслідок цього наріст зменшується і в інтервалі швидкостей 60 – 70 м/хв. повністю зникає. При подальшому підвищенні швидкості різання нарости на різці не утворюються.

Шорсткість обробленої поверхні в значній мірі пов'язана з процесами утворення стружки і, в першу чергу, з явищем наросту. У

зоні малих швидкостей ($V = 2 - 5$ м/хв.) при яких наріст не утворюється, розміри нерівностей обробленої поверхні незначні. Із збільшенням швидкості розміри нерівностей поверхні зростають, досягаючи при 20 – 40 м/хв. свого найвищого значення, що багато разів перевершує розрахункову величину.

При точінні стандартними різцями з кутом в плані 45° і малим радіусом закруглення при вершині різця (до 2 мм) подача (понад 0,2 мм/об) істотно впливає на шорсткість (рис. 2.18, крива 1). Якщо точіння проводиться різцями з широкою ріжучою кромкою, встановленою паралельно осі виробу, зміна подачі не відбивається на шорсткості (крива 2). При свердлінні, зенкеруванні, торцевому і циліндровому фрезеруванні зміна подачі слабо впливає на шорсткість (крива 3).

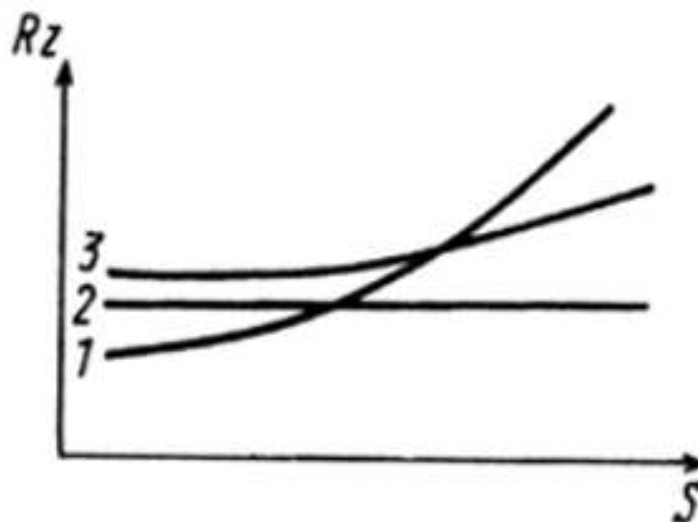


Рис. 2.18. Залежність шорсткості від подачі

Подача - другий елемент режиму різання, що значно впливає на шорсткість, що в значній мірі обумовлене пластичними і пружними деформаціями в поверхневому шарі.

Спостереженнями численних дослідників встановлено, що при звичайному точінні вплив глибини різання на шорсткість дуже мале і практично може не прийматися до уваги.

Геометрія ріжучого інструменту

На шорсткість, головним чином, впливають головний кут в плані ϕ і r – радіус при вершині різця.

Із збільшенням головного кута в плані шорсткість збільшується, а із збільшенням радіусу кута при вершині різця шорсткість зменшується.

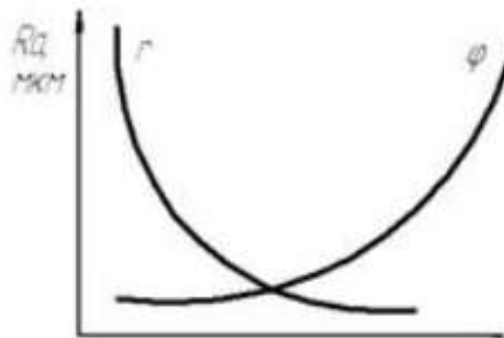


Рис. 2.19. Залежність шорсткості від кута в плані та радіуса при вершині різця

Матеріал оброблюваної деталі

Було встановлено, що при обробці пластичних матеріалів шорсткість більша, ніж при обробці твердих. Чим більше в'язкість, тим більше висота мікронерівностей.

Вплив шорсткості на експлуатаційні властивості деталей

Основний засіб цехового контролю ступеня шорсткості поверхні деталей машин – метод порівняння з еталонними поверхнями відповідних класів, отриманих тим же методом обробки, що і дана деталь. В умовах лабораторії для оцінки шорсткості поверхні застосовуються спеціальні прилади (порівняльний мікроскоп, подвійний мікроскоп, інтерференційний мікроскоп, профілометри і т.д.).

Контактні методи:

профілометр – [прилад](#), яким визначають розмір нерівностей ([шорсткість](#)) обробленої поверхні деталей.

профілограф – [прилад](#), яким записують профіль поверхні у вигляді кривої лінії – профілограми, яка дає змогу оцінювати характеристики нерівностей (шорсткості).

Візуальний контроль – (порівняння зі зразком).



Рис. 2.20. Прилади контактних методів: профілометр і профілограф

Хвилястість (хвилеподібне викривлення поверхні) є сукупність піднесень, які більш менш чергуються, що регулярно повторюються і близьких за розміром, і западин, причому відстань між сусідніми верхівками (западинами) перевищує базову довжину при зміні шорсткості поверхні, а також висоту піднесень. Хвилястість займає проміжне положення між відхиленнями геометричної форми (конусність, овальність і т.п.) і шорсткістю поверхні. При великих значеннях кроку і висоти хвиль хвилястість може розглядатися як похибка геометричної форми (наприклад, ограновування).

Залежно від вигляду обробки розглядають подовжню і поперечну хвилястість.

Хвилястість впливає на міцність посадок, зносостійкість, корозійну втому, втомну міцність.



Рис. 2.21. Контроль хвилястості кругломіром

Фізико-механічні властивості поверхневого шару деталі

При обробці заготовок різанням під дією застосованих сил у металі поверхневого шару відбувається пластична деформація, яка супроводжується його деформаційним зміцненням (наклепом).

Ступінь та глибина наклепу залежить від виду, режиму механічної обробки та геометрії інструменту.

Ступінь наклепу визначається за формулою:

$$U_n = \frac{H_n - H_o}{H_o} \cdot 100\%,$$

де H_n – мікротвердість на поверхні заготовки;

H_o – мікротвердість основного металу.

Глибини наклепу визначають на мікрошліфах

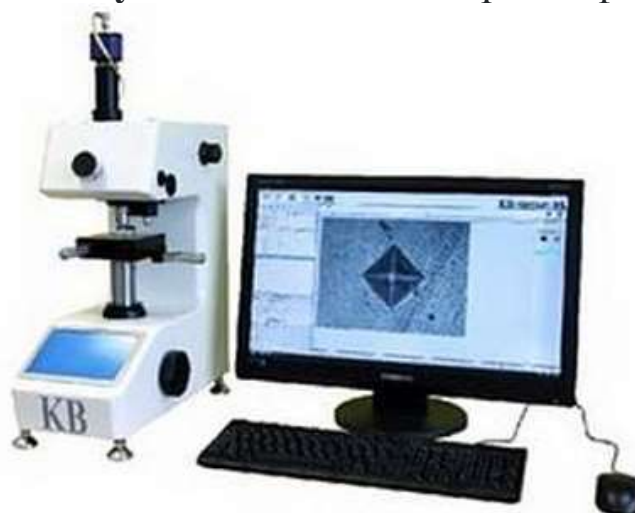


Рис. 2.22. Контроль мікротвердості

Мікротвердоміри ПМТ-3, ПМТ-5. Вдавлення алмазного наконечника з ромбічною основою.

Шляхи підвищення якості поверхні

1) Застосування звичайних методів обробки при визначених режимах.

2) Застосування спеціальних зміцнюючих методів обробки, які направлені тільки на поліпшення якості поверхні (методи ППД – поверхневого пластичного деформування).

Обкочування та розкочування роликми або шариками.

Шарики й роликми зі сталей ШХ15, ХВГ, 9Х (твердість 62...65 HRC) $V = 30...150$ м/хв., $S = 0,2...0,6$ мм/об, ЗОР – машинне мастило, сульфозфрезол (5% емульсія), чавун – без охолодження. Підвищує твердість на 20 – 50%, зносостійкість у 1,5 – 2 рази, сталу міцність до 2 разів. Шорсткість Ra 0,2...0,8 мкм (при вихідній шорсткості Ra 0,8...6,3).

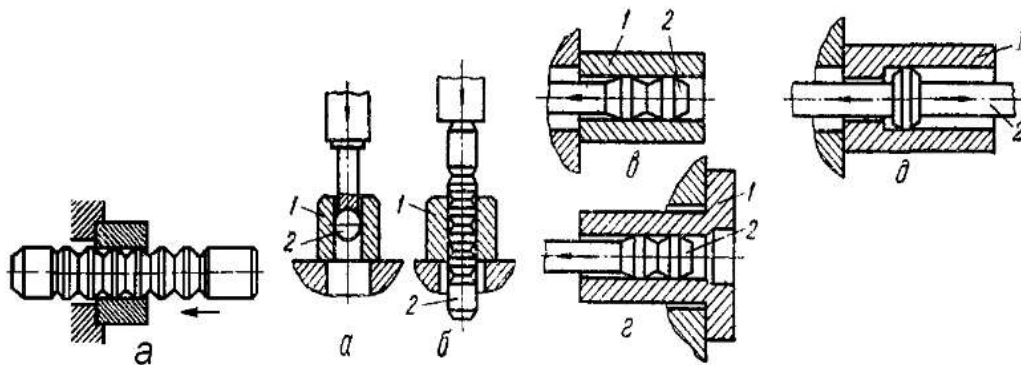


Рис. 2.23. Контроль мікротвердості

а, б – прошовуванням оправки (на пресах); в, г – калібруванням з стискуванням та розтягуванням деталі (на горизонтально протяжному верстаті); д – калібруванням при обернено-поступальному русі оправки (на спеціальних верстатах)
(1 – деталь, що оброблюється; 2 – інструмент)

Калібрування отворів (дорнування, яке деформує протягування)

Чистова операція обробки отворів деталей машин пластичним деформуванням.

Основний параметр – натяг: $i = d_{\text{ин}} - d_0$, де d_0 – діаметр отв. до обробки ($i < 0,5$ мм). $V = 2-25$ м/хв.

Інструмент – ВК15, ВК15М. Підвищується точність розміру на 30-35 %, зменшується шорсткість.

Алмазне вигладжування

Алмаз, притискається з визначеною силою до оброблюваної поверхні.

Інструмент: наконечник з алмазом й тримач, алмаз анізотропен, цьому при закріпленні алмазу його орієнтують по рисці, яку наносять на корпусі наконечника у напрямку швидкості.

$V = 50-150$ м/хв., $S = 0,05-1$ мм/об., $P = 100-400$ Н.

Шорсткість зменшується у декілька разів ($Ra_{0,1...0,05}$ мкм), мікротвердість збільшується на 5-60%, глибина наклепу до 0,4 мм, виникають напруги стику.

Висока зносостійкість й стала міцність.

Вібронакочування (ВН)

Процес обробки плоских, циліндричних, сферичних поверхонь деталей шариком, алмазним індентором при наявності додаткового осцилюючого руху.

Дозволяє згладжувати шорсткість, утворювати систему канавок, новий мікрорельєф, регулярну хвилястість.

Обладнання – токарні, вертикально-фрезерні верстати.

$P = 100...800$ Н, $i = \text{пдв.х./пд}$ – визначає форму нерівностей.

Гільзи циліндрів двигуна, прецизійні напрямні, підшипники ковзання, напрямні станин, шейки валів під манжетні напрямні, утюги.

Обробка дрібною (ОД)

Вплив дробу на оброблювану поверхню.

Використовується для зміцнення деталей, складної форми й малої жорсткості: зуб їв шестерень, листових ресор, пружин, лопаток турбін.

Швидкість подачі дробу – $1...100$ м/с, тиск повітря $0,1...0,5$ МПа

Підвищення твердості на 20-30%, глибини наклепу до 0,5-1 мм.

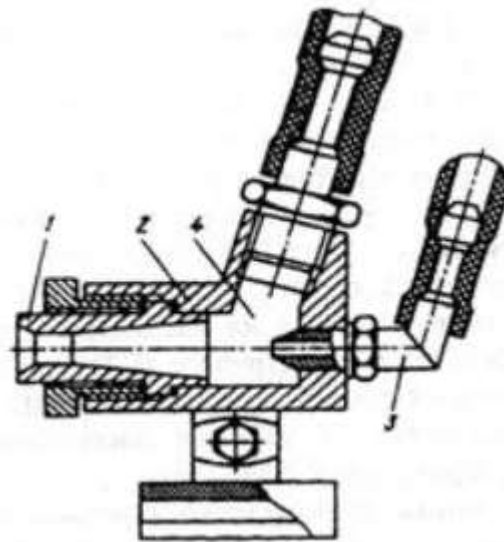


Рис. 2.24. Робоче сопло: 1 - змінна насадка, 2 – корпус, 3 – форсунка подачі повітря

2.6 Поняття припуску, види припусків

Класифікація припусків

Деталі можна виготовляти із заготовок, обробляючи їх різанням з послідовним зніманням металу. Причому на кожному переході із заготовки вирізають метал певної товщини, а оброблювані поверхні поступово наближаються до форми та розмірів деталі.

Для визначення різниці розмірів заготовки і деталі введено поняття про припуск.

Припуском називають надлишковий (збільшена частка розмірів креслення деталі) шар металу заготовки, що знімається під час обробки з метою одержання кінцевої форми, необхідних розмірів і шорсткості поверхні деталі за найменших витрат матеріалу. Припуск, що відповідає вказаним вимогам, з економічної точки зору повинен бути доцільним і оптимальним. Припуск - це різниця між діаметром заготовки D та діаметром обробленої деталі d .

Припуск показують у вигляді товщини металу, що підлягає зніманню обробкою. Припуск може бути з дво- і однобічним розміщенням (рис. 2.25). Для циліндричних деталей його задають надлишковим шаром металу. Чим більший припуск на обробку, тим товстіший шар металу в процесі виготовлення деталі необхідно зняти, що підвищує трудомісткість. З метою економії металу, забезпечення ефективності процесу необхідно визначати припуск,

виходячи з умови одержання потрібної якості деталі за найменшої трудомісткості обробки.

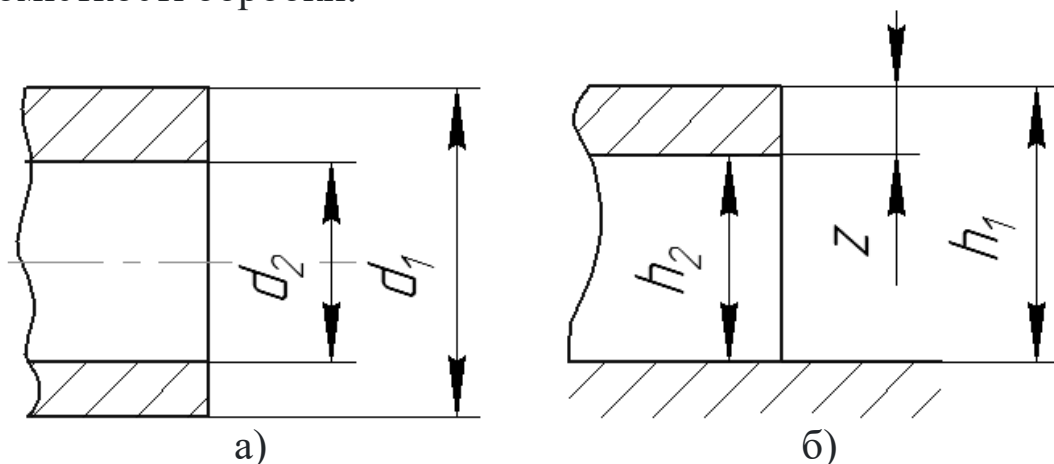


Рис. 2.25. Розміщення припуску на поверхні деталі обертання (а) і на плоскій поверхні (б)

Збільшені припуски приводять до знімання найбільш стійких до спрацювання шарів поверхні деталі, викликають зайві витрати матеріалу на обробку, енергії, робочого інструмента. Занижені припуски не гарантують потрібної якості, бо утруднюють обробку. Припуск визначають залежно від способу виготовлення деталей матеріалу заготовки, виду, розмірів, дефектного шару на поверхні, що обробляється, форми деталі, потрібної точності та шорсткості поверхонь, складності обробки, похибки установки тощо. Так, припуск залежить від товщини кірки, знеуглецьованого шару, глибини поверхневих нерівностей, раковин, тріщин.

Симетричний припуск видаляється одночасно з двох боків заготовки (рис. 2.26).

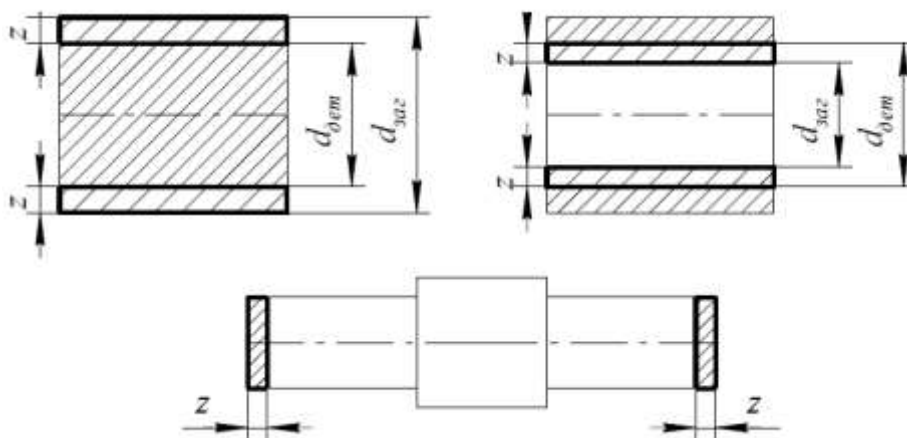


Рис. 2.26. Обробка зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, обробка торців на фрезерно-центрувальних операціях

Міжопераційним припуском називають шар металу, який знімається різанням, тобто міжопераційний припуск дорівнює різниці розмірів заготовки після двох суміжних операцій. Міжопераційні припуски можуть бути мінімальними, номінальними та максимальними.

Мінімальним припуском називають найменший шар металу, що знімають за одну операцію, тобто різницю розмірів мінімального після попередньої операції та максимального після даної операції.

Номінальним припуском називають різницю номінальних розмірів попередньої та даної операцій. Він визначається як сума мінімального припуску та допуску, необхідного на виконання попередньої операції (рис. 2.27).

Максимальним припуском називають найбільший шар металу, що знімають за одну операцію, тобто різницю розмірів найбільшого після попередньої операції та найменшого після даної операції.

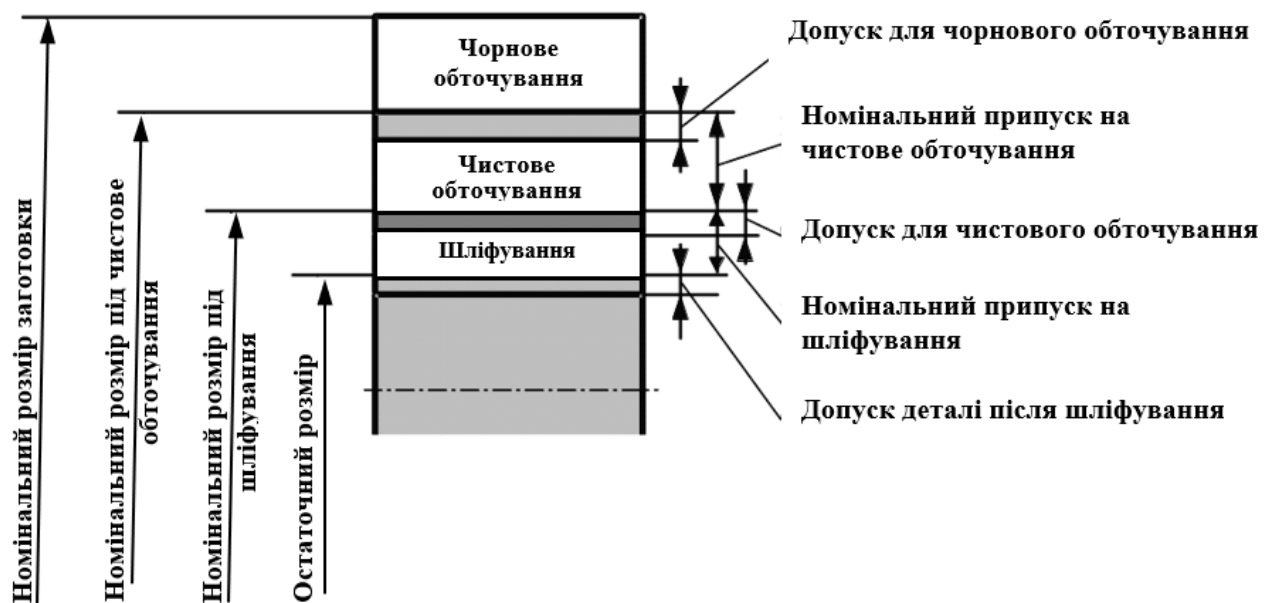


Рис. 2.27. Розміщення припусків і допусків на обробку

Міжопераційний припуск визначають різницею розмірів деталі після попередньої та даної операцій. Наприклад, для зовнішніх поверхонь (рис. 2.27, а).

$$a_1 - a_2 = z_1, \quad a_2 - a_3 = z_2, \quad a_3 - a_4 = z_3$$

для внутрішніх поверхонь (рис. 2.27, б)

$$a_2 - a_1 = z_1, \quad a_3 - a_2 = z_2, \quad a_4 - a_3 = z_3,$$

де z_1, z_2, z_3 – міжопераційні припуски,
 a_1, a_2, a_3, a_4 – міжопераційні розміри.

Для зовнішніх поверхонь запільний припуск z_0 дорівнює різниці розмірів заготовки та деталі $z_0 = a_1 - a_4$, для внутрішніх поверхонь $z_0 = a_4 - a_1$, де a_1 – розмір заготовки; a_4 – розмір деталі.

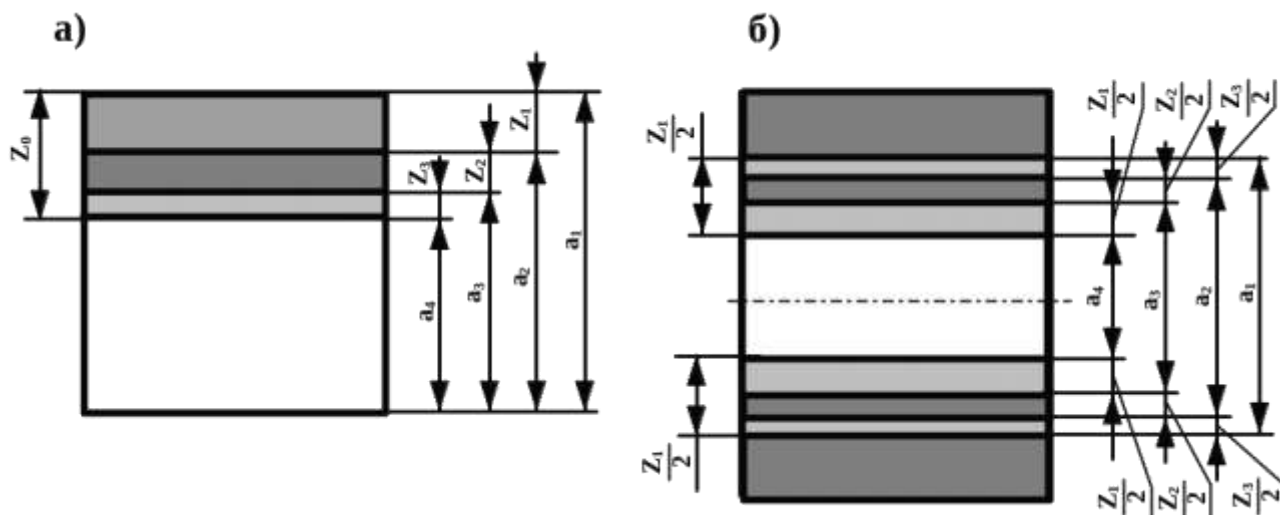


Рис. 2.28. Припуск на обробку зовнішніх і внутрішніх поверхонь

Загальний припуск визначають як суму операційних припусків усіх операцій

$$Z_c = \sum_{i=1}^n Z_i,$$

де n – число переходів.

Симетричний припуск (на два боки) визначають такою залежністю (рис. 2.25): для обробки паралельних протилежних плоских поверхонь

$$2Z_c = 2[(H_a + T_a) + (\rho_a + \xi_B)]$$

для обробки зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхонь, коли напрями векторів ρ_a і ξ_B визначити неможливо.

$$2Z_o = 2 \left[(H_a + T_a) + \sqrt{\rho_a^2 + \xi_B^2} \right]$$

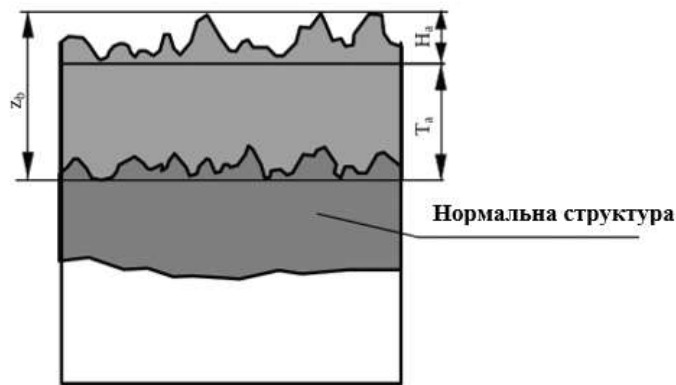


Рис. 2.29. Визначення припуску

Асиметричний припуск при послідовній обробці поверхонь визначають залежністю

$$Z_o = (H_a + T_a) + (\rho_a + \xi_{\text{п}}),$$

де z_0 – мінімальний припуск на обробку (на бік), віднесений до найменшого розміру заготовки для зовнішніх поверхонь і до найбільшого розміру заготовки для внутрішніх поверхонь;

H_a – висота мікронерівностей;

T_a – глибина дефектного поверхневого шару;

ρ_a – сумарне значення просторових відхилень оброблюваної поверхні;

$\xi_{\text{п}}$ – похибка установки з вивіркою заготовки для виконуваної операції.

Схему токарської обробки вала, що включає два технологічних переходи (чорнова обробка, чистова обробка) представлено на рис. 2.30.

Значення $(H_a + T_a)$ для чорнової обробки дорівнює для прокату 0,3 мм, для поковок, одержаних вільним куванням, 2...5 мм, залежно від поперечного розміру поковки, починаючи від 50 до 2000 мм.

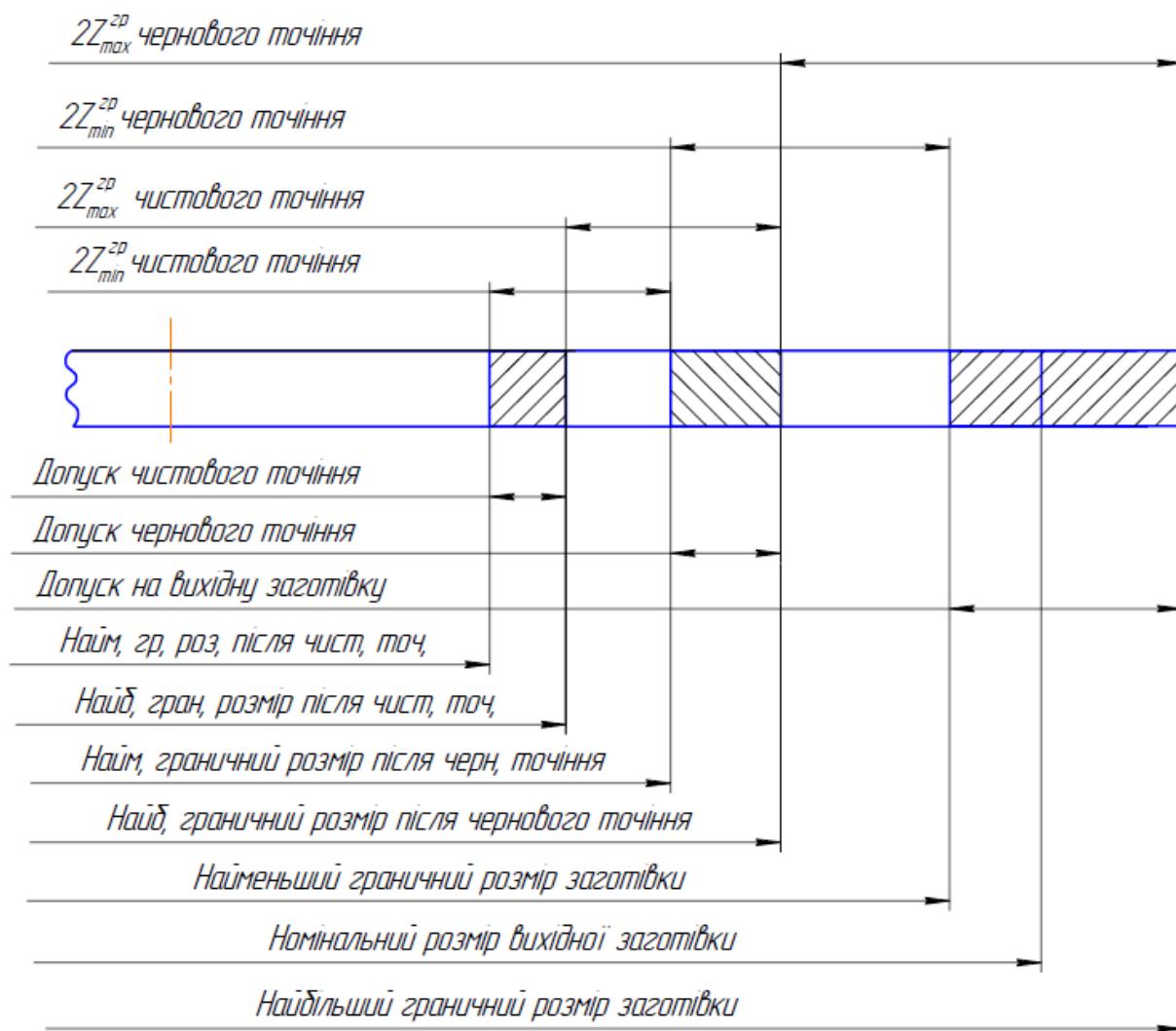


Рис. 2.30. Схема розташування припусків, допусків і граничних розмірів

Нижче приведені припуски на чистове обточування, причому менший припуск береться для обробки вала довжиною до 1000 мм, а більший — для обробки вала довжиною більше 1000 мм:

Діаметр	6...18	18...50	50...120	120...260	260...500
вала, мм					
Припуск на діаметр, мм	1...1,5	1,5—2	1,5...2	2...3	3

Кількість матеріалу (норма витрати), необхідного для виготовлення деталі, $H_q = G_0 + \Sigma g$ — маса готової деталі, G_0 — сумарна маса відходів і втрат.

Критерієм оцінки ступеня прогресивної норми витрати матеріалу є коефіцієнт використання матеріалу $\eta_m = G_0/H_q$, — це відношення маси деталі до норми витрати матеріалу. Чим більший коефіцієнт, тим більша економія металу.

Знаючи η_m , можна кількісно оцінити технологічність конструкції заготовки. Технологічність конструкції — це сукупність властивостей виробу, що відповідають оптимальним витратам на його виготовлення, експлуатацію, ремонт тощо, якщо показники якості, кількості, собівартості відповідають заданим вимогам.

Контрольні запитання

- 1 Дайте визначення припусків на механічну обробку.
- 2 Як вимірюють припуски на деталі?
- 3 Наведіть схему розміщення припусків.
- 4 Як забезпечують точність за рахунок припусків зняттям пробних стружок при обробці на попередньо налаштованому верстаті?
- 5 Що включає в себе товщина дефектного шару?
- 6 Як визначити величину максимального припуску?
- 7 Як визначають величину припуску розрахунково-аналітичним методом?

ТЕМА 3 БАЗУВАННЯ ТА БАЗИ У МАШИНОБУДУВАННІ

3.1 Поверхні і бази оброблюваної деталі

При установці деталей для обробки на верстатах розрізняють наступні поверхні:

- 1) оброблювані поверхні, з яких ріжучими інструментами знімається шар металу (або що піддаються дії іншого робочого інструменту);
- 2) поверхні бази, що визначають положення деталі при обробці;
- 3) поверхні, що сприймають затискні сили;
- 4) поверхні, від яких вимірюють розміри, що вигримуються;
- 5) необроблювані поверхні.

Базування виробу – це надання йому необхідного положення відносно вибраної системи координат.

Бази – це поверхні, лінії, точки, які визначають положення виробу відносно вибраної системи координат. Розрізняють бази конструкторські, вимірювальні і технологічні. Базами можуть служити поверхні, лінії, точки і їх сукупності.

У процесі базування тіла контактують між собою реальними поверхнями, тобто окремими елементарними ділянками, які називаються точками контакту чи опорними точками.

Опорна точка – це точка, яка символізує один із зв'язків заготовки з вибраною системою координат. Для позначення опорних точок на базових елементах заготовки (виробу) використовують так звану теоретичну схему базування (скорочено: схема базування). Усі опорні точки на схемі базування зображають умовними знаками (рис. 3.1) і нумерують порядковими номерами, починаючи з бази, на якій розташована найбільша кількість точок. При накладанні у будь-якій проекції однієї опорної точки на іншу зображується одна точка. Біля неї проставляється номери суміщених точок.

Кількість проєкцій заготовки чи виробу на схемі базування повинна бути достатньою для чіткого уявлення про розташування опорних точок. Кількість опорних точок на схемі базування завжди рівна кількості ступенів вільності, яких опора позбавляє заготовку в процесі базування останньої.

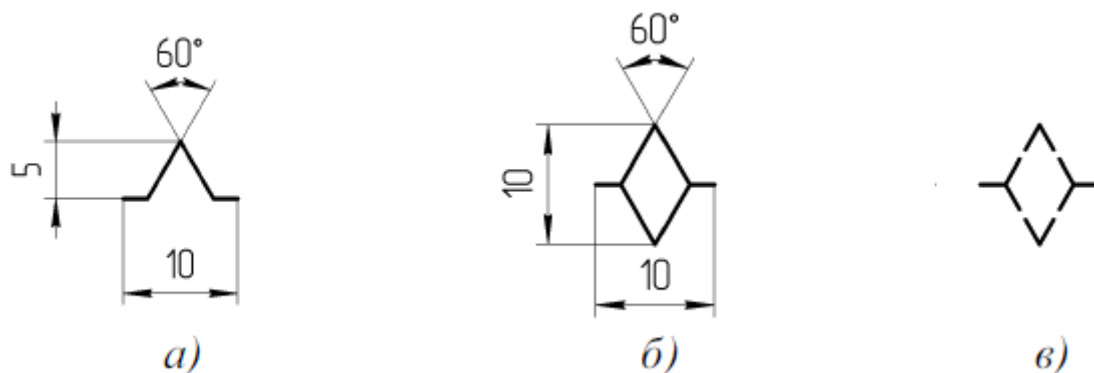


Рис. 3.1. Умовне зображення опорних точок: вид спереду і збоку (а); вид зверху (б); вид знизу (в)

У технології машинобудування розрізняють бази технологічні, збірні і конструктивні.

Технологічні бази підрозділяють на настановні і вимірювальні.

Настановними базами називають такі поверхні деталі, якими вона встановлюється для обробки в певному положенні щодо верстата (або пристосування) і ріжучого або іншого робочого інструменту.

Настановними базами можуть служити плоскі поверхні, зовнішні і внутрішні циліндричні поверхні, поверхні торців з отворами, поверхні отворів, поверхні центрових гнізд, конічні, криволінійні поверхні (наприклад, поверхні зубів зубчатих коліс, різьблення) і ін.

У якості настановних баз можуть служити оброблені і необроблені поверхні. Необроблені поверхні можна приймати як бази при початкових операціях обробки – вони називаються **чорновими базами**. Оброблені поверхні, які служать базами для подальших операцій, називаються **чистовими базами**. Чорнові бази повинні бути по можливості рівними і гладкими, без поверхневих дефектів.

Настановна база може бути основною конструкторською базою або допоміжною конструкторською базою. Конструкторська база (КБ) – база, що використовується для визначення положення деталі або складальної одиниці у виробі.

Основною конструкторською базою (ОКБ) називається поверхня деталі, яка служить для установки деталі при обробці і сполучається з іншою деталлю, що спільно працює в зібраній машині, або впливає на роботу даної деталі в машині (рис. 3.2).

Як приклад можна привести зубчате колесо, в якому отвір є основною базою, оскільки поверхня отвору сполучається з валом, на який насаджується колесо, і, крім того, при обробці колесо базується отвором на оправці, завдяки чому досягається збіг осі отвору з віссю зовнішньої циліндричної поверхні і початкового кола зубів колеса, що забезпечує правильну роботу його в зібраному вузлі.

Допоміжною конструкторською базою (ДКБ) називається поверхня деталі, яка служить тільки для її установки при обробці, не сполучається з іншою деталлю, що спільно працює в зібраній машині, і не впливає на роботу даної деталі в машині.

Прикладом допоміжних баз можуть служити центрові отвори валів, які використовуються тільки при обробці, оскільки за конструкцією вони не потрібні. Допоміжними базами є також при обробці поршня двигуна, які при роботі поршня ні з якими поверхнями інших деталей не сполучаються і на роботу поршня не впливають.

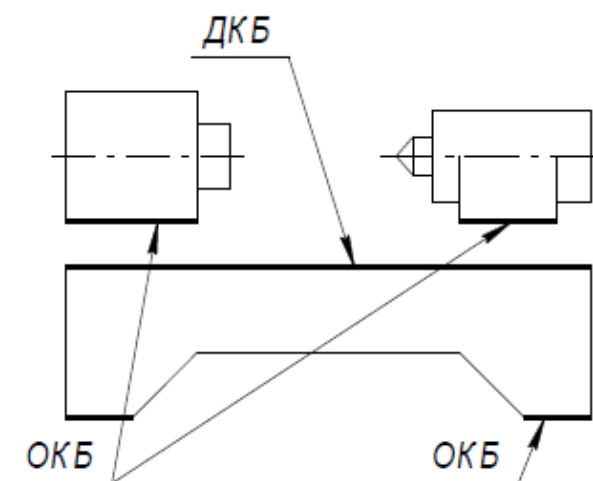


Рис. 3.2. Конструкторські бази

Поверхні 3, 2, 1 (або 4) – ОКБ розглянутого «вала» (рис. 3.3). Зазначених ОКБ 1, 2, 3 (або 2, 3, 4) – достатня кількість поверхонь для базування розглянутої деталі у виробі. Поверхні 5, 6, 7 – для розглянутого «вала» є ДКБ.

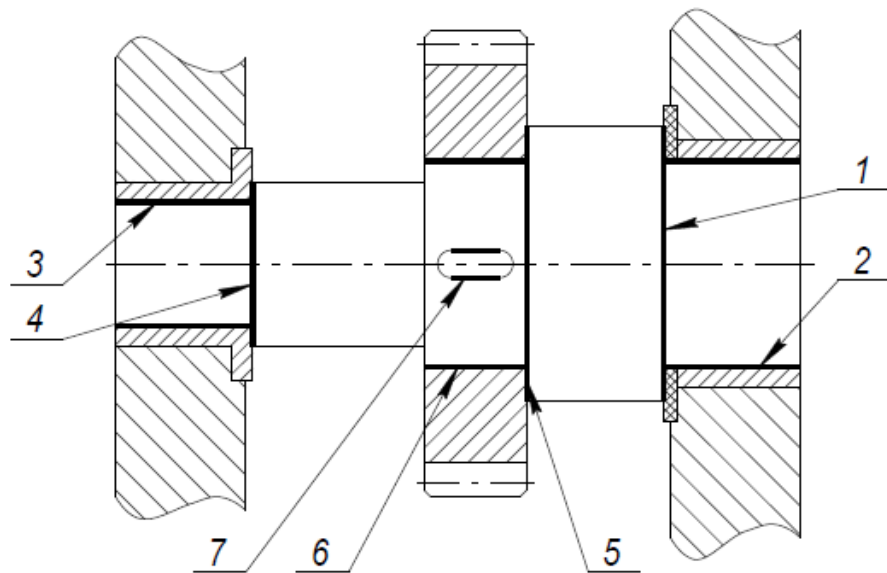


Рис. 3.3. Поверхні вала

Вимірювальною базою називають поверхню, від якої при вимірюванні проводиться безпосередній відлік розмірів.

Складальною базою називають поверхню (або сукупність поверхонь, ліній, точок), яка визначає положення даної деталі щодо інших деталей в зібраному вузлі або в машині.

Конструктивною базою називають сукупність поверхонь ліній, точок, від яких задаються розміри і положення інших деталей при розробці конструкції. Конструктивна база може бути матеріальною, якщо вона є матеріальною поверхнею, або геометричною, якщо вона є осьовою геометричною лінією.

Класифікація баз по числу ступенів вільності, що позбавляються

Опорна база – позбавляє заготовку одного ступеня вільності, зв'язуючи або переміщення, або обертання навколо осі.

Напрямна база – позбавляє заготовку двох ступенів вільності – переміщення щодо однієї координатної осі й обертання навколо іншої. Як напрямну базу рекомендується використовувати площину, що має найбільшу довжину.

Подвійна опорна база – позбавляє заготовку також двох ступенів вільності: переміщення уздовж двох координатних осей.

Встановлювальна база – позбавляє заготовку трьох ступенів вільності: переміщення уздовж однієї й обертання навколо двох інших координатних осей.

Подвійна опорна + опорна база (опорно-центруюча) – позбавляє трьох ступенів вільності: трьох переміщень відносно 3-х осей.

Подвійна напрямна база – позбавляє 4-х ступенів вільності: переміщення відносно 2-х осей і 2-х обертань навколо тих же осей.

Подвійна напрямна + опорна база – позбавляє п'яти ступенів вільності: 3-х переміщень по осях і двох обертань.

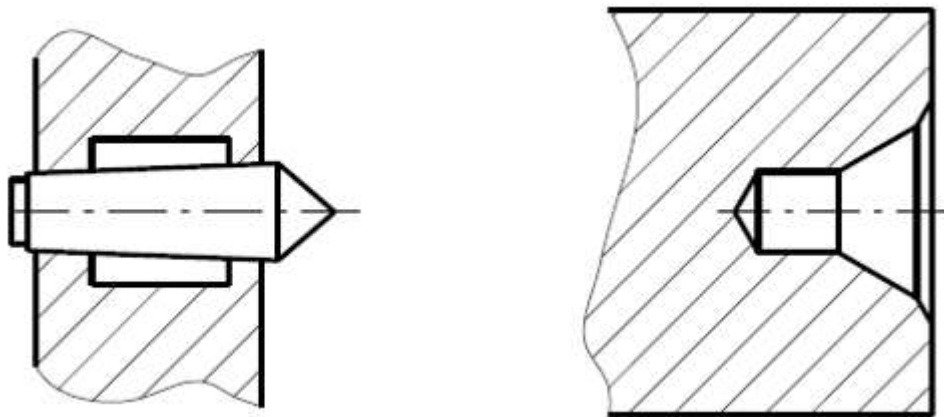


Рис. 3.4. Подвійна напрямна і опорна та подвійна опорна і опорна бази

Принципи постійності бази і поєднання баз. Закріплення деталей. Послідовність операцій

Найбільшої точності обробки деталі можна досягти у тому випадку, коли весь процес обробки ведеться від однієї бази з однією установкою, оскільки, зважаючи на можливі зсуви при кожній новій установці вноситься помилка у взаємне розташування осей поверхонь. Оскільки в більшості випадків неможливо повністю обробити деталь на одному верстаті і доводиться вести обробку на інших верстатах, то в цілях досягнення найбільшої точності необхідно всі подальші установки деталі на даному або іншому верстаті проводити по можливості на одній і тій же базі.

Принцип постійності бази полягає в тому, що для виконання всіх операцій обробки деталі використовують одну і ту ж базу.

Якщо по характеру обробки це неможливо і необхідно прийняти за базу іншу поверхню, то як нову базу треба вибирати таку оброблену поверхню, яка визначається точними розмірами по

відношенню до поверхонь, що найбільш впливають на роботу деталі в зібраній машині.

Треба завжди пам'ятати, що кожен перехід від однієї бази до іншої збільшує накопичення похибок установок (похибок положення оброблюваної деталі щодо верстата, пристосування, інструменту). Тому при виборі баз різного призначення треба прагнути використовувати одну і ту ж поверхню як різні бази, оскільки це теж сприяє підвищенню точності обробки.

В цьому відношенні доцільно як вимірювальна база використовувати настановну базу, якщо це можливо; ще вищій точності обробки можна досягти, якщо складальна база є одночасно настановною і вимірником. У цьому і полягає принцип поєднання баз.

Рішення питання про можливість використання настановної бази як вимірник залежить від того, який розмір деталі повинен бути точно витриманий і від якої поверхні при вимірюванні може бути проведений відлік розміру.

За рисунком 3.5 точно витримується розмір «X», відлік цього розміру проводиться від поверхні А – А, яка в даному випадку є одночасно вимірювальною і настановною базою. За рисунком точно витримується розмір, відлік якого проводиться від бази А, яка є в цьому випадку вимірювальною базою; настановною ж базою, як і раніше, служить опорна поверхня, на яку в обох випадках встановлюється оброблювана деталь.

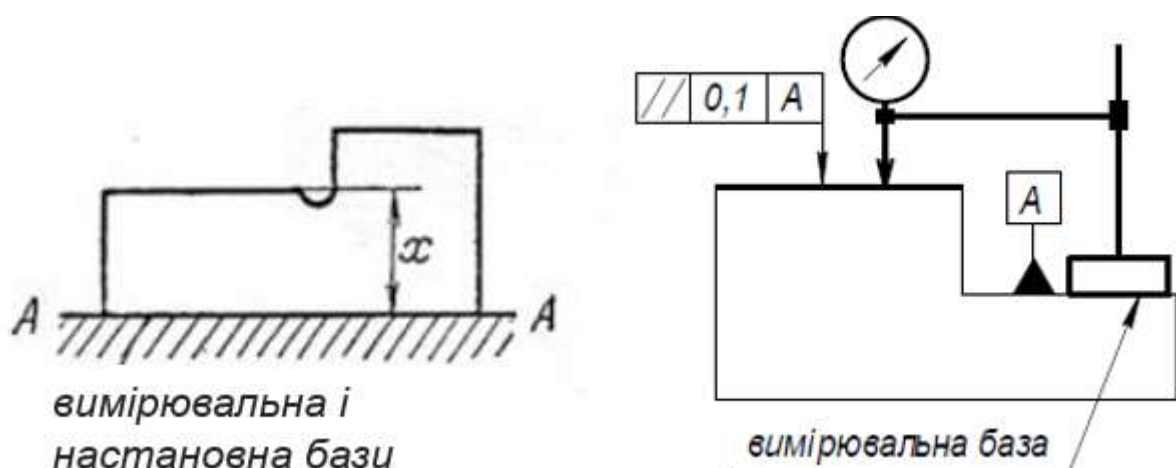


Рис. 3.5. Настановна і вимірювальна бази

Обробка деталі починається з поверхні, яка служить настановною базою для подальших операцій. Для обробки цієї

поверхні, тобто для виконання першої операції, як чорнова база доводиться приймати, як уже згадувалося, необроблену поверхню, яка повинна бути по можливості чистою, гладкою і рівною, без задирок і ухилів (останні застосовуються при виготовленні відливань, поковок, штампувань).

За відсутності поверхні, що задовольняє цим вимогам, у заготовок роблять спеціальні настановні бобишки, на які деталь базується при обробці її настановної поверхні (настановної бази).

Далі, коли оброблена настановна поверхня, обробляють решту поверхонь, дотримуючи при цьому певну послідовність і маючи на увазі те, що обробка кожній подальшій поверхні може спотворювати раніше оброблену поверхню. Це відбувається з тієї причини, що зняття ріжучим інструментом шару металу з поверхні деталі викликає перерозподіл внутрішньої напруги в матеріалі деталі, що приводить до її деформації.

У зв'язку з вказаним явищем спочатку обробляють поверхні, до точності яких пред'являються менші вимоги, а потім поверхні, які повинні бути точнішими. Останньою обробляється поверхня, яка повинна бути найбільш точною і має найбільше значення для роботи деталі в зібраній машині. Якщо за умовами обробки цю поверхню необхідно обробити раніше, то після обробки решти всіх поверхонь її треба повторно обробити для вивіряння і додання їй остаточного розміру.

Наприклад, обробку зубчатих коліс зазвичай починають з обробки отвору, оскільки він (як вже згадувалося вище) служить базою для подальших операцій. Але, оскільки цей отвір сполучається з поверхнею валу, на якій надіте дане колесо, спільно з ним працює в зібраній машині і, отже, повинний бути дуже точним, оскільки є складальною базою, то після ряду операцій обробка зубчатого колеса закінчується шліфуванням.

Класифікація баз за характером прояву:

- явні бази, тобто бази у вигляді реальних поверхонь заготовки, точок, перетинання розмічувальних рисок;
- сховані бази, тобто це бази у вигляді уявної площини, осі чи точки. Для їхнього використання останні необхідно матеріалізувати або за допомогою розмітки, або за допомогою спеціальних пристосувань.

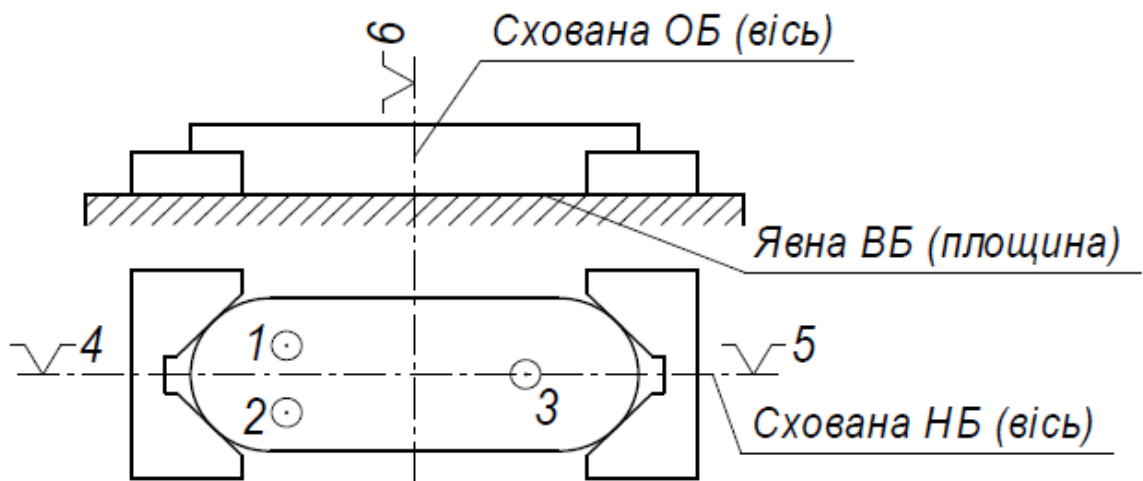


Рис. 3.6. Явна і схована бази

Налаштувальною базою називається поверхня заготовки, яка обробляється на даному установі й зв'язана розміром з технологічною базою. По цій базі проводиться настроювання верстата для обробки на тому ж установі інших поверхонь, пов'язаних з нею розмірами. Поняття налаштувальної бази використовується при обробці заготовок партіями на попередньо налаштованих верстатах.

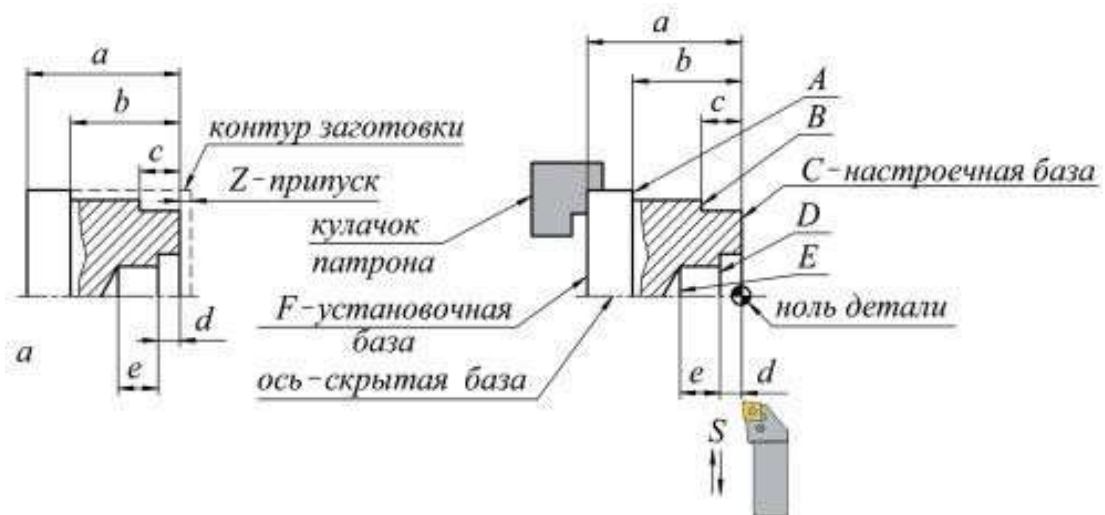


Рис. 4.11. Приклад налаштувальної бази

На даному рисунку представлено креслення деталі з лінійними розмірами. Діаметральні розміри на кресленні не зазначені. Технологічний процес механічної обробки цієї деталі складається із двох операцій. На першій операції від прутка відрізають заготовки довжиною $a + Z$ у кількості, рівному партії деталей. Тут Z — припуск

на підрізування торця при наступній обробці. Другу операцію виконують на токарно-револьверному верстаті. Заготовку затискають у трьохкулачковому патроні, що самоцентрується, з упором в кулачки, підрізають торець різцем, установленим в різцетримачі.

Інші поверхні обробляють переміщенням супорта з револьверною головкою в осьовому напрямку, обмежуючи це переміщення по упорах. У цьому випадку можливі два варіанти налаштування верстата по упорах.

У першому випадку, для обмеження поздовжнього ходу револьверного супорта, верстат можна налаштувати по упорах щодо поверхні кулачка, що контактує з настановною базою F . При такому налаштуванні розміри b , c , d , e , які проставлені від поверхні C , залежать від розміру a . Через розсіювання цього розміру в межах допуску, положення поверхні C від заготовки до заготовки буде мінятися, у той час як переміщення револьверного супорта будуть завжди постійними, тому що вони обмежені упорами. Тому розміри b , c , d , e після обробки на даному установі в кожній деталі будуть різними.

Другий варіант налаштування верстата дає можливість забезпечити точність цих розмірів. У цьому випадку верстат слід набудовувати по упорах щодо поверхні C . Однак положення цієї поверхні при закріпленні деталі в патроні з упором у поверхню F , як було відзначено раніше, міняється від заготовки до заготовки. Щоб положення поверхні C стало цілком певним, її додатково підріжуть на даному установі різцем, установленим у різцетримачі верстата. Для одержання розміру a різець набудовують, тобто встановлюють у певному положенні щодо технологічної бази F . Поверхня C по даному вище визначенню є налаштувальною базою. По-перше, вона обробляється на даному установі й зв'язана розміром з технологічною базою. По-друге, щодо цієї поверхні проводиться налаштування верстата для обробки інших поверхонь, пов'язаних з нею розмірами. Строго говорячи, налаштування верстата по упорах для одержання лінійних розмірів проводиться щодо вершини різця, яким обробляється налаштувальна база. У свою чергу положення вершини різця визначається відстанню a до опорної поверхні кулачка.

Перед технологом завжди стоїть завдання відшукати найбільш сприйнятливий варіант, що досягається аналізом переваг та недоліків кожного з можливих варіантів.

Існує математичний спосіб визначення найвигіднішого варіанта базування на основі використання технологічних розмірних ланцюгів.

Для об'єктивного ж встановлення оптимального варіанту схеми базування заготовки на технологічній операції слід застосовувати розрахунковий метод, який може бути реалізовано двома способами - проєктним або перевірковим.

Застосування цих способів ґрунтується на розрахунковому оцінюванні точності базування за рахунок визначення похибки базування.

Точність базування – це ступінь відповідності положення заготовки, деталі чи складальної одиниці, яке досягнуте базуванням, необхідному положенню.

Похибка базування – відхилення фактично досягнутого положення заготовки при її базуванні від потрібного.

Похибка базування виникає тоді, коли технологічна база вибрана у такий спосіб, що зі зміною розмірів заготовки (в межах поля допуску) змінюється у певних межах і розмір, який витримується.

Похибка базування еквівалентна похибці розташування вимірювальної бази відносно технологічної бази в певному координатному напрямку для прийнятої схеми базування і розраховується для певного отриманого розміру (лінійного або кутового,) якщо оцінюється відносне розташування вимірювальної та базової поверхонь. Для визначення величини похибки базування у кожному конкретному випадку треба виразити віддаль між конструкторською та технологічною базою як функцію розмірів відповідних елементів деталі та пристрою. Спроектвавши цю віддаль на напрям розміру, який витримується, отримують математичний вираз, який показує, які параметри і яким саме чином впливають на точність базування.

Зменшення похибки базування може здійснюватися за рахунок зменшення зазорів, які завжди існують між базовими елементами пристрою та відповідними базовими елементами заготовки деталі;

суміщення технологічної та вимірної бази; використання налагоджувальних баз.

Сумарна похибка, яка виникає в процесі оброблення заготовки, повинна бути меншою за величини допусків розмірів, які витримуються на операції. Ця похибка є геометричною сумою елементарних похибок: встановлення $\varepsilon_{вст}$, оброблення $\varepsilon_{обр}$ та налагодження $\varepsilon_{нлг}$.

Похибка встановлення заготовки визначається за виразом:

$$\varepsilon_{вст} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2},$$

де ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення заготовки у пристрої;

$\varepsilon_{пр}$ – похибка положення пристрою на верстаті.

Здебільшого верстатні пристрої проектуються таким чином, що напрямок дії сили затиску перпендикулярний напрямку розміру, який витримується, тобто $\varepsilon_3 = 0$.

Похибка встановлення заготовки не повинна перевищувати третини допуску на розмір, який витримується, у пристрої під час оброблення на налагодженому верстаті.

Практичне правило розрахунку похибки базування:

- похибка базування, при витримуванні певного розміру деталі в процесі її виготовлення, чисельно рівна допуску розміру, який з'єднує технологічну та вимірювальну бази.

Похибка базування при встановленні заготовок на плоскі поверхні.

Для деталі необхідно отримати розмір В з допуском (рис. 3.7). Приймавши за технологічну базу поверхню І і відповідно встановивши фрезу, похибка базування при виготовленні партії деталей зведеться до нуля (а).

Якщо для цієї ж деталі необхідно витримати з допуском розмір С, то, встановивши деталь, як і у першому випадку, поверхнею І, вносимо у витримуваний розмір похибку базування, величина якої буде залежати від допуску на розмір А (ТА). Конструкторською базою, від якої задано розмір, у цьому випадку є поверхня ІІ. Розмір А може змінюватися в межах поля допуску ТА. Відповідно, похибкою базування буде величина цього поля допуску.

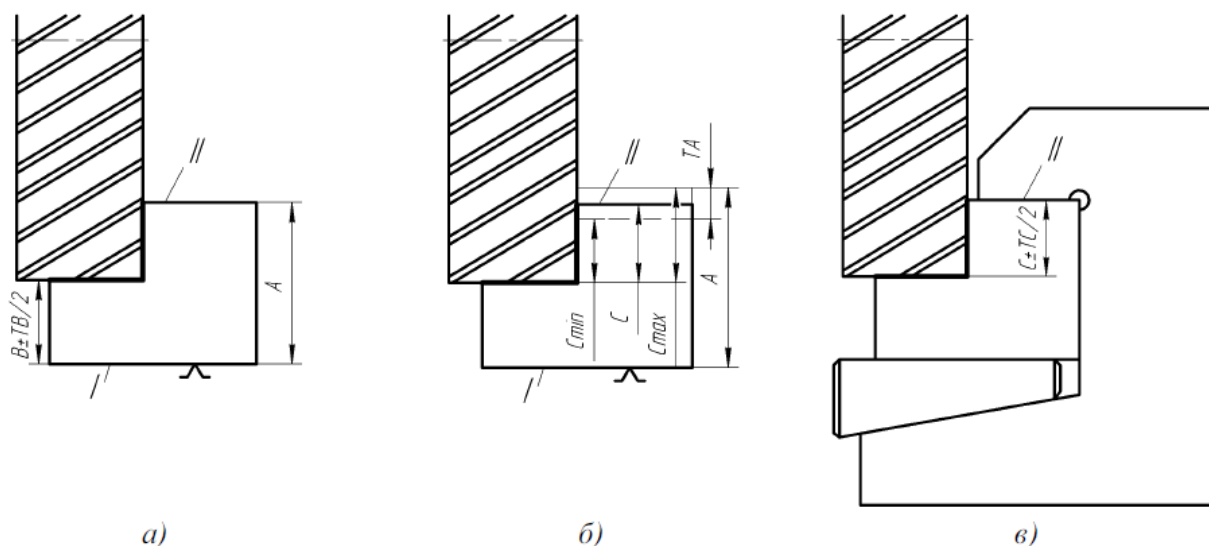


Рис. 3.7. Вибір варіантів базування

а – при суміщенні конструкторської і технологічної баз; б – при несуміщенні конструкторської і технологічної баз; в – варіант базування заготовки по поверхні II

Зміна способу базування заготовки. Приймавши за технологічну базу поверхню II (пристрій для оброблення в розмір C мав би принциповий вигляд (в)). Цей спосіб кращий, оскільки похибка базування рівна нулю, але при цьому дещо ускладнюється конструкція пристрою.

3.2 Способи установки деталей. Правило шести точок

Установка деталі для обробки може бути здійснена різними способами.

1. Установка деталі безпосередньо на столі верстата (або в універсальному пристосуванні) з вивірянням її положення щодо столу верстата і інструменту. Цей спосіб вимагає багато часу, і його застосовують в одиничному і дрібносерійному виробництві, коли економічно недоцільно виготовляти спеціальні пристосування унаслідок малої виробничої програми.

2. Установка деталі на столі верстата по розмітці. Розміткою називається нанесення на заготовку осей і ліній, що визначають положення оброблюваних поверхонь. При розмітці заготовку заздалегідь покривають крейдовою фарбою; після того, як вона висохне, заготовку поміщають на розмічальну плиту, в призмі або на косинці, і наносять лінії на поверхні за допомогою штангенрейсмуса, циркуля, косинця, штангенциркуля з гострими губками і інших

інструментів. Для того, щоб лінії були видні у разі видалення фарби, уздовж ліній наносять керном точки через деякі проміжки. Розмітка має на меті позначити на заготовці таке положення оброблюваних поверхонь, щоб припуски для всіх поверхонь були достатніми.

Розмітка вимагає значної витрати часу висококваліфікованого фахівця-розмітника, від індивідуальних якостей якого залежить точність розмітки. Установка по розмітці не забезпечує високої точності обробки. Такий спосіб установки застосовується при обробці крупних відливок складної форми і крупних поковок в одиничному і дрібносерійному виробництві (головним чином у важкому машинобудуванні).

3. Установка деталі в спеціальному пристосуванні. Цей спосіб установки забезпечує додання і закріплення певного положення деталі для обробки (причому деталь орієнтується щодо ріжучого інструменту) з достатньо високою точністю і з малою витратою часу.

При обробці деталі із застосуванням спеціальних пристосувань відпадає необхідність розмітки заготовок і вивіряння їх положення на верстаті; таким чином, виключається дорога і трудомістка операція, що до того ж, яка вносить похибки до розмірів, залежних від індивідуальних якостей розмітника.

У спеціальних пристосуваннях передбачаються настановні поверхні для базування деталей.

Як відомо з механіки, тверде тіло в просторі має шість мір свободи: три можливі переміщення уздовж трьох довільно вибраних взаємно перпендикулярних осей координат X , Y , Z і три можливі обертальні рухи щодо тих же осей.

Позбавити деталь (тіло) кожною з шести мір свободи можна, притиснувши деталь до відповідно розташованій нерухомій точці пристосування (або столу верстата), званою одноточковою опорою. Кожна нерухома одноточкова опора позбавляє деталь однієї ступені вільності, тобто можливості переміщення тіла по напрямку нормалі до поверхні тіла в точці опори. Для того, щоб позбавити деталь всіх шести ступенів вільності, вона повинна базуватися на шести нерухомих точках. Правило шести точок полягає в тому, що кожне тіло (деталь) повинне базуватися на шести нерухомих точках, при цьому тіло позбавляється всіх шести ступенів вільності.

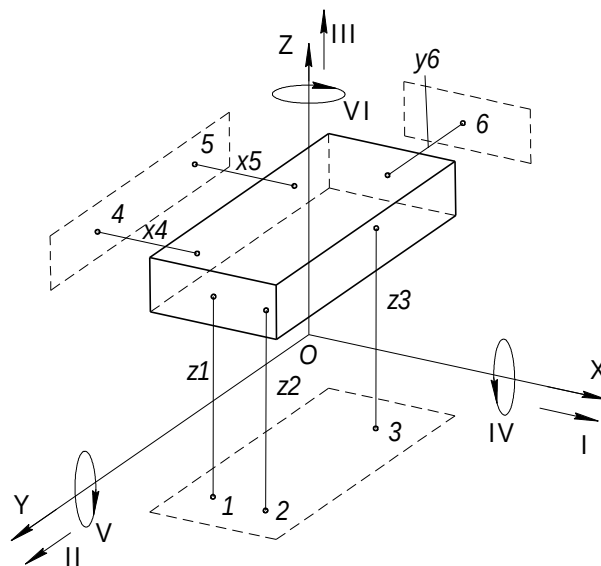


Рис. 3.8. Схема базування деталі (правило шести точок)

Ці шість точок повинні бути розташовані в трьох взаємно перпендикулярних площинах: три опорні точки (1, 2, 3) в площині XOZ , дві точки (4, 5) в площині YOZ і одна точка (6) в площині XOY .

Три координати (1, 2, 3) визначають положення деталі щодо площини XOZ :

- а) позбавляють деталь можливості переміщатися у напрямі осі Y ;
- б) позбавляють деталь можливості обертатися навколо осей X і Z .

Таким чином, три координати (1, 2, 3) позбавляють деталь трьох ступенів вільності.

Дві координати (4, 5) визначають положення деталі щодо площини YOZ :

- а) позбавляють деталь можливості переміщатися у напрямі осі X ;
- б) позбавляють деталь можливості обертатися навколо осі Y .

Отже, дві координати (4, 5) позбавляють деталь ще двох ступенів вільності.

Одна координата (6) визначає положення деталі щодо площини XOY , позбавляючи деталь можливості переміщатися у напрямі осі Z , тобто одна координата (6) позбавляє деталь ще однієї – останньої – ступенів вільності.

Отже, для визначення положення деталі в просторі необхідно мати шість опорних точок: 1, 2 і 3 визначають опорну площину; 4 і 5 визначають направляючу площину; 6 – наполегливу площину.

При більшому числі нерухомих опор деталь спирається не на всі опори, а якщо все ж таки вона буде штучно притиснута (притягає) до всіх нерухомих опор, то вона буде деформована дією затисків.

Для нерухомого закріплення при обробці деталей повинна бути притиснута одночасно до усіх шести опорних точок.

Реалізація теоретичної схеми базування циліндричних тіл здійснюється найчастішим за допомогою призм.

Призма – настановний елемент з робочою поверхнею у вигляді паза, створеного двома площинами, нахиленими один до одного під кутом 60, 90, 120, 180 град.

При базуванні циліндричної деталі на призмі вона позбавляє чотирьох ступенів вільності чотирма нерухожими одноточковими опорами (1, 2, 3 і 4) і решти двох ступенів вільності – від переміщення деталі уздовж призми і обертання деталі навколо своєї осі – позбавляється одноточковими опорами (5 і 6), для чого в крапці 5 необхідно поставити упор, а в крапці 6 – шпонку.

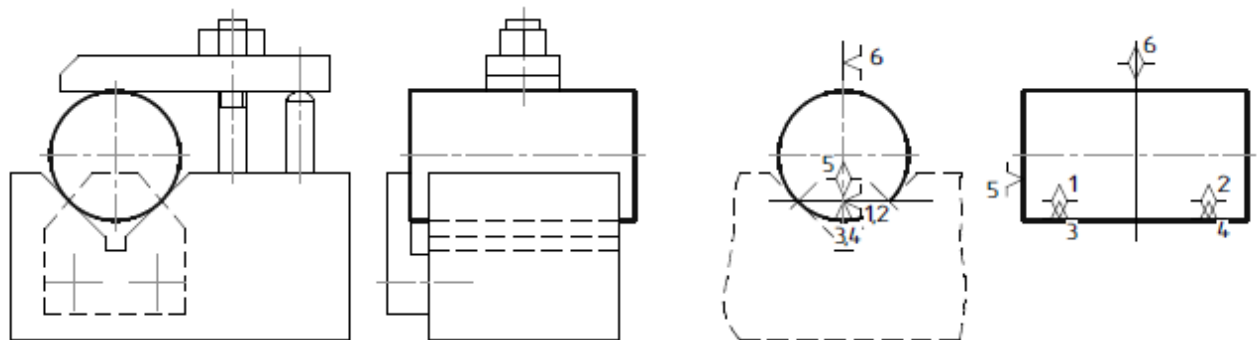


Рис. 3.9. Схема базування вала на призмі

Схему базування розробляють з метою раціонального вибору базових елементів деталі (точка, вісь, площина). Правильний вибір базових елементів дозволяє надати заготовці однозначного положення в пристрої і забезпечити необхідну стійкість при її обробленні та взаємне розташування поверхонь оброблених і необроблених поверхонь заготовки з відповідною точністю.

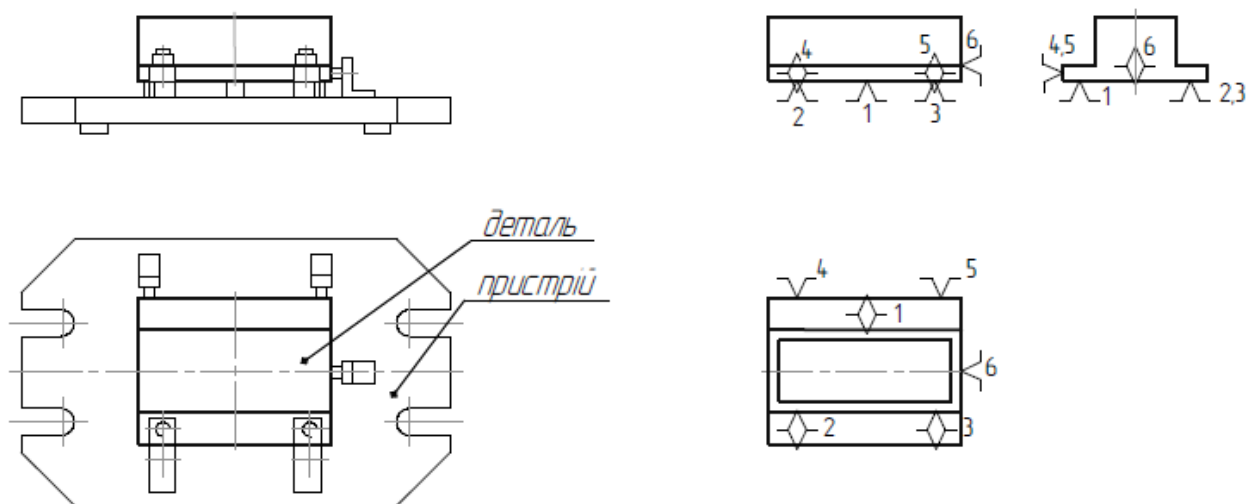


Рис. 3.10. Схема базування корпусної деталі по площині основи і двох бокових поверхнях

Базування за допомогою двох площин та зовнішньої циліндричної поверхні

Комплект баз утворюється поєднанням торця, зовнішньої циліндричної поверхні та поверхні, якою може бути будь-яка плоска поверхня. Цей комплект баз здатен реалізувати дві схеми базування.

На першій схемі базування (рис. 3.11, а) на зовнішній циліндричній поверхні розташовуються чотири опорні точки (1, 2, 3, 4), на торці – опорна точка 5 і на третій поверхні – опорна точка 6.

У другій схемі базування (рис. 3.11, б) на зовнішній циліндричній поверхні розташовуються дві опорні точки (4, 5), на торці – три опорні точки (1, 2, 3) і на третій поверхні – опорна точка 6.

Розташування опорних точок зумовлює відповідне конструктивне виконання комплекту баз. Для першої схеми базування довжина циліндричної поверхні має перевищувати її діаметр не менше ніж у 1,5–2 рази. Для другої схеми базування довжина циліндричної частини має становити не більше $1/3$ діаметра циліндричної поверхні. При обох схемах базування похибка базування буде зумовлена наявністю зазору в спряженні циліндричних поверхонь.

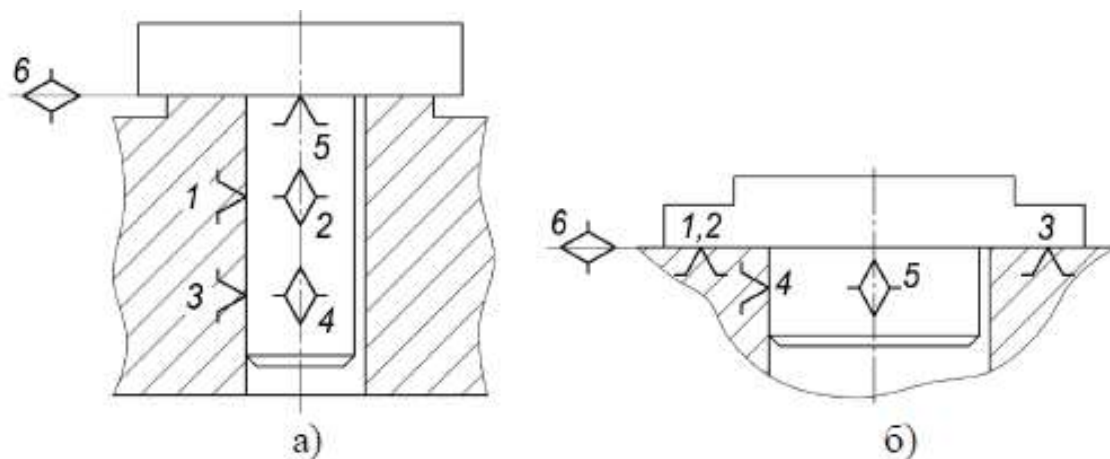


Рис. 3.11. Схеми базування на зовнішній циліндричній поверхні

Базування за допомогою двох площин та зовнішньої циліндричної поверхні

Під час базування за допомогою двох площин та зовнішньої циліндричної поверхні комплект баз утворюється поєднанням торця, внутрішньої циліндричної поверхні й площини, якою, зазвичай, є бокова поверхня паза (рис. 3.12).

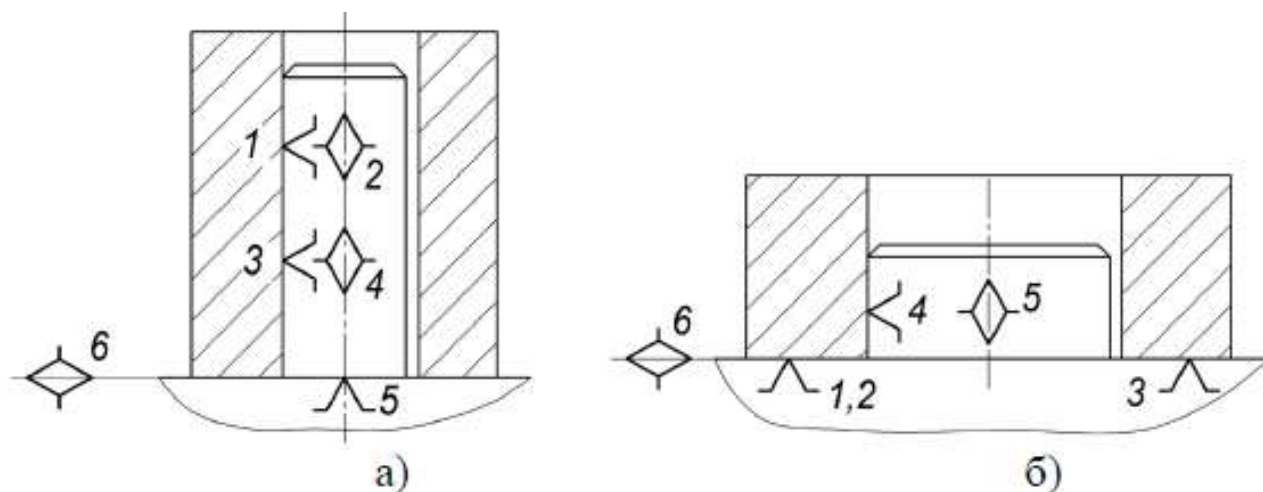


Рис. 3.12. Схеми базування за допомогою двох площин та зовнішньої циліндричної поверхні

Схема базування для цього комплекту баз, як і в попередньому випадку, має два варіанти. У першому варіанті (рис. 3.12, а) на внутрішній циліндричній поверхні розташовуються опорні точки (1, 2, 3, 4), на торці – опорна точка 5 і на третій поверхні – опорна точка 6. У другому варіанті (рис. 3.12, б) на внутрішній циліндричній поверхні розташовуються опорні точки 4, 5, на торці – опорні точки 1, 2, 3 і на третій поверхні – опорна точка 6. Кожній схемі базування

відповідає своє конструктивне рішення. Для першої схеми базування довжина циліндричної поверхні має бути більшою за діаметр отвору не менше ніж у 1,5–2 рази. Для другої схеми базування довжина циліндричної частини має бути не більше 1/3 діаметра отвору. Така схема базування характеризується присутністю похибки базування, що зумовлена наявністю зазору в спряженні циліндричних поверхонь.

Приклад виконавчих поверхонь показано на деталі «Маточина» (рис. 3.18).

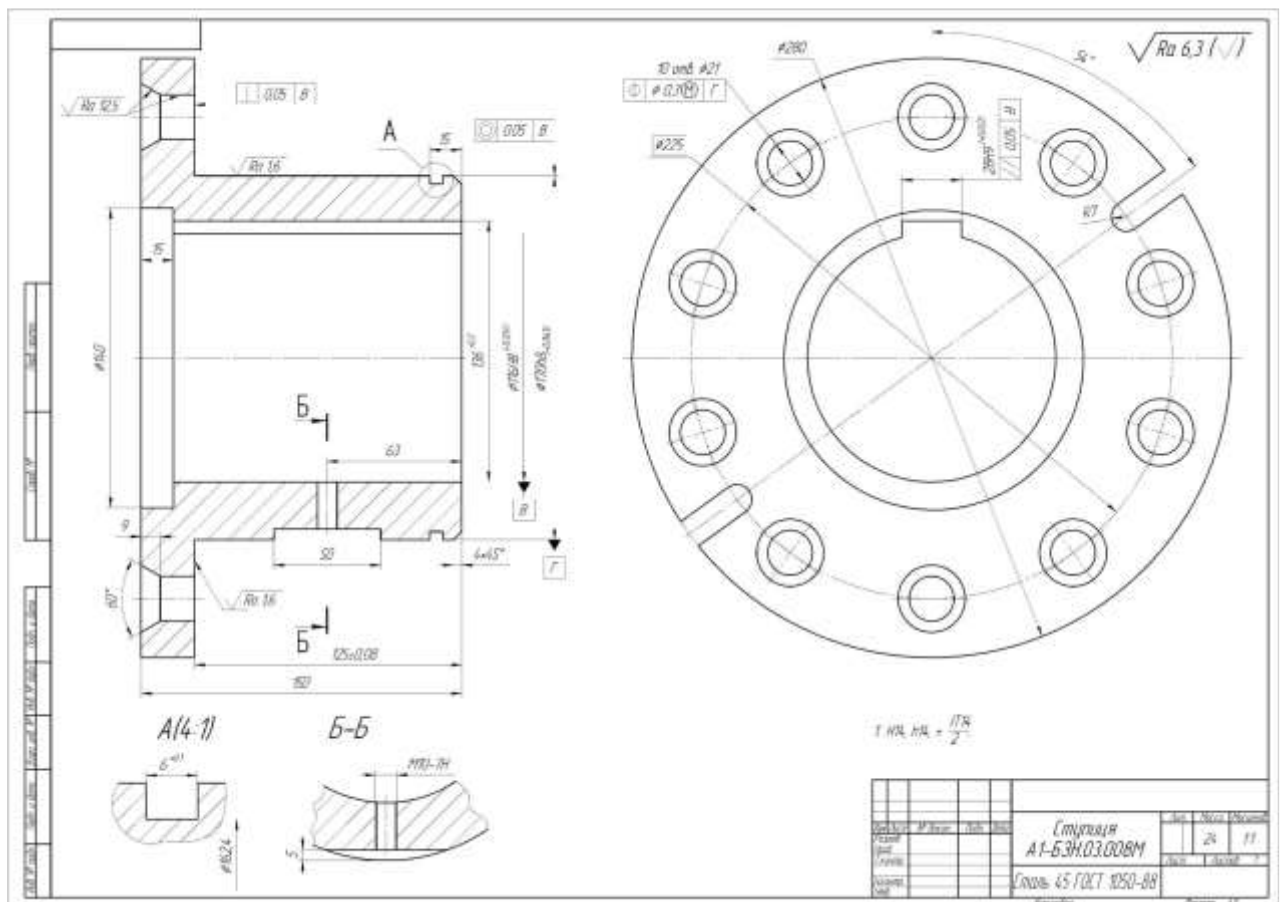


Рис. 3.18. Кресленик деталі «Маточина»

Виконавчі поверхні деталі «Маточина»:

Основні бази.

Основні конструкторські бази деталі – це зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 170h8^{(+0,063)}$, що слугує для правильної орієнтації у вузлі, та торець правий $\varnothing 280$.

Допоміжні бази.

Допоміжні бази деталі – це $\varnothing 116H8^{(+0,035)}$, торець лівий $\varnothing 280$, торець правий $\varnothing 170h8^{(+0,063)}$, кріпильні отвори $\varnothing 21$, шпонковий паз, різьбовий отвір M10-7H, лиска розмірами 5×50 , канавка шириною $6+0,1$, $\varnothing 140$.

Вільні поверхні.

Вільна поверхня – $\varnothing 280$, фаска $4 \times 45^\circ$.

Класифікація поверхонь за формою.

У відповідності з призначенням поверхонь до них ставляться такі вимоги: найбільш точними є основні та допоміжні бази (діаметральні розміри). До них ставиться вимога обробки по 8 квалітету з шорсткістю $Ra = 1,6$ мкм ($\varnothing 170h8^{(+0,063)}$, $\varnothing 116H8^{(+0,035)}$).

Інші поверхні, що слугують допоміжними конструкторськими базами, повинні мати такі характеристики: торцеві поверхні $\varnothing 280$ мм (правий торець) та $\varnothing 170h8$ повинні бути оброблені згідно 10 квалітету з шорсткістю $Ra = 1,6$ мкм та $Ra = 6,3$ мкм відповідно. Шпонковий паз повинен бути оброблений згідно 9 квалітету з шорсткістю $Ra = 3,2$ мкм. Кріпильні отвори $\varnothing 21$ повинні мати після механічної обробки 12 квалітет та шорсткість поверхні $Ra = 12,5$ мкм. Лиска має розміри 5×50 , канавка шириною $6+0,1$, $\varnothing 140$, лівий торець $\varnothing 280$ – 12 квалітет та $Ra = 6,3$ мкм.

Вільна поверхня $\varnothing 280$ мм в результаті механічної обробки повинна мати точність 12 квалітету та шорсткість $Ra = 12,5$ мкм.

Вимоги щодо відносного розташування поверхонь:

- співвісність поверхні $\varnothing 170h8$ відносно бази А;
- перпендикулярність торцевої поверхні $\varnothing 280$ (правий торець) відносно бази А;
- позиційний допуск отворів $\varnothing 21$ відносно бази Б.

Квалітети точності та шорсткість оброблюваних поверхонь можуть бути забезпечені при застосуванні відповідних методів обробки та кількості переходів. Відносне розташування поверхонь може бути забезпечене за рахунок застосування відповідних схем базування при механічній обробці та правильної організації змісту операцій.

Контрольні запитання

1. Основні поняття й означення теорії базування (базування, база, опорна точка, схема базування, закріплення, установлення).

2. Класифікація баз. Означення баз, використовуваних у машинобудуванні.

3. Як розрізняють бази за призначенням? Наведіть приклади.

4. Як розрізняють бази за кількістю ступенів вільності, що відбираються у заготовки чи виробу певною базою?

5. Як розрізняють бази за характером виявлення?

6. Правила вибору технологічних баз.

7. Назвіть встановлені стандартами показники точності розмірів, відхилення форми, відхилення розташування поверхонь і осей деталей.

8 Як призначити допуск співвісності поверхонь?

9. Як розрахувати необхідний висотний параметр шорсткості та визначити, якому класу шорсткості він відповідає?

ТЕМА 4 ПРИСТРОЇ ДО МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Пристрій, призначений для установки оброблюваних деталей щодо верстата і ріжучого інструменту, вивіряння і закріплення їх при обробці, називають **пристосуваннями**.

Пристрої, призначені для установки і закріплення ріжучих інструментів, називають допоміжними інструментами (борштанги і т.п.).

Виконання певної технологічної операції вимагає комплексного оснащення її пристосуваннями, ріжучим, допоміжним і вимірювальним інструментами.

Сукупність вказаних засобів, що забезпечують виконання операції механічної обробки відповідно до вимог креслення і технічних умов, називаються технологічним оснащенням.

Проектування технологічного оснащення проводиться на базі технологічного процесу.

Застосування пристосувань забезпечує стабільність якості, скорочення циклу і зниження собівартості виготовлення деталей.

Пристосування дозволяють використовувати робітників нижчої кваліфікації, усунути трудомістку розмітку, знизити витрати на контрольні операції і, головним чином, збільшити продуктивність обробки. Застосування оснащення дозволяє також підвищити точність обробки деталей і здійснювати повну або часткову автоматизацію верстата.

Пристосування підрозділяють на наступні види:

1) **нормальні пристосування** або приладдя до верстатів (кулачкові патрони, лещата верстатні, патрони для затиску свердел і т.п.);

2) **нормалізовані (спеціалізовані)** пристосування. Їх виготовляють серійно (у певній гаммі типорозмірів), але в незавершеному повністю стані: для кожного з них потрібне виготовлення додаткових спеціальних елементів, залежно від конструкції і розмірів деталі, належній обробці в них, і від характеру виконуваної операції;

3) **спеціальні пристосування** – це пристосування, що проектується для заданої операції по обробці даної конкретної деталі і що виготовляються в одиничних екземплярах.

Із застосуванням пристосувань можна досягти наступного:

1) усунути розмітку деталей до їх обробки і, отже, виключити вивіряння деталей на верстаті по розмітці;

2) підвищити точність обробки деталей за рахунок автоматичного додання потрібного положення оброблюваній деталі без вивіряння її на верстаті і за рахунок напряду ріжучого інструменту в пристосуванні;

3) збільшити продуктивність обробки за рахунок збільшення числа одночасно оброблюваних деталей або числа одночасно працюючих інструментів, а також за рахунок скорочення допоміжного часу, пов'язаного з установкою деталі і вивірянням її положення на верстаті;

4) збільшити продуктивність за рахунок підвищення режимів різання, можливого при збільшенні жорсткості закріплення деталей при застосуванні пристосувань;

5) полегшити працю робочих – верстатників;

6) здійснити можливість застосування робітників нижчої кваліфікації;

7) знизити витрати на контроль якості обробленої деталі;

8) розширити діапазон технологічних можливостей верстатів, тобто збільшити кількість різноманітних видів обробки, що виконуються на цих верстатах;

9) автоматизувати верстат повністю або частково.

Роль верстатних пристосувань в процесі виготовлення деталей машин вельми велика.

Число, характер, ступінь складності пристосувань залежать від характеру об'єкту виготовлення і від виду виробництва. Чим більше програма випуску машин, що виготовляються, тим вигідніше застосовувати пристосування. Навпаки, чим менше серійність виробництва, тим більше обмежується вигідність застосування пристосувань (особливо спеціальних).

У одиничному і дрібносерійному виробництві застосовують нормальні пристосування. Спеціальні ж, дорожчі верстатні пристосування в цих умовах застосовують зазвичай лише тоді, коли без них неможливо виготовити деталь відповідно до технічних умов на обробку.

4.1 Класифікація пристосувань

Класифікацію пристосувань проводять за декількома ознаками.

За цільовим призначенням пристосування ділять на п'ять груп:

1. Верстатні пристосування – використовують для установки і закріплення оброблюваних заготовок на верстатах. Залежно від виду механічної обробки розрізняють свердлильні, токарні, фрезерні, розточувальні, шліфувальні і інші верстатні пристосування. Вони є найчисленнішою групою і складають 70 – 80 % загального числа пристосувань.

2. Пристосування для закріплення робочих інструментів – характеризуються великим числом нормалізованих конструкцій, що пояснюється нормалізацією і стандартизацією самих робочих інструментів. Пристосування першої і другої груп є складовими частинами технологічної системи.

3. Складальні пристосування – використовують для з'єднання деталей, що сполучаються, і складальних одиниць, кріплення базових деталей (складальних одиниць) збираного виробу, попередньої деформації збраних пружних елементів (пружин, ресор і т.п.), виконання складальних операцій, що вимагають прикладення великих сил (клепка, вальцювання, напресування і т.п.).

4. Контрольні пристосування – застосовують для контролю заготовок, проміжного і остаточного контролю оброблюваних деталей, а також для перевірки зібраних елементів і машин.

5. Пристосування для захоплення, переміщення і перевертання оброблюваних заготовок.

По ступеню спеціалізації пристосування ділять на універсальні, спеціалізовані і спеціальні (Рис. 1).

1. Універсальні пристосування (УП) використовують для розширення технологічних можливостей верстатів або для обслуговування пристосувань. До них відносяться: універсальні, поворотні, ділильні столи, головки, універсальні приводи, пристрої для механізації затиску в пристосуваннях і т.п.

2. Універсальні безналагоджувальні пристосування (УБП) використовують для закріплення заготовок широкої номенклатури і різної конфігурації. До них відносяться: універсальні патрони з нероз'ємними кулачками, універсальні фрезерні і слюсарні лещата.

Класифікація верстатних пристосувань

Пристосування верстатні:

Універсальні:

- Універсальні пристосування (УП)
- Універсальні безналагоджувальні пристосування (УБП)
- Універсальні налагоджувальні пристосування (УНП)

Спеціалізовані:

- Спеціалізовані безналагоджувальні пристосування (СБП)
- Спеціалізовані налагоджувальні пристосування (СНП)

Спеціальні:

- Універсально-збірні пристосування (УСП)
- Збірно-розбірні пристосування (СРП)
- Спеціальні пристосування (СП)

3. Універсально-налагоджувальні пристосування (УНП) використовують для закріплення заготовок різної конфігурації. До них відносяться: універсальні патрони зі змінними кулачками, універсальні лещата зі змінними губками, скальчаті кондуктори і т.п.

4. Спеціалізовані безналагоджувальні пристосування (СБП) використовують для закріплення заготовок, близьких за конструктивно-технологічними ознаками, з однаковими базовими поверхнями, що вимагають однакової обробки. При здійсненні однотипних операцій необхідно регулювати елементи. До них відносяться: пристосування для групової обробки деталей типу валів, втулок, фланців, дисків, кронштейнів, корпусних деталей і т.п.

5. Спеціалізовані налагоджувальні пристосування (СНП) використовують для закріплення заготовок, близьких за конструктивно-технологічними ознаками, об'єднаних спільністю базових поверхонь і характером обробки і які потребують для виконання однотипних операцій заміни спеціальної наладки. Пристосування СНП аналогічні СБП, але можливості їх ширше.

6. Універсально-складальні пристосування (УСП) використовують для закріплення заготовок широкої номенклатури при виконанні різних операцій. Для кожної операції збирають спеціальне пристосування з наперед виготовлених стандартних деталей, яке після використання розбирають і багато разів застосовують в подальших компоновках.

7. Спеціальні пристосування (СП) використовують для виконання певної операції при обробці конкретної деталі, вони є одноцільовими. При зміні об'єкту виробництва такі пристосування, як правило, доводиться списувати незалежно від ступеня їх

фізичного зносу. Ці пристосування трудомісткі і дорогі у виготовленні, і їх виготовляють в одиничному виробництві, а застосовують головним чином у великосерійному і масовому виробництвах.

У будь-якому пристосуванні можна виділити окремі групи деталей і механізми, що мають однакове призначення. Їх прийнято називати елементами. Під елементом пристосування розуміють деталь або елемент, що виконує певну функцію.

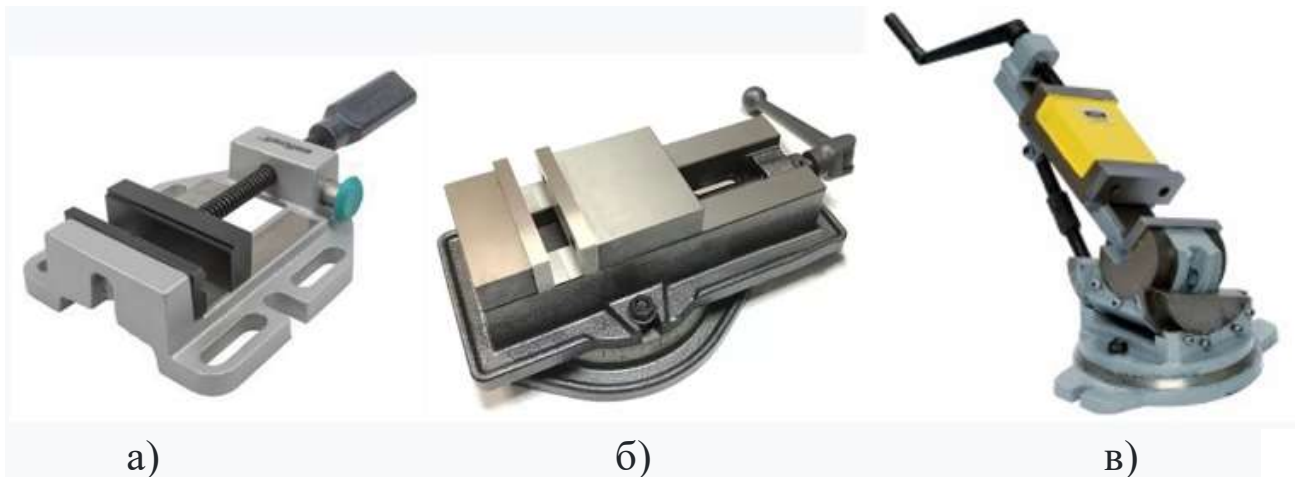


Рис. 4.1. Машинні лещата
а – неповоротні; б – поворотні (поворот навколо вертикальної осі); в – універсальні (поворот навколо двох осей)

4.2 Основні елементи пристосувань

Корпус пристосування

Корпус пристосування є базовою деталлю. На корпусі монтують:

- установчі елементи,
- допоміжні деталі,
- затискні пристрої,
- деталі для направлення інструменту.

Вимоги, які пред'являються до корпусів пристосувань

- Міцність
- Жорсткість
- Зносостійкість
- Зручне відведення МОР
- Легка очистка від стружки
- Стійкість при різноманітних положеннях

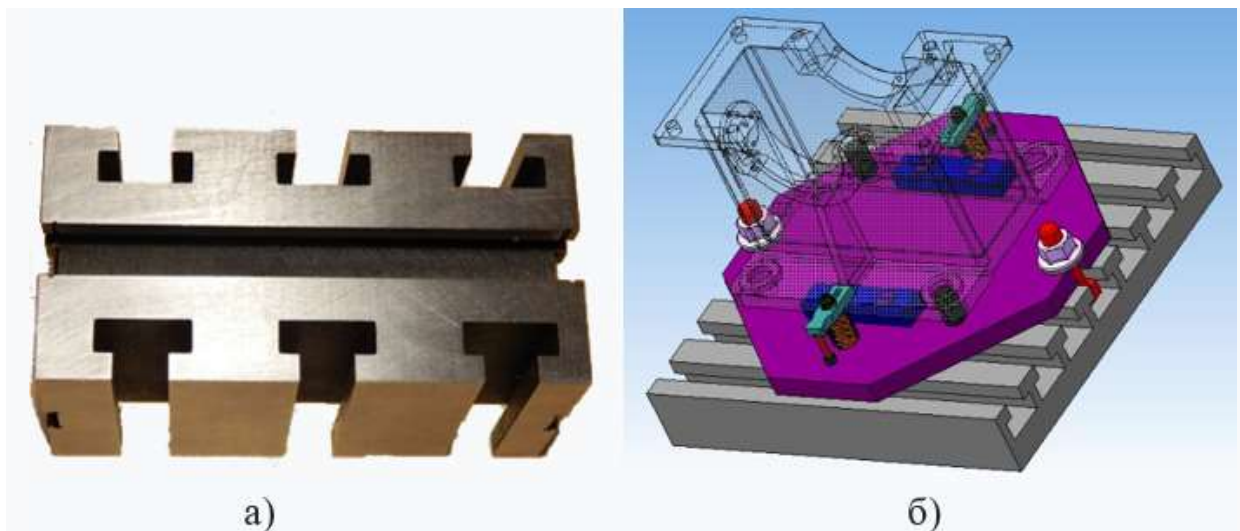


Рис. 4.2. Корпуси пристосувань

а – корпус універсальний; б – пристосування для обробки корпусу редуктора

Види корпусів пристосувань

Корпуси можуть бути:

- литими
- звареними
- кованими
- збірними на гвинтах або з гарантованим натягом.

Вибір варіанту корпусу

• Вибір варіанту корпусу диктується конструкцією і умовами експлуатації пристосування, необхідними термінами виготовлення і вартістю його виготовлення.

• У всіх випадках потрібно прагнути до зменшення маси корпусів.

Корпус отриманий литтям

• Литий корпус має достатню жорсткість, але відрізняється складністю виготовлення.

• Корпуси з чавуну СЧ 12 і СЧ 18 застосовують в пристроях для обробки заготовок дрібних і середніх розмірів.

• Чавунні корпуси мають переваги перед сталевими: вони дешевші, їм легше надати більш складну форму, їх легше виготовити.

• Недолік чавунних корпусів - можливість викривлення, тому після попередньої механічної обробки їх піддають термічній обробці (природному або штучному старінню).

Зварний корпус

- менш складний, менш жорсткий, ніж литий або зварений
- відрізняється низькою трудомісткістю виготовлення.
- може бути розібраний і використаний повністю або окремими деталями в інших конструкціях

Кований корпус

- Його виготовлення менш трудомістким, ніж литого, при збереженні якості жорсткості.
- застосовують для обробки заготовок невеликих розмірів простої форми



Рис. 4.3. Корпус клейового валу для крайколичкувального верстата KDT

В якості корпусу пристосування можна використовувати нерівнобічні кутники, швелери з ребрами, на косинці та інші елементи, які серійно виготовляються з додатковою обробкою.

Установка пристосування на верстат

Для установки пристосування на верстат без вивірки основної бази корпусу відповідним чином повинні бути виконані посадочні місця.

Корпус пристосування кріпиться на столі 3 верстата болтами, які головками входять в пази 4 столи, а верхнім кінцем з гайкою - в вушка 2 корпусу (рис. 4.4).

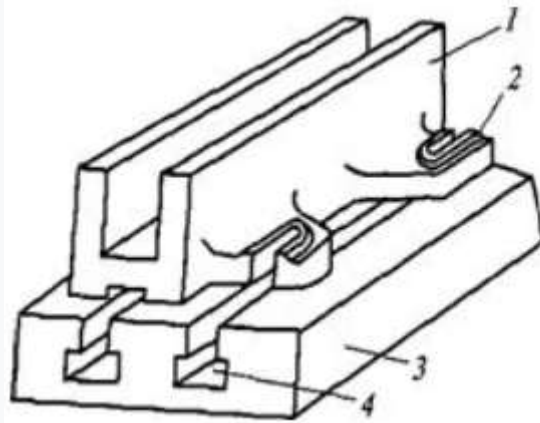


Рис. 4.4. Установка пристосування

Стандартизовані елементи корпусів

Використання стандартних і нормалізованих заготовок для корпусів пристосувань значно знижує трудомісткість і вартість виготовлення верстатних пристосувань і скорочує терміни підготовки виробництва до випуску нової машини.

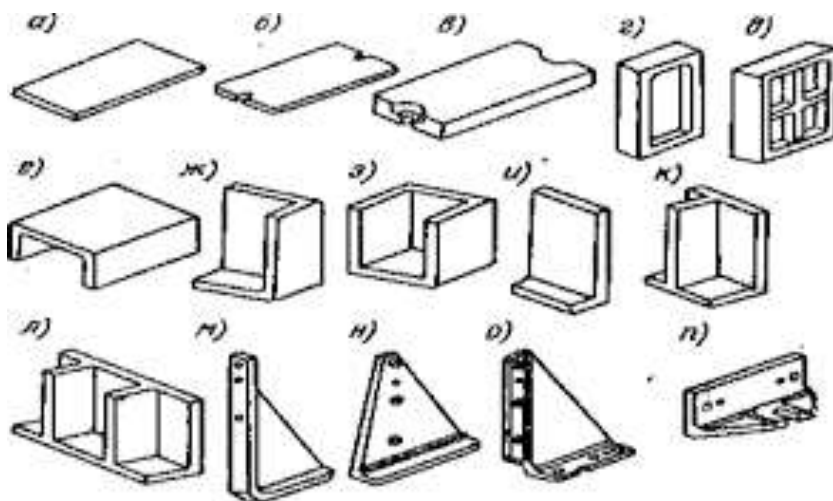


Рис. 4.5. Стандартизовані елементи корпусів

а – плита стальова; б, в – плити чавунні; г, д – коробки; е – швелер; ж – тригранник; з – чотиригранник; и – косинець; к, л – косинці з ребрами; м, н, о – ребра; п – планка.

4.3 Опорні елементи пристосування

Опорні елементи мають різноманітну конструкцію, яка залежить від форми бази і числа позбавляти ступенів свободи.

Вони поділяються на основні та допоміжні опори

Крім того, опори бувають нерухомими, рухливими, плаваючими і регульованими. Основні опорні елементи

характеризуються тим, що кожен з них реалізує одну або кілька опорних точок для базування заготовки. Будучи відповідним чином розміщеними в пристосуванні, вони утворюють необхідну при обраному способі базування сукупність опорних точок. До основних опор відносяться: опорні штирі, пальці, пластини, центри, призми.

Для виконання базування заготовки плоскою базою в пристосуванні необхідно мати три опорні точки, розташовані в одній заданій площині, але не на одній прямій.

Коли плоска головна база заготовки не оброблена використовують штирі з насіченою і сферичною головками (рис. 4.6, б, в). Для установки заготовок з обробленими базами використовують штирі з плоскою головкою (а). Матеріал-сталь 40х, 20х цементация на глибину 0,8-1,5 мм до твердості 50-58 HRC.

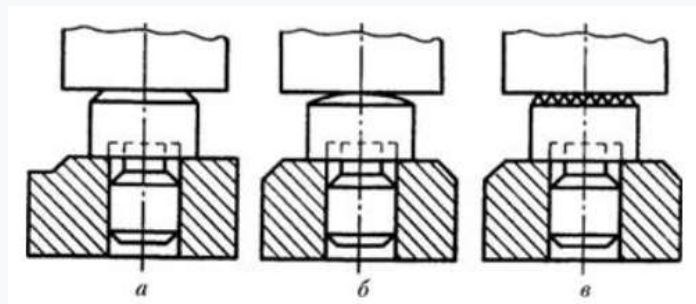


Рис. 4.6. Опорні штирі

а – плоскою; *б* – сферичною; *в* – насіченою поверхнею

Пальці постійні і змінні

Елементи для установки заготовок по зовнішнім і внутрішнім циліндричним поверхнях: - пальці постійні з буртом, без бурту і змінні з буртом і без бурту.

Опорні пластини: плоскі, з косими пазами. Застосовують по чистовим поверхням.

Плоскі пластини закріплюють на вертикальних стінках корпусу. Пластини з косими пазами встановлюють на горизонтальних поверхнях корпусу (в косих пазах накопичується стружка). Матеріал-сталь 20х цементация на глибину 0,8-1,2 мм до твердості 55-60 HRC.

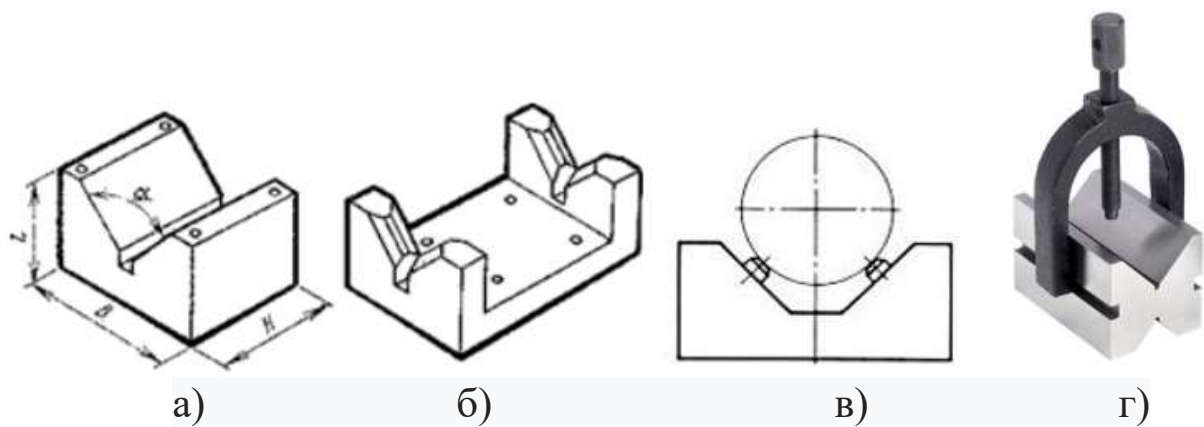


Рис. 4.7. Призми

а – призма широка, б – вузька здвоєна, в – схема встановлення заготовки, г – загальний вигляд

Основні розміри призм:

$D = 5-150 \text{ мм}, \quad H = 16-70 \text{ мм},$
 $B = 8-120 \text{ мм}, \quad \alpha = 600, 900, 1200$

Елементи для установки заготовок по зовнішнім і внутрішнім циліндричним поверхнях: а - призма широка, б - вузька здвоєна. Для базування заготовок, що мають основну базу у вигляді обробленої циліндричної поверхні, використовують широкі опорні призми. Для базування необроблених циліндричних баз використовують вузькі призми.

Допоміжні опори

Допоміжні опорні елементи відрізняються тим, що вони підводять до заготівлі після того, як вона отримала необхідне базування за допомогою основних елементів.

Такі опори використовуються для збільшення числа точок контакту заготовки з пристосуванням з метою підвищення жорсткості системи.

До допоміжних опор відносяться регульовані і плаваючі поодинокі опори, люнети.

Регульовані гвинтові опори

- з лискою під ключ;
- з шестигранною головкою;
- з круглою головкою;
- посилені.

Регульовані опори застосовуються в якості основних і допоміжних опор. Як основні вони служать для установки заготовок

необробленими поверхнями при великих змінах припуску на механічну обробку, а також при вивірці заготовок по розмічальних ризикам.

Плаваючі опори. Плаваючі опори зазвичай застосовують в якості допоміжних, але якщо заготовка має складну форму і встановити її тільки на постійні опори важко, то плаваючі опори можна застосовувати в якості основних. Плаваючі опори поділяють на двоточкові і триточкові. Зблоковані і плаваючі опори. Основні графічні позначки опор і форм позначення поверхонь наведено у таблицях 4.1 - 4.3.

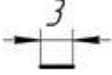
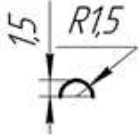
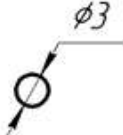
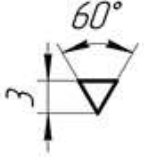
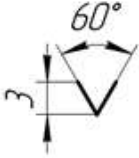
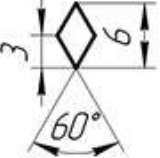
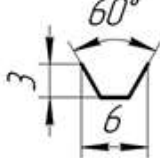
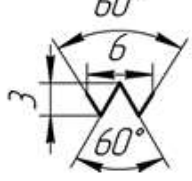
Таблиця 4.1

Графічне позначення опор

Нерухома опора	Рухома опора	Плаваюча опора	Регульована опора
Вигляд спереду та позаду			
Вигляд зверху			
Вигляд знизу			

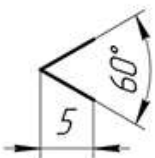
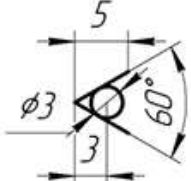
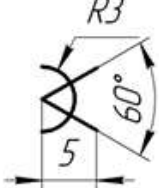
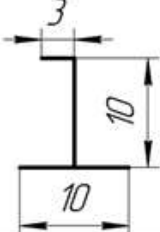
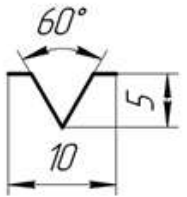
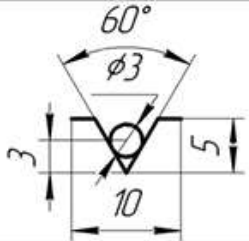
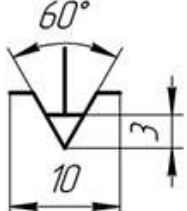
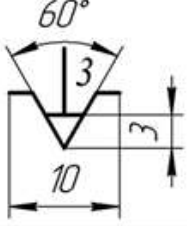
Таблиця 4.2

Основні форми робочої поверхні

Плоска	Сферична	Циліндрична (кулькова)	Тригранна
			
Конічна	Ромбічна	Призматична	Рифлена
			

Таблиця 4.3

Позначення установчих пристроїв

Центр нерухомий	Центр обертальний	Центр плаваючий	Патрон повідковий
			
Оправка циліндрична	Оправка кулькова (роликова)	Патрон цанговий	Патрон трикулачковий
			

Затискні елементи і пристрої

Затискні елементи і пристрої пристосувань призначені для забезпечення надійного контакту базових поверхонь заготовок з установочними елементами пристосувань і попередження зміщення заготовки при обробці.

Затискні елементи і пристрої пристосувань:

- повинні бути прості за конструкцією, надійні в роботі і зручні в обслуговуванні;
- забезпечувати рівномірність розподілу сил затиску (особливо при закріпленні декількох заготовок в багатомісних пристосуваннях);
- бути змінними і зносостійкими; володіти достатнім ходом, що забезпечує зручну установку і зняття заготовок;
- не повинні викликати деформації закріплюються заготовок, зміщення і псування їх поверхонь, не повинні вимкнутися.

Закріплення і відкріплення заготовок у пристосуванні повинно проводитися з мінімальними витратами сил і часу робітника. Найбільш поширені елементарні затискні пристрої - гвинтові, клинові, важільні, ексцентрикові і цангові.

Найчастіше в пристроях використовуються складні (комбіновані) пристрої, що складаються з двох або декількох елементарних ланок.

Елементи для визначення положення інструменту

Елементи для визначення положення і напрямки інструментів служать для постановки обробного інструменту в необхідне положення (висотні і кутові встановити), напрямки свердел, зенкерів, розгорток, дорнів, розточувальних борштанг і іншого інструменту (кондукторні втулки); забезпечення заданої кінематики переміщення інструменту (копіри).

Зазначені елементи повинні мати підвищену точність і якість обробки, високу зносостійкість.

4.3 Методи закріплення деталей

Методи закріплення деталей та розрахунок затискних зусиль. Затискні називають механізми, що усувають можливість вібрації або зсуву заготовки щодо настановних елементів під дією власної ваги і сил, що виникають в процесі обробки (складання).

- Основне призначення затискних пристроїв - забезпечення надійного контакту заготовки з установочними елементами, попередження її зміщення і вібрацій в процесі обробки, а також для забезпечення правильної установки і центрування заготовки.

Класифікація затискних механізмів

- Силкові механізми пристосувань діляться на прості і комбіновані,

тобто що складаються з двох або трьох блокованих простих механізмів.

- До простих механізмів відносяться клинові, гвинтові, ексцентрикові, важільні та ін.

- Прості механізми називають затисками.

Комбіновані механізми зазвичай виконуються як гвинто-важільні, ексцентрико-важільні і ін.

- За кількістю ведених ланок механізми діляться на одноланкові, дволанкові і багатоланкові.

За рівнем механізації силові механізми бувають ручні, механізовані і автоматизовані.

Ручні – вимагають застосування мускульної сили і стомлюючі робітника.

Механізовані затискачі працюють від енергії, що передається приводом.

Автоматизовані затискачі наводяться в дію переміщаються столами, супортами, шпинделями верстатів або відцентровими силами оберткових мас і здійснюють затиск і розкріплення без участі робітника.

4.4 Елементарні затискні механізми

До елементарним затискним пристроїв відносяться найпростіші механізми, використовувані для закріплення заготовок або виконують роль проміжних ланок в складних затискних системах:

- гвинтові;
- важільні;
- клинові;
- ексцентрикові.

Гвинтові механізми

Гвинтові механізми широко застосовуються у верстатах для здійснення прямолінійного допоміжного (подача) або установочного (підведення, відведення, затискання) руху таких складальних одиниць, як столи, супорти, каретки, шпиндельні бабки, головки і т. д. Гвинти, що застосовуються в цих механізмах, називаються ходовими.

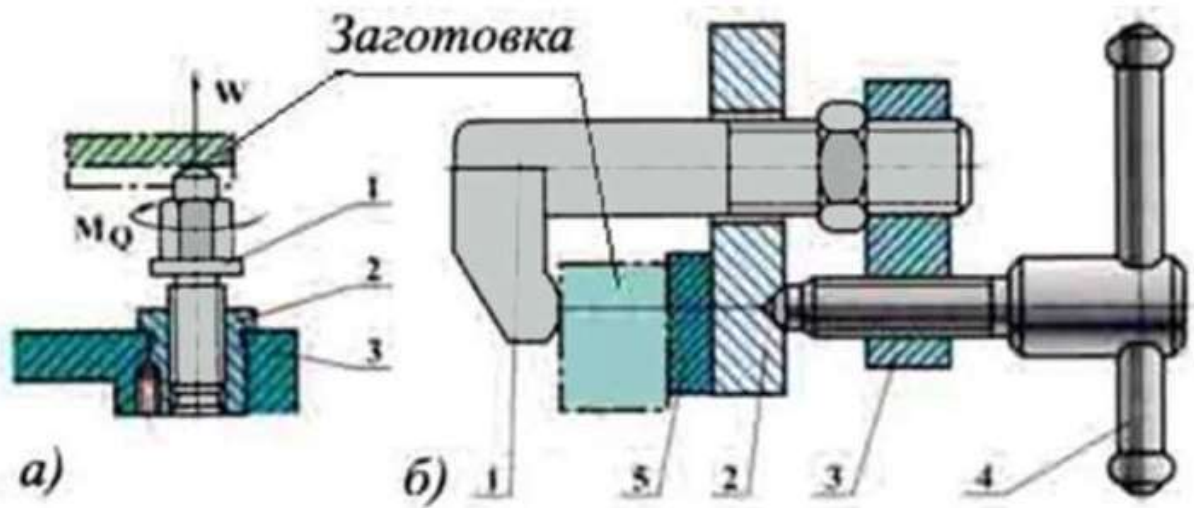


Рис. 4.8. Гвинтові затискачі

а – простий гвинтовий затиск: 1 – гвинт; 2 – гайка; 3 – корпус;
 б – гвинтовий затиск з г-образним прихватом: 1 – г-образний прихват; 2 – корпус; 3 – сережка; 4 – гвинтовий затиск;
 5 – інсталяційний елемент

Гвинтові механізми широко використовуються в пристроях з ручним закріпленням заготовок, з механізованим приводом, а також на автоматичних лініях при використанні пристосувань-супутників.

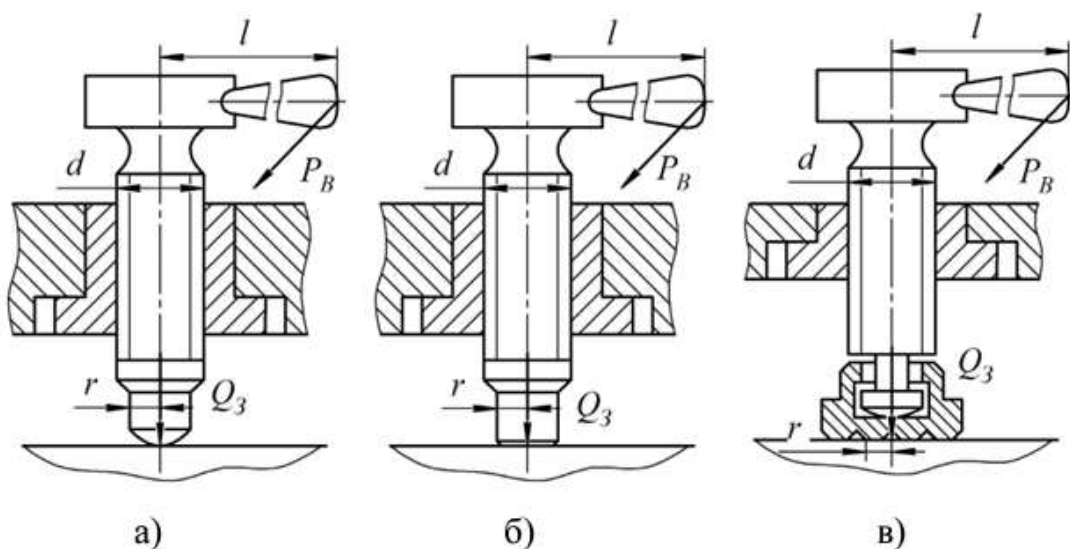


Рис. 4.9. Гвинтові затискачі із затискним гвинтом:

а) – зі сферичним торцем; б) – з плоским торцем;
 в) – зі сферичним торцем, що встановлений у п'яту

Гвинтові затиски самі використовувані.
 До їх особливостей слід віднести:

- великі затискні зусилля при малих вихідних;
- універсальність для закріплення найрізноманітніших деталей;
- самогальмування - вихідне зусилля діє тільки в момент закріплення.

До недоліків слід віднести малу продуктивність, знос.

Застосовуються в основному одиничному і дрібносерійного виробництва.

Види закріплення

- а) гвинтом при нерухомій гайці;
- б) гайкою при нерухомій шпильці.

Розрахунок гвинтових механізмів

Зусилля на ключі (рукоятці) необхідне для створення затискної сили розраховують за формулою:

$$M_{\text{об.}} = M_{\text{рез.}} + M_{\text{тор}},$$

де $M_{\text{рез.}}$ – момент прикладений до гвинта необхідний для створення затискної сили Q_z ;

$M_{\text{тор}}$ – момент прикладений до гвинта для подолання тертя на торці гвинта.

$$M_{\text{рез.}} = Q_z \cdot r_{\text{ср.}} \cdot \tan(\alpha + \varphi),$$

де $r_{\text{ср.}}$ – середній радіус різьблення;

α – кут підйому різьби, приймають, для метричної різьби: $\alpha = 20^\circ 33''$.

$$\tan \alpha = \frac{t}{2\pi \cdot r_{\text{ср.}}},$$

φ – кут тертя в різьбі; $\varphi = 10^\circ 30'$.

$$\tan \varphi = \frac{t}{\cos \beta},$$

де f – коефіцієнт тертя в різьбі; $f = 0,15$;

β – половина кута профілю в різьбі; для метричної різьби $\beta = 30^\circ$, трапецеїдальної $\beta = 15^\circ$.

Діаметр внутрішнього болта (гвинта) розраховують з умови міцності. Номінальний діаметр гвинта в мм визначається зі співвідношення:

$$d = C \sqrt{\frac{Q_3}{[\sigma]_p}},$$

де $C = 1,4$ коефіцієнт для метричної різьби;

Q_3 – сила закріплення заготовки, Н;

$[\sigma]_p$ – допустиме напруження розтягу (стиску). Для гвинтів зі сталі 45 $[\sigma]_p = 80-100$ МПа.

Діаметр округляється до найближчого більшого значення.

У пристроях застосовують різьблення від М8 до М42.

Затискні гвинти і гайки виготовляють зі сталі 45 ... 40Х і піддають гарту до твердості 28 ... 32 HRC.

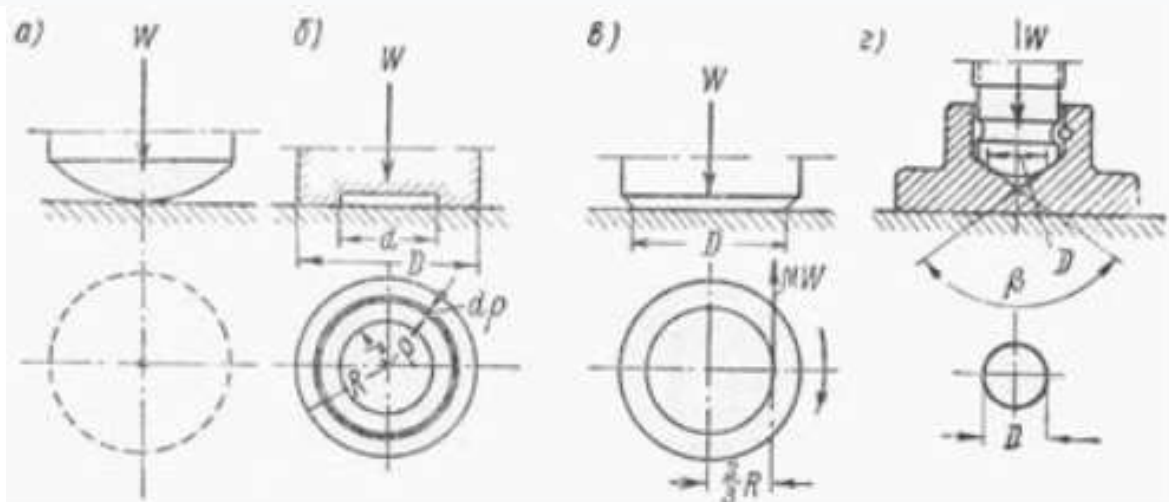


Рис. 4.10 Види п'ят гвинтів

- а) сферична п'ята; б) кільцева п'ята; в) плоский торець;
г) нерухомий наконечник

Розрахунок гвинтових механізмів

Момент на торцевій поверхні гвинта $M_{\text{тор}}$ залежить від конструкції п'яти затискного гвинта.

$$M_{\text{тер}} = 0$$

$$M_{\text{тер.}} = \frac{1}{3} Q_3 f \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}$$

$$d = 0,8d_{\text{рез.}} \quad M_{\text{тер.}} = \frac{1}{3} Q_3 f d$$

$$M_{\text{тер.}} = Qf \frac{D}{2} \cot \frac{\beta}{2},$$

де $f = 0,15$ – коефіцієнт тертя;

Для створення моменту необхідно зусилля робітника, прикладена до ключу (рукоятці).

$$l_{\text{кл.}} \approx 14d_{\text{рез.}},$$

$$M_{\text{заг.}} = l_{\text{кл.}} \cdot P_{\text{роб.}},$$

$$P_{\text{роб.}} = \frac{M_{\text{об.}}}{l_{\text{кл.}}} \leq [P_{\text{доп}}]$$

$$P_{\text{роб.}} \leq [P_{\text{доп}}],$$

де $l_{\text{кл.}}$ – довжина рукоятки, мм.

$P_{\text{роб.}}$ – зусилля робітника, який тягне 100 Н, який штовхає – 150 Н.

Важільні механізми

Переваги важільних механізмів

1. Великий ККД (близько 100%)
2. Висока швидкодія
3. Відсутність самогальмування, тому найчастіше використовуються як зрадник механізм
3. Легко налаштовуються на затискають розмір
4. Мають великий і регульований коефіцієнт посилення.
5. Простота і дешевизна. Важелі використовуються у вигляді прихватів, притискних планок в гвинтових і ексцентрикових затискачах або як підсилювачі.

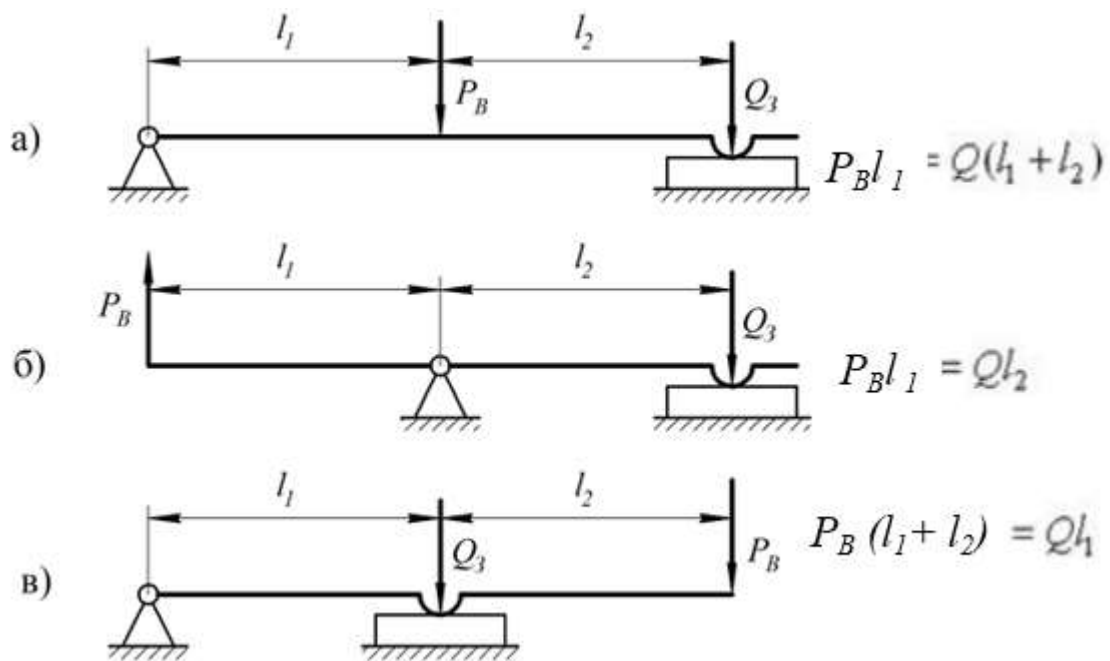
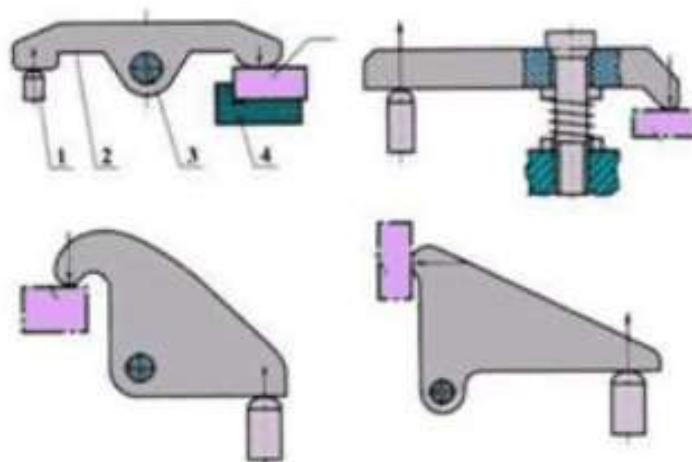


Рис. 4.11. Схеми важільних механізмів



1 – шток силового приводу; 2 – прихват; 3 – вісь; 4 – інсталяційний елемент

Рис. 4.12. Різновидності закріплення важелями

Клинові механізми

Клин дуже широко використовують в затискних механізмах пристосувань, цим забезпечується простота і компактність конструкції, надійність в роботі.

Клин може бути як простим затискним елементом, який впливає на заготовку, так і входити в поєднання з будь-яким іншим простим при створенні комбінованих механізмів.

Застосування в затискному механізмі клина забезпечує: збільшення вихідної сили приводу, директиви вихідної сили.

Якщо клиновий механізм застосовують для зміни напрямку сили затиску, то кут клина зазвичай дорівнює 45° , а якщо для збільшення сили затиску або підвищення надійності, то кут клина приймають рівним $6...15^\circ$ (кути самогальмування).

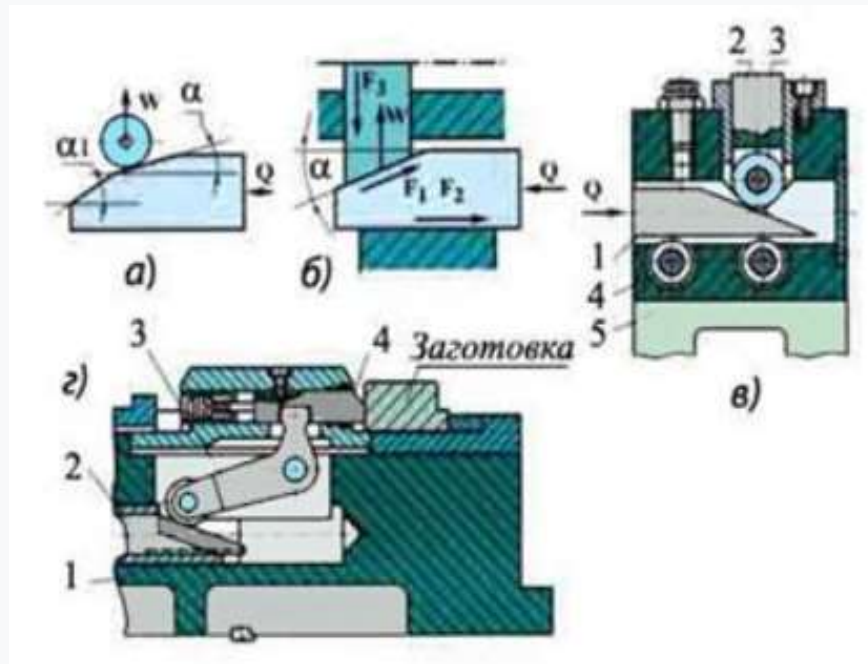


Рис. 4.13. Конструкції клинів

а) схема двокутного клина; б) схема механізму з плоским односкатним клином.

При затиску заготовки клин під дією сили рухається вліво.

При русі клина на його площинах виникають нормальні сили Q і сили тертя F_1 і F_2 . Істотним недоліком розглянутого механізму є низький коефіцієнт корисної дії (ККД) через втрати на тертя.

Для підвищення ККД клинового механізму тертя ковзання на поверхнях клина замінюють тертям кочення, застосовуючи опорні ролики. Пример використання клина в пристосуванні.

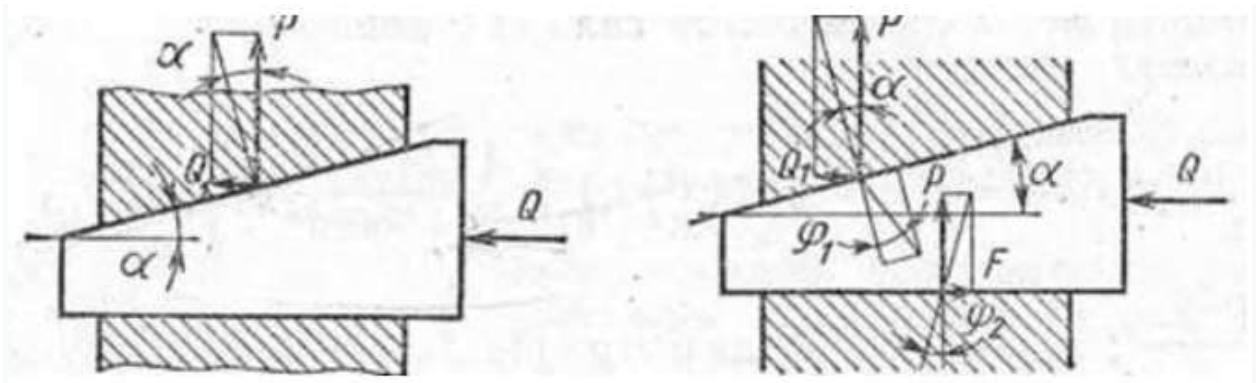


Рис. 4.14. Схема навантаження клина

Елементарна залежність між силою Q , яка додається до клину, і силою P клинового скоса без урахування сил тертя дорівнює

$$Q = P \tan \alpha.$$

Для реального механізму:

$$Q = Q_1 + F,$$

де Q – сила, прикладена до клину, що враховує тертя на схилі;

F – сила тертя, що виникає на направляючій поверхні клина.

Тоді

$$Q = P \tan(\alpha + \varphi_1); F = P \tan \varphi_2.$$

Підставимо і отримуємо

$$Q = P [\tan(\alpha + \varphi_1) + \tan \varphi_2],$$

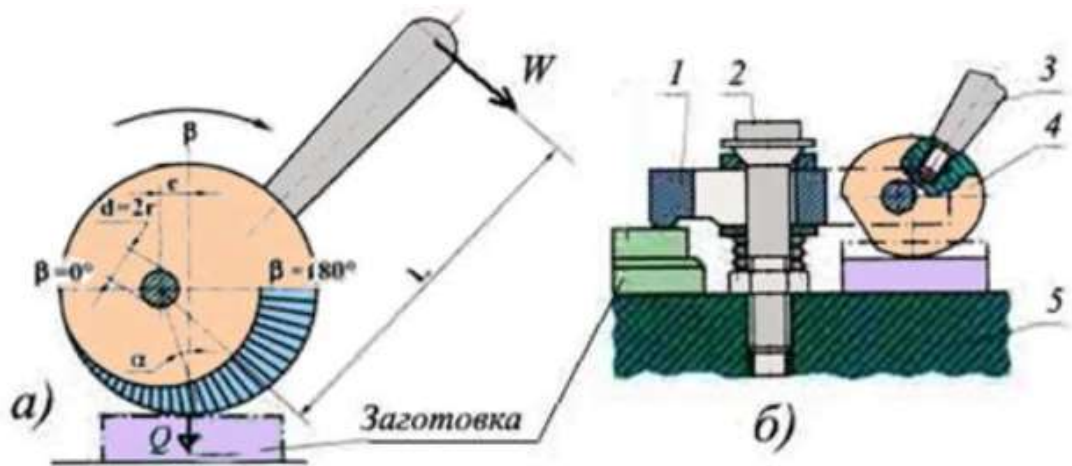
φ_1 – коефіцієнт тертя на похилій поверхні клина;

φ_2 – коефіцієнт тертя на плоскій поверхні клина.

Ексцентрикові механізми

Ексцентрик являє собою з'єднання в одній деталі двох елементів - круглого диска і плоского односкосного клина.

При повороті ексцентрика навколо осі обертання диска, клин входить в зазор між диском і заготівлею і підсилює силу затиску в 10...15 разів.



1 – прихват; 2 – гвинт; 3 – рукоятка ексцентрика; 4 – ексцентрик;
5 – корпус пристосування;

Рис. 4.15. Ексцентриковий затиск:

а – схема механізму; б – приклад використання ексцентрика в пристосуванні

Робоча поверхня ексцентриків може бути окружністю (кругові) або спіраллю (криволінійні) .

Ексцентрикові затискачі є самими швидкодіючими з усіх ручних затискних механізмів. По швидкодії вони порівнянні з пневмозатисками.

Недоліками, ексцентрикових затискачів є:

- мала величина робочого ходу;
- обмежена величиною ексцентриситету;
- підвищена стомлюваність робітника, так як при відкріпленні заготовки робітникові необхідно прикладати силу, обумовлену властивістю самогальмування ексцентрика;
- ненадійність затиску при роботі інструмента з ударами або вібраціями, так як це може привести до самовідкріпленню заготовки.

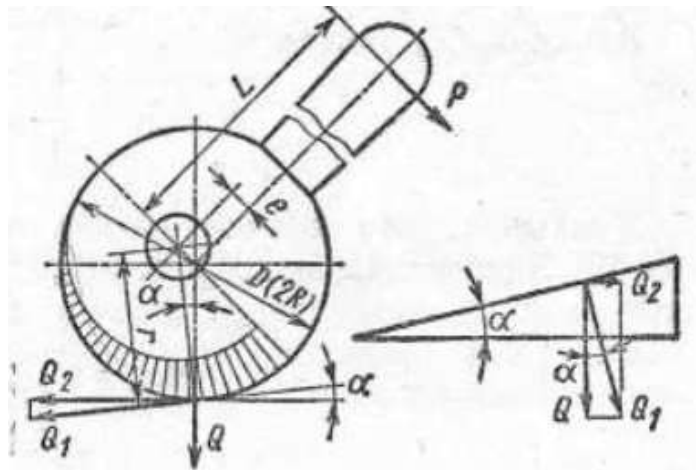


Рис. 4.16. Розрахункова схема

Величина зусилля затиску Q залежить від діаметра ексцентрика, кута підйому клина α , величини моменту на рукоятці і коефіцієнтів тертя на ділянці затиску φ_1 і осі ексцентрика φ_2

$$M = P_{\text{роб.}} l = Qr[\tan(\alpha + \varphi_1) + \tan\varphi_2],$$

де $r = 0,5D$ – радіус ексцентрика;

$\alpha = 40^\circ$ – кут клина кругового ексцентрика.

Для надійного закріплення заготовки рекомендується приймати ексцентриситет $e \leq 1 \dots 1,5T$.

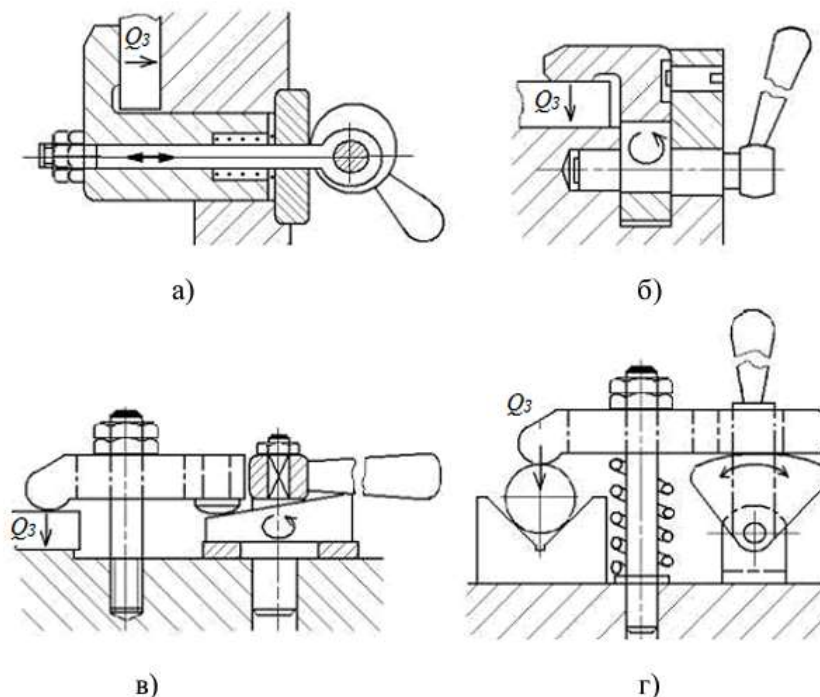


Рис. 4.17. Види ексцентрикових затискних пристроїв
а, б – Г-подібні прихвати, в – торцевий ексцентрик;
г – ексцентриковий сектор.

Широко використовують в пристроях особливо в дрібносерійному і середнєсерійному виробництвах. Ексцентрики рекомендується виготовляти зі сталі 20Х з цементацією робочої поверхні на глибину 0,8...1,2 мм і загартуванням до твердості HRC 55 ... 60.

Силові приводи

Силовий агрегат приводу являє собою перетворювач будь-якого виду енергії в механічну, необхідну для роботи затискних механізмів.

По виду перетворюваної енергії розрізняють приводи:

- пневматичні,
- гідравлічні,
- пневмогідравлічні,
- електричні,
- електромагнітні,
- магнітні, вакуумні,
- відцентрово-інерційні.

За ступенем автоматизації розрізняють: механізовані і автоматизовані приводи

Пневматичні приводи

Вихідною енергією в пневматичних приводах є енергія стисненого повітря.

Пневмопривод широко використовують в пристроях завдяки його швидкодії, простоті конструкції, легкості і простоті управління, надійності і стабільності в роботі.

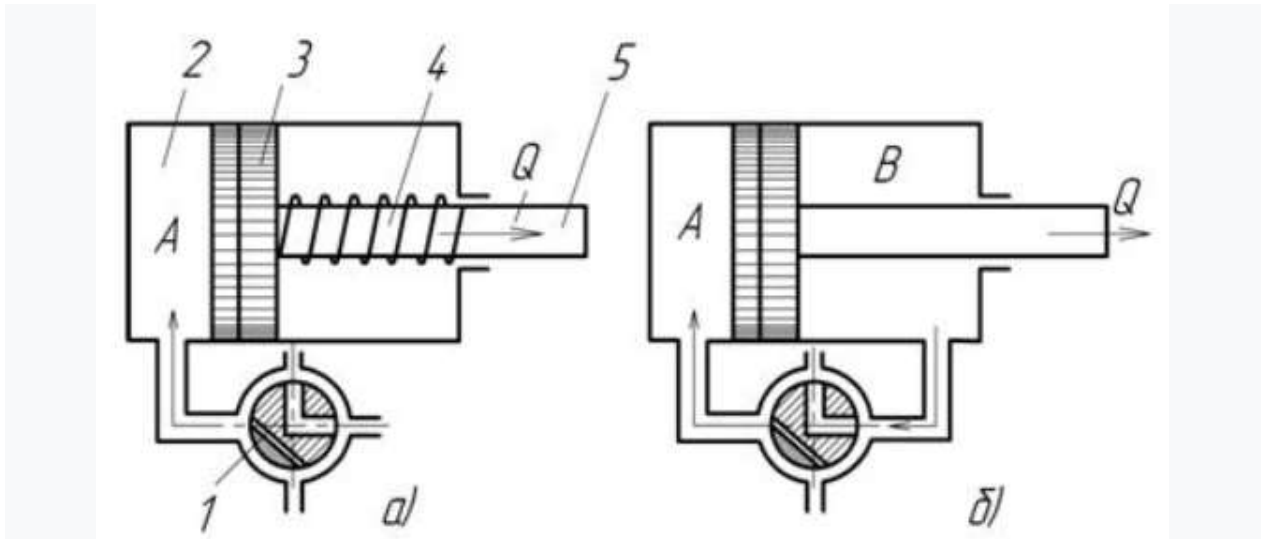
Разом з тим пневмопривод має недоліки - неплавне переміщення штока, великі габаритні розміри силових агрегатів і низький тиск повітря, шум при випуску відпрацьованого повітря.

Пневмопривод включає в себе наступні частини:

- джерело стисненого повітря - зазвичай цехова або заводська компресорна установка (4 ... 6 Ат 0,4 ... 0,6 МПа);
- силовий агрегат - пневмодвигун, що перетворює енергію стисненого повітря в силу на штоку;
- пневматика - контролюючі прилади,
- розподільні, запобіжні пристрої;
- повітропроводи.

Поршневі пневмоциліндри

Пневмоциліндри поділяють на стаціонарні (лінійної дії) і обертаються. Поршневі пневмоциліндри бувають одностороннього (4.18, а) і двостороннього (4.18, б) дії.



1 – кран; 2 – корпус; 3 – поршень; 4 – пружина; 5 – шток

Рис. 4.18. Поршневі пневмоциліндри

В циліндрах односторонньої дії зворотний хід поршня 3 здійснюється за допомогою поворотної пружини 4, а двосторонньої дії - стисненням повітрям

Розрахунок поршневих пневмоциліндрів

Односторонньої дії

$$D_{\text{ц}} = 2 \sqrt{\frac{W+q}{\pi \rho \eta}},$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \rho \eta - q.$$

Двосторонньої дії

Штокова камера

$$D_{\text{ц}} = 2 \sqrt{\frac{W}{\pi \rho \eta}} + d^2;$$

$$Q = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) \rho \eta.$$

Безштокові камера

$$D_{\text{ц}} = 2 \sqrt{\frac{W}{\pi \rho \eta}},$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \rho \eta,$$

де W – зусилля на штоку H ;

D – діаметр поршня пневмоциліндра, мм;

d – діаметр штока поршня, мм;

p – тиск стисненого повітря, (0,4 ... 0,6) МПа;

η – ККД пневмоциліндра (0,85 ... 0,9),

q – опір поворотної пружини H / мм.

Мембранні пневмоциліндри

Можуть бути односторонньої і двосторонньої дії, а в залежності від числа робочих порожнин – одинарні, здвоєні або вбудовані. Конструкція таких циліндрів простіша, ніж поршневих циліндрів.

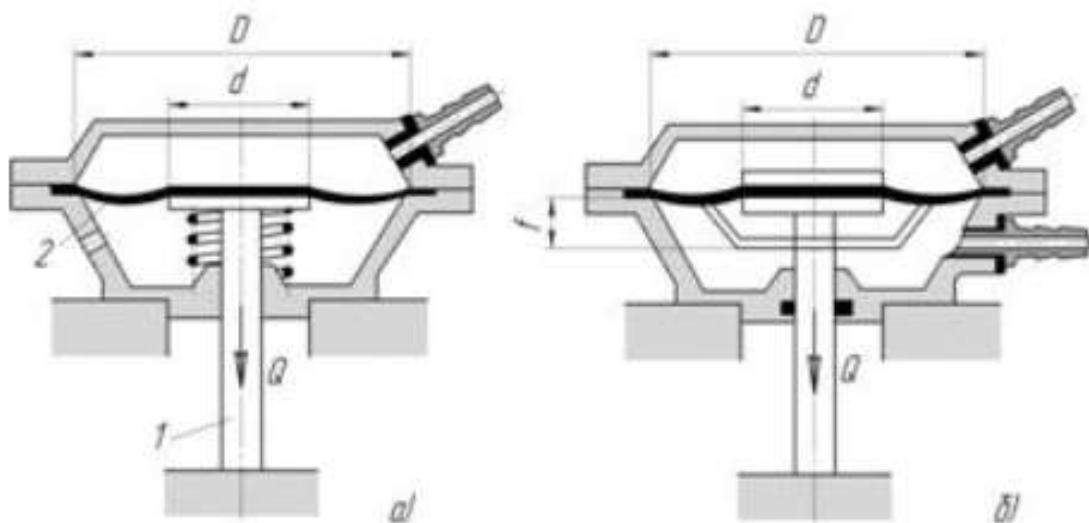


Рис. 4.19. Конструкції мембранних пневмоциліндрів
а – односторонньої дії, б – двосторонньої дії

Сила затиску

$$Q = 0,196(D + d)^2 \rho \eta,$$

де $d = 0,6 \dots 0,8D$.

Недоліком є мінливість сили затиску, зменшується в міру збільшення ходу штока в результаті прогину мембрани, опір якої

буде тим більше, чим більше хід штока. Тому мембранні циліндри рекомендується застосовувати лише при невеликих ходах штока.

Гідравлічні приводи

У гідроприводах вихідної енергією є потенційна енергія (енергія тиску) робочих рідин (зазвичай масла)

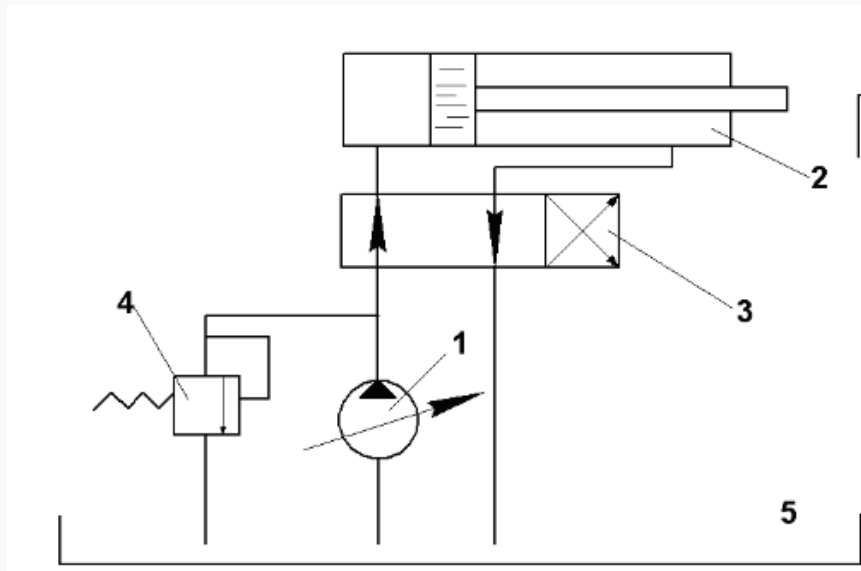


Рис. 4.20. Принципова схема гідроприводу

Гідропривід складається з масляної ванни 5, гідронасоса 1, керуючої апаратури 3 (гідророзподільник), силового агрегату поршневого типу 2 (гідроциліндр), контрольно-регулюючої апаратури 4 (сюди відносяться запобіжний і зворотний клапани, гідроаккумулятори, редукційні клапани, дроселі, манометри і т. п.) і трубопроводів.

Конструкції гідроциліндрів і способи їх компонування з пристосуванням такі ж, як і в пневмоприводі.

У порівнянні з пневмоприводом гідропривід має наступні переваги.

1. Значно менші габаритні розміри силових агрегатів, а отже, і всього пристосування у зв'язку з тим, що тиск масла і 10 ... 30 разів вище, ніж повітря. При цьому скорочується витрата металу, збільшується жорсткість пристосування, що дозволяє вести обробку на максимальних режимах різання.

2. Великі сили зі штока гідроциліндрів можна передавати безпосередньо на заготовку без застосування затискних механізмів -

підсилювачів. При цьому підвищується ККД затиску, спрощується конструкція пристосування

3. Здійснення багаторазового затиску без механічних підсилювачів шляхом компонування потрібного числа циліндрів, керованих одним золотником. Як правило, в цьому випадку конструкція пристосування виходить більш компактною і дешевою.

4. Компактність гідроциліндрів дозволяє створювати зручні агрегатуються приводи для пристосувань серійного виробництва.

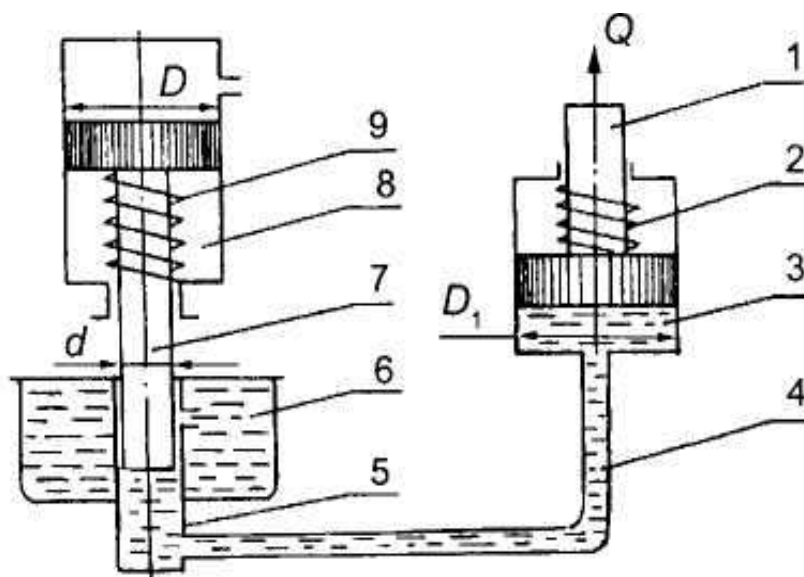
5. Працюють більш плавно і безшумно.

6. Робоча рідина одночасно виконує і функції мастила, оберігаючи рухомі частини від зносу і корозії.

7. Компактність гідроциліндрів дозволяє розміщувати їх на рухомих частинах (плаваючі циліндри).

Пневмогідравлічний привід

У пневмогидравлическим приводом вихідної енергією є потенційна енергія стисненого повітря, яка перетворюється спочатку в енергію стислій рідини, а потім вже в механічну силу на шток. У пневмогідроприводи використані гідності і пневмо- і гідроприводу.



- 1 – шток, 2 – пружина, 3 – робочий гідроциліндр, 4 – трубопровід,
5 – головний гідроциліндр, 6 – резервуар, 7 – шток поршня
пнеumoциліндра, 8 – пневмоциліндр, 9 – пружина

Рис. 4.21. Схема пневмогідравлічного приводу

У пневмогідравлічних системах масло менше нагрівається, ніж в насосних гідравлічних системах і менше піниться. Втрати енергії в них нижче, а надійність роботи вище. Вони прості, мають низьку вартість і досить універсальні в застосуванні.

Електромеханічні приводи

Привод являє собою електромеханічний пристрій з електродвигуном і з муфтою тарування крутного моменту. Ці приводи використовують в пристроях верстатів токарно-револьверної групи, агрегатних верстатів, в якості приводів гвинтових затискачів пристосувань-супутників автоматичних ліній.

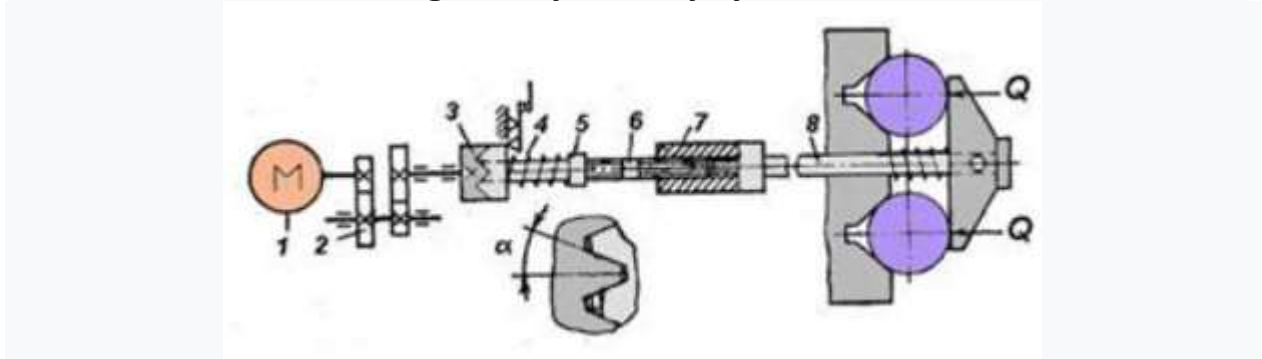


Рис. 4.22. Затискач з приводом від електродвигуна

Електроприводи характеризуються найбільшою швидкістю спрацьовування, малою витратою енергії, більш високим ККД, ніж у пневмо- і гідроприводів, але великими ніж у гідроприводів габаритними розмірами і масою, чутливістю до перевантажень і меншою надійністю в роботі.

Електромагнітні пристрої

Електромагнітні затискні пристрої виконують у вигляді плит і планшайб для закріплення сталевих і чавунних заготовок з плоскою базою.

У корпусі 1 плити розташовані електромагніти 6 (Рис.). Заготівлю 5 встановлюють на кришку 2, в якій розташовані полюси 3, оточені ізоляцією 4-магнітною (латунь, нержавіюча сталь) з товщиною до 5 мм. Магнітний потік замикається через заготовку, проходячи через корпус і кришку плити. Утримує сила виникає в місцях контакту заготовки з полюсами і кришкою плити.

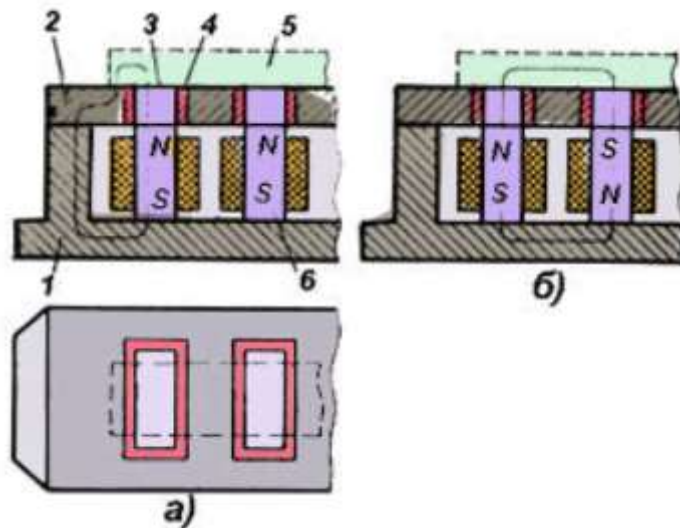


Рис. 4.23. Електромагнітна плита

Сердечники електромагнітів і полюса кришки виготовляють зі сталі 10, а інші деталі плити - з сталей 10 і 15 або з чавуну СЧ12. Харчування електромагнітних плит здійснюється постійним струмом (номінальну напругу 24, 48, 110 і 220 В) від мотор-генераторів, або випрямлячів. Магнітні приводи у магнітних затискних пристроях встановлені постійні магніти.

Утримувана заготовка є якорем, через який замикається магнітний силовий потік. Для відкріплення деталі магніт повинен бути зміщений або повернутий з тим, щоб магнітний потік замкнулося минаючи заготовку.

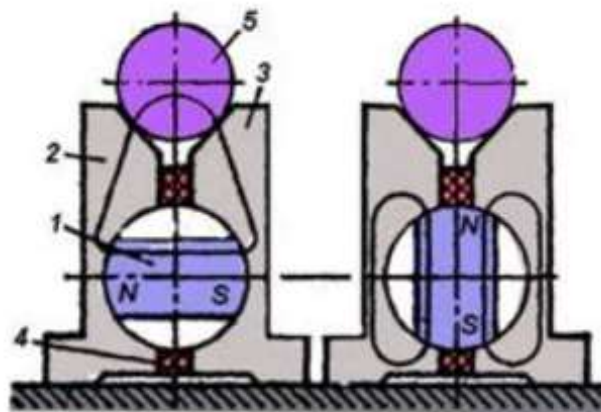


Рис. 4.24. Схема магнітного приводу

Магнітна призма для закріплення циліндричних заготовок. При горизонтальному положенні магніту магнітний силовий потік проходить через обидві щоби 2 і 3 призми, розділені немагнітною пластинкою 4 і притискає заготовку 5 до призми. При вертикальному

положенні магніту магнітний потік замикається в корпусі і заготівля звільняється.

Магнітні приводи мають переваги перед електромагнітним, так як у них відсутня харчування струмом, а, отже, велика безпека в роботі і менша вартість експлуатації. Магнітні затискні пристрої, так само як і електромагніти, являють собою в основному плити і планшайби.

Магнітна плита призначена для закріплення заготовок з феромагнітних матеріалів при їх обробці на металорізальних верстатах, шліфувальних верстатах, для фіксації заготівлі у фрезерних і токарних верстатах а також при слюсарній обробці і при контрольних і вимірювальних операціях (рис. 4.25).



Рис. 4.25. Магнітна плита

Продуктивний верстат з живленням від акумуляторної батареї, що заряджається, спеціально розроблений для роботи в місцях, де немає можливості підключення електрики (рис. 4.26).



Рис. 4.26. Магнітний свердлильний верстат АккиMAB3000 BDS Maschinen

Свердильний верстат на магнітній основі. Міцна станина з магнітною підшоною великої потужності добре підходить для свердління свердлами великого діаметру. Апарат можна прикріпити практично до будь-якої металевої поверхні (товщина листа повинна бути більше 10-15 мм), і провести свердління отворів. Обладнання даного типу отримало популярність в будівельних компаніях, а також на виробництві різних металоконструкцій.



Рис. 4.27. Свердильний верстат на магнітній основі Metabo MAG 100

Вакуумні затискачі

Вакуумні затискні пристрої застосовують для закріплення заготовок з різних матеріалів з плоскою або криволінійною базовою поверхнею. Сила закріплення достатня для виконання оздоблювальних операцій і чистової обробки.

Вакуумні пристрої ефективні для кріплення тонких пластин. Для їх рівномірного багатоточкового притиску до плити на настановної площини виконують велику кількість дрібних тісно розташованих отворів. Це дозволяє виконувати закріплення без ущільнення і запобігає випинання і викривлення пластин.



Рис. 4.28. Вакуумний стіл з ЧПУ

Вакуумні затискачі працюють за принципом використання атмосферного тиску для притиску заготовки. Заготівля встановлюється в центруючу виточення або на плиту пристосування, з порожнини якої видаляють повітря. Заготівля притискається до плити пристосування атмосферним тиском.

Контрольні запитання

- 1 Дайте визначення – верстатне пристосування?
- 2 Наведіть основну класифікацію верстатних пристосувань?
- 3 Яким чином виконують вибір верстатних пристосувань?
- 4 Що належить до технологічного оснащення?
- 5 Назвіть основні елементи пристосувань для обробки на верстатах.
- 6 Назвіть основні види опорних елементів.
- 7 Назвіть види затискних елементів і вимоги, що пред'являються до них.
- 8 Назвіть типи механічних затискачів в верстатних пристосуваннях.

ТЕМА 5 ТИПОВА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

5.1 Технологія виготовлення валів

Вали. Матеріалом для валів служать сталі марок 35, 40, 45. У сільгоспмашинобудуванні для валів застосовують Ст. 0 і до Ст. 6. Відповідальні вали роблять з легованих конструкційних сталей (40Х, 50Х, 40Г, 50Г і ін.). Найчастіше посадочні місця у валів під зубчаті колеса, муфти виконують по 9 – 11 квалітетам, а в сильно навантажених по 6 – 8 квалітетам. Шийки під підшипники роблять по 6 – 7 і в окремих випадках по 5 – 6 квалітетам.

Заготовками для валів є: 1) прокат; 2) прокат з подальшим волочінням; 3) штампування.

Технологічний процес обробки довгого валу ($l > 4d$) з прокату складається з різання заготовки, підрізання торців, центрування і точіння двох кінців валу на центрувальних гніздах.

Різання заготовок валів виконують на пресах, ножівках, різцями на токарних верстатах, дисковими сегментними фрезами (пилами).

Механічні (приводні) ножівки приводяться в дію (поступально-поворотне переміщення) від електродвигуна. Вони належать до простих і дешевих верстатів. Ширина пропила ножівками невелика (1 – 2 мм), але площа різку при цьому способі може виходити не перпендикулярно до осі заготовки. Продуктивність при розрізанні цим способом низька.

Розрізання на токарно-відрізних верстатах із заготовкою, що обертається, при установці довжини по упору дозволяє досягти високої точності заздалегідь виправлених заготовок – 0,5 – 1,0 мм, залежно від діаметру і довжини при правильному положенні площини зрізу по відношенню до осі заготовки.

Розрізання дисковими пилами є найбільш дешевим і продуктивним способом. Тому в машинобудуванні цей способі дуже поширений.

Ширина пропила дисковими пилами 3 – 7 мм, діаметри пилки – 600 – 800 мм. Поверхня зрізу після розрізання заготовки цим методом виходить менш рівною і гладкою чим після розрізання на токарно-відрізних верстатах.

Існують **фрикційні беззубі пилки (диски тертя)**. Розрізання такими інструментами здійснюється за рахунок оплавлення заготовки в місці контакту з диском, який швидко обертається.

Проте ці пилки застосовують в обмеженій мірі (головним чином для розрізання труб), оскільки, хоча при цьому способі досягається висока продуктивність, але поверхні зрізу виходять оплавленими і іноді загартованими.

Правка прутків буває зазвичай необхідна унаслідок того, що вони в тому або іншому ступені викривлені.

Для правки довгих прутків широко застосовують правильно-калібрувальні верстати (рис. 5.1). Вони влаштовані таким чином. У барабані, що обертається, 7 поміщено три пари роликів 1, 2, 3, 4, 5, 6, що мають форму гіперболоїдів обертання. Пруток, що виправляється, пропускають між цими роликами, осі яких нахилені до осі обертання барабана.

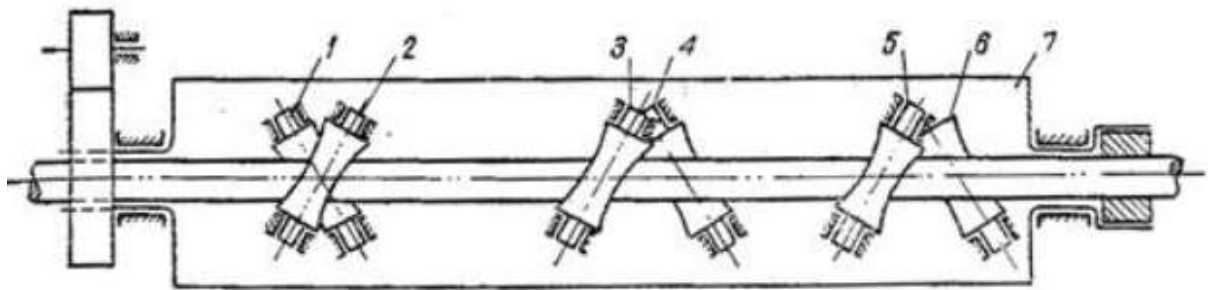


Рис. 5.1. Барабан правильно-калібрувального верстата

При обертанні рами ролики також обертаються, обкатуючись навколо прутка, що виправляється, і додають йому поступальний рух.

Окрім правки, тобто усунення кривизни прутка, можна на цьому ж верстаті проводити калібрування вже оброблених поверхонь, додавати їм точний розмір і гладку поверхню.

Типова технологія обробки валів

Торці підрізають на токарних, фрезерних і фрезерно-центрувальних верстатах.

Центрування валів здійснюють на токарних, свердлильних, центрувальних, фрезерно-центрувальних верстатах.

Торцювання заготовок полягає в обробці їх торців до подальшого виникнення в них центрових поглиблень (центрування). Торцюванню піддають зазвичай ковані заготовки валів з нерівними торцями або штампувальними ухилами.

Торцювання заготовок зазвичай полягає в їх фрезеруванні. Для цієї мети застосовують фрезерно-центрувальні верстати, на яких заготовки закріплюють в лещатах з призматичними губками і проводять фрезерування двох торців, а також і центрування заготовок. Можна торцювати заготовки і на звичайних фрезерних верстатах або підрізати на токарних верстатах, а також виконувати цю операцію на спеціальних верстатах з барабаном, що безперервно обертається.

Центрування заготовок, тобто отримання в них центрових поглиблень, проводять в тих випадках, коли установка підлягає установці в центрах при її подальшому обточуванні, шліфуванні і т.д.

Утворення центрових поглиблень правильних розмірів і форми має велике значення, оскільки ці поверхні є настановними базами і від їх положення в заготовці і точності залежать зазвичай і результати обробки. Зокрема, від їх положення залежить і рівномірність припуску, що видаляється з периферії заготовки.

Форма і розміри центрових поглиблень стандартизовані (ОСТ 3725).

За стандартом передбачено три види центрових поглиблень (рис. 5.2): звичайне, із запобіжною фаскою, з різьбленням.

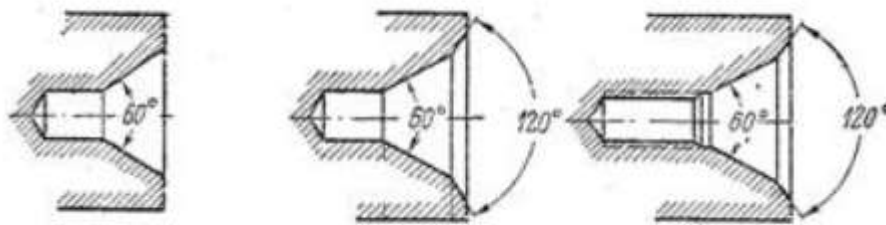


Рис. 5.2. Види центрових поглиблень

Другий вигляд застосовують в тих випадках, коли необхідно оберегти робочу конічну частину центрального поглиблення від випадкових пошкоджень. Це важливо для тих деталей, у яких центрові поглиблення використовуються не тільки для установки при обробці, але і для ремонту або установки при експлуатації цих деталей (наприклад, центрових оправок) або для заточування (розгортки, зенкери і т.д.).

Третій вид центрових поглиблень застосовується для вкручення заглушок, що оберігають від пошкодження робочі конуси при транспортуванні деталей.

Центрування заготовок проводять частіше без розмітки положення центрових отворів; проте крупні вали і вали середніх розмірів розмічають до центрування.

Утворення центрових поглиблень можна проводити наступними способами:

1) свердлінням з подальшим раззенкуванням конусів окремими зенкерами;

2) свердлінням комбінованими centruвальними свердлами.

Типові набори інструментів для центрування стандартизовані (ОСТ 3725). Це – спіральні свердла і конічні зенківки, а також комбіновані centruвальні свердла.

Центрування можна проводити на токарних, револьверних і вертикально-свердлильних верстатах. Проте, часто виявляється більш раціонально для цієї мети застосовувати centruвальні верстати.

Фрезерно-центрувальні напівавтомати і автомати. Фрезерно-центрувальний напівавтомат влаштований таким чином: на станині верстата поміщені дві фрезерні і дві свердлильні бабки.

Особливості обточування деталей типу валів

Обточування деталей класу валів в одиничному і дрібносерійному виробництві проводять на токарних верстатах загального призначення. У великосерійному і особливо масовому виробництві широко застосовуються багаторізцеві токарні напівавтомати. Можна розрізняти наступні види обточування поверхонь:

1) чорнове (при точності обробки до 5-го класу і чистоті обробки до 3-го класу);

2) чистове (при точності обробки до 4-го класу і чистоті обробки до 6-го класу);

3) тонке (при точності обробки до 2-го класу і чистоті обробки до 9-го класу).

У масовому виробництві звичайне чистове обточування проводять з низькою точністю, оскільки чистове обточування з вищою точністю пов'язане з необхідністю роботи з дуже малими подачами, великою витратою часу на узяття пробних стружок і

проміри або на переналагодження настроєного верстата із-за зносу інструментів і т.д.

В умовах серійного виробництва також зазвичай не проводять чистового обточування з високою точністю, вважаючи за краще, у разі потреби, після токарної обробки проводити шліфування для досягнення високої точності обробки. Проте це не розповсюджується на дуже крупні деталі, обточування яких проводиться на токарних верстатах з високою точністю (2-й клас і вище) і з високою точністю обробки.

Обточування ступінчастих валів на багаторізцевих верстатах може проводитися наступними способами:

- 1) подовжньою подачею, тобто з паралельною (одночасною) обробкою ступенів;
- 2) шляхом урізування з подальшою подовжньою подачею;
- 3) обточуванням з поперечною подачею.

У всіх випадках всі різці повинні закінчувати обробку одночасно.

У разі обробки ступінчастого валу по першій схемі, різці вступають в дію по черзі.

При праці за даною схемою довжина проходу L рівна сумі довжин всіх обточуваних ступенів:

$$L = l_1 + l_2 + l_3.$$

Спосіб цей застосовують рідко не тільки тому, що довжина проходу виходить значною, але ще і тому, що заготовки для ступінчастих валів при істотній різниці в діаметрах ступенів зазвичай виготовляються ступінчастими, обробка яких по другій схемі є продуктивнішою, оскільки довжина проходу значно зменшується.

Схема обробки є поєднанням першої і другої схем, і її застосування у ряді випадків виявляється раціональним.

Фрезерування, як попередня обробка поверхонь обертання деталей класу валів, може проводитися циліндричними або торцьовими фрезами.

Обробка поверхонь обертання у деталей типу валів

Обробка поверхонь обертання деталей типу валів може проводитися наступними способами:

Лезвійними інструментами:

- 1) тонким обточуванням (чистове точне обточування);

- 2) фрезеруванням дрібнозубими фрезами;
- 3) протягуванням.

Абразивними інструментами:

- 1) шліфуванням;
- 2) хонінгуванням;
- 3) суперфінішуванням;
- 4) притиранням;
- 5) поліруванням.

Металевими інструментами без зняття стружки:

- 1) накоченням роликами;
- 2) накоченням кульками.

Тонке обточування поверхонь проводять різцями, оснащеними твердими сплавами, при високих швидкостях різання і при малих перетинах стружки. Обробку проводять з малими подачами (0,02 – 0,2 мм/об.) зі швидкостями різання 100 м/мін. і вище для кольорових сплавів при глибинах різання 0,05 – 0,3 мм.

Тонке обточування проводиться на жорстких точних верстатах із частинами, що обертаються та добре збалансовані.

Протягуванням можна обробляти зовнішні поверхні обертання на особливих вертикальних верстатах, призначених для цієї мети. В цьому випадку деталь, що поволі обертається навколо горизонтальної осі, обробляється зубами плоскої або фасонної протяжки, що переміщається перпендикулярно до осі оброблюваної деталі. Цей спосіб мало поширений унаслідок високої вартості інструментів і вельми вузького діапазону технологічних можливостей таких верстатів.

Обробка валів абразивами

Шліфування звичайне є найбільш поширеним способом остаточної обробки точних поверхонь обертання.

Зовнішнє шліфування з подовжньою подачею здійснюють при обертанні в один бік шліфувального круга і оброблюваної деталі. Крім того, оброблювана деталь (іноді круг) має подовжнє переміщення паралельно осі обертання круга (деталі). В кінці кожного одинарного або подвійного проходу шліфувальний круг отримує поперечне переміщення на глибину різання. По цій схемі обробляють відносно довгі деталі.

Шліфування з поперечною подачею – врізне шліфування – застосовують для деталей, у яких довжина оброблюваної поверхні менше або дорівнює ширині кола.

Кругле відцентрове зовнішнє шліфування застосовують для шліфування гладких валів. Оброблювану деталь розташовують на упорі між шліфувальним і ведучим кругами. Шліфувальний круг обертається з окружною швидкістю, рівною приблизно 30 – 40 м/с, ведучий круг – зі швидкістю 10 – 80 м/хв. Ведучий круг розташовується під кутом $\alpha = 1,5 - 5^\circ$ до шліфуючого круга, завдяки чому оброблювана деталь отримує від ведучого круга обертальний і поступальний рух (обертальну v_d і подовжню $s_{пр}$ подачі). Швидкість подовжньої подачі $s_{пр}$ зростає із збільшенням кута α .

Для отримання особливо високих класів шорсткості оброблюваної поверхні (7 – 14 класи) і точності обробки (5 – 7 класів) застосовують фінішні методи обробки, до яких відносяться притирання, хонінгування, суперфініш і полірування.

Хонінгування – метод фінішної обробки циліндричних отворів за допомогою дрібнозернистих абразивних брусків, що здійснюють обертальний і поворотно-поступальний рух разом з особливою державкою, яка називається хоном (хонголовкою).

Бруски для хонінгування виготовляють з електрокорунду (для обробки сталі) і карбіду кремнію (для чавуну і кольорових сплавів) на керамічній зв'язці. Добрі результати при хонінгуванні дає застосування алмазних брусків. При їх використанні значно підвищуються стійкість інструменту, клас шорсткості поверхні.

Хонінгування зовнішніх поверхонь обертання полягає в обробці їх абразивними брусками, поміщеними в колодки, пов'язані з розтискними скобами (рис. 5.3). Цими брусками охоплюється оброблювана поверхня деталі. Одночасно бруски здійснюють короткі (2 – 5 мм) поворотно-поступальні (що осцилюють) рухи.

При цьому процесі швидкість обертання оброблюваної деталі невелика (2 – 20 м/хв.), подовжня подача інструменту 0,1 – 0,15 мм на один оборот деталі, число коливальних рухів брусків 500 – 1800 в хвилину, тиск брусків на поверхню деталі, здійснюваної пружинами, 2 – 10 кг. Для отримання якісної поверхні необхідно застосовувати змащуючу рідину певної в'язкості (зазвичай суміш гасу з маслом). В процесі обробки тиск пружин змінюється, збільшуючись у міру зміни площі контакту брусків з деталлю, що відбувається унаслідок того, що зрізуються гребінці на оброблюваній поверхні.



Рис. 5.3. Хон для обробки шийок валів

Перед хонінгуванням поверхню циліндра заздалегідь обробляють шліфуванням або тонким розточуванням. Припуск під хонінгування на діаметр складає 0,01 – 0,04 мм і іноді доходить до 0,5 мм. Точність обробки відповідає 5 – 7 квалітетам, шорсткість обробленої поверхні 9 – 13 класам ($R_a = 0,32 - 0,0125$ мкм).

Суперфінішування – остаточна обробка заздалегідь шліфованих поверхонь (частіше зовнішніх циліндричних) за допомогою дрібнозернистих, абразивних або алмазних брусків, що здійснюють складний рух з метою отримання високої якості поверхні. Бруски для суперфінішу виготовляють з шліф- і мікропорошків. Як змащувально-охолоджуючу рідину застосовують гас з добавкою 5 – 10 % масла.

При суперфініші зовнішньої циліндричної поверхні оброблювана деталь здійснює обертальний рух ($v \approx 5 - 15$ м/хв.), бруски – коливальний рух з довжиною ходу 1,5 – 6 мм і частотою 250 – 1000 подвійних ходів в хвилину, а також рух подачі уздовж оброблюваної поверхні величиною до 1 – 2 мм/об. Суперфінішування підвищує значно точність розмірів деталей, але забезпечує мінімальну шорсткість поверхні, відповідну 9 – 14 класам ($R_a = 0,63 - 0,008$ мкм). Суперфінішування є завершальною

операцією при обробці шийок колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання.

Притирання (або доведення) полягає у видаленні з поверхні оброблюваної деталі незначного шару металу за допомогою застосування особливо дрібнозернистого абразивного матеріалу в середовищі мастила, нанесеного на поверхню інструменту, який називається притиром.

Притир для валу – розрізна втулка, що встановлюється в сталевому розрізному корпусі. Тиск на оброблювану поверхню валу створюють стягнутим болтом розрізного корпусу. При обробці паралельних площин притирами є диски, між якими розміщують деталі. Притири (або деталі) здійснюють щодо один одного складні рухи. Наприклад, при обробці внутрішніх і зовнішніх циліндричних поверхонь притири (деталі) мають обертальний і поступально-поворотний рухи.

Притири зазвичай виготовляють із сірого чавуну, рідше із міді та свинцю, а в деяких випадках із пластмаси і навіть дерева. Як абразивні матеріали для притирів застосовують порошок алмазу, корунду, карборунда, наждаку зернистістю 100 – 1 мкм і пасти ГОИ (76 % окису хрому, 22 % – стеарину, 2 % гасу).

Полірування – обробка деталей за допомогою особливої дрібнозернистої абразивної (полірувальною) пасти, нанесеної на еластичний полірувальний круг, що виготовляється з повсті, шкіри і парусини. Як абразив застосовують порошок окислу хрому, крокусу (окису заліза), віденського вапна, іноді корунду і карбід кремнію.

Окружна швидкість обертання круга при поліруванні деталей із сталі і чавуну 30 – 35 м/с. Деталь притискається до круга з силою, рівною приблизно 20 – 50 Н. Полірування зазвичай застосовують як декоративну обробку деталей, а також як підготовчу операцію перед нікелюванням, хромуванням і іншими гальванічними покриттями. Шорсткість поверхні після полірування відповідає 7 – 12 класам ($Ra = 1,25 - 0,025$ мкм).

Накатка

Накатка поверхонь металевими роликами проводиться головним чином, для досягнення високої чистоти поверхні (до 7 – 10 класу).

Процес наочування полягає в тому, що до оброблюваної деталі, яка обертається, притискають сталеві загартовані ролики

(один або три, розташовані один проти одного) і додають роликам рух подачі.

5.2 Технологія виготовлення втулок

Основні конструктивні різновиди втулок:

- гладкі,
- з буртами або фланцями,
- із конічним отвором,
- розрізні конічні,
- із залитим шаром антифрикційного сплаву,
- згорнуті тонкостінні з відкритим швом.

Поверхні отворів втулок мають канавки для мастила. Для підведення мастила є поперечні отвори.

Технічні умови виготовлення втулок характеризуються наступними даними. Діаметральні розміри зовнішніх поверхонь задаються по 2 або 3-у класу точності; отвори – зазвичай по 2, рідше по 3-у класу точності, для відповідальних сполучень – по 1-у класу точності. Різниця за товщиною стінки допускається в межах 0,03 – 0,15 мм. Неперпендикулярність поверхонь торців до осі отвору допускається до 0,2 мм на 100 мм радіусу, а при осьовому навантаженні на поверхні торців неперпендикулярність задається в межах 0,02 - 0,03 мм. Чистота поверхонь задається для зовнішніх поверхонь обертання зазвичай по 6-у класу; для отворів – від 6 до 8-го класу, іноді 9-й клас, залежно від вимог, що пред'являються; для поверхонь торців - 4 клас, а при осьовому навантаженні на поверхні торців 6 – 7-й клас чистоти.

Матеріали, які застосовуються для виготовлення втулок: сталь, латунь, бронза, чавун, спеціальні сплави, металокераміка, пластмаси.

Види заготовок

Для втулок з діаметром отвору до 20 мм застосовують прутки, що калібруються або гарячекатані, а також відливки у вигляді суцільних болванок. Для втулок з діаметром отвору більше 20 мм застосовують цільнотягнуті труби або литі заготовки з отворами; при цьому застосовують лиття в земляні форми машинного формування, лиття в постійні металеві форми, відцентрове лиття і лиття під тиском. Для згорнутих тонкостінних втулок з відкритим швом застосовують латунний або бронзовий смуговий матеріал; для таких втулок можливо також застосування біметалічної стрічки.

Заготовки з металокерамічних матеріалів отримують пресуванням і спіканням. Заготовки з пластмас отримують також пресуванням. Заготовки для втулок, отримані пресуванням і литтям під тиском, можуть бути виконані з центральним отвором практично без обмеження його діаметрального розміру, а саме 3 мм і менш, залежно від вживаного сплаву.

Специфічні технологічні завдання при обробці втулок полягають в досягненні концентричності зовнішніх поверхонь щодо отвору і перпендикулярності торців до осі отвору. Для тонкостінних втулок виникає додаткове завдання закріплення заготовки при обробці на верстатах без відчутних її деформацій.

Завдання концентричності зовнішніх поверхонь щодо отвору і перпендикулярності поверхонь торців до осі отвору може бути вирішене трьома способами:

1) обробкою зовнішніх поверхонь, отвору і поверхонь торців за один установ;

2) обробкою всіх поверхонь за два установи або за дві операції з базуванням при остаточній обробці отвору по зовнішній поверхні;

3) обробкою всіх поверхонь за два установи або дві операції з базуванням при остаточній обробці зовнішньої поверхні по отвору.

Обробка за один установ можлива при виготовленні втулок з прутка або труби з відрізанням обробленої заготовки в кінці виконаної операції; проте при жорстких вимогах до концентричності, у разі відведення осі отвору при свердленні, виникає необхідність в остаточній обробці зовнішніх поверхонь і торців з базуванням по отвору.

При індивідуальному відливанні крупних заготовок обробка за один установ вимагає наявності приливів, що значно збільшує відходи і знижує коефіцієнт використання металу. Тому для індивідуальних відливок цей спосіб може бути застосований тільки в одиничному виробництві; проте і в цьому випадку він не дає яких-небудь переваг порівняно з іншими способами рішення задачі забезпечення концентричності зовнішніх поверхонь щодо отвору і перпендикулярності поверхонь торців до осі отвору.

З двох інших способів рішення задачі концентричності базування по обробленому отвору на останній операції технологічного процесу має ряд переваг порівняно з базуванням по обробленій зовнішній поверхні:

1) при обробці на розтискній оправці похибка установки або відсутня (при кріпленні оправки у центрах), або значно менше (при кріпленні оправки у патроні) порівняно з обробкою в патроні при кріпленні заготовки по зовнішній поверхні;

2) при базуванні по отвору його залишкові просторові відхилення в результаті відведення осі при свердленні ліквідовуються при обробці зовнішніх і торцевих поверхонь, тоді як при обробці отвору з базуванням по зовнішній поверхні вони зазвичай мають місце.

Базування заготовок:

1) при обробці за один установ заготовки з прутка або труб базами є зовнішня поверхня і підрізаючий торець, що встановлюється по упору;

2) при обробці індивідуальної заготовки за базу доцільно приймати заздалегідь оброблений отвір і торець заготовки.

Різноманітність технологій обробки втулок

Технологія обробки втулок і обладнання залежать в основному від виду заготовки.

При обробці втулок з прутка дотримуються переважно наступного технологічного маршруту.

1. Підрізування торця у прутка, подача прутка до упору, зацентровування під свердлення, свердлення отвору і обточування зовнішньої поверхні, розточування або зенкування отвору і обточування зовнішньої поверхні зі зняттям фасок на вільному торці, попереднє розгортання, остаточне розгортання, відрізка; ця операція виконується на токарно-револьверному верстаті, одношпіндельному або багатошпіндельному автоматі.

2. Зняття фасок з протилежного торця втулки на вертикально-свердлильному або операційному верстаті.

3. Свердлення змащувального отвору на вертикально-свердлильному верстаті.

4. Нарізування змащувальних канавок на спеціальному верстаті.

5. Шліфування зовнішньої поверхні на круглошліфувальному або безцентрово-шліфувальному верстаті.

При обробці втулок з труби перехід свердлення випадає, і замість свердлення проводиться зенкування або розточування отвору; у іншому процес не відрізняється від обробки втулки з прутка.

При обробці втулок з індивідуальних відливок або поковки доцільно застосовувати наступний технологічний маршрут:

1. Зенкування отвору втулки і зняття фаски в отворі на вертикально-свердлильному верстаті; у зв'язку з тим, що при закріпленні втулки в патроні базою є зовнішня поверхня втулки, розрахунок припуску на зенкування слід проводити по формулі з урахуванням відведення осі литого отвору і похибки установки втулки в патроні.

2. Протягування отвору на горизонтально-протяжному верстаті зі сферичною шайбою, що самовстановлюється, яка застосовується у зв'язку з тим, що торець втулки необроблений; протягуванням залишкове відведення осі отвору не виправляється, а похибка установки не має місця, тому припуск під протягування визначають по формулі з виключенням підкорінних значень i , отже, з урахуванням тільки висоти поверхневих нерівностей і глибини дефектного поверхневого шару. Зазвичай у втулок, які запресовують в корпус, залишають після протягування припуск на остаточну обробку отвору після запресовки.

3. Одноразове або попереднє обточування зовнішньої поверхні, залежно від точності виконання чорної заготовки, підрізування торців і зняття зовнішніх фасок на токарно-багаторізцевому напівавтоматі; операція виконується з базуванням по отвору на розтискній оправці або із запресуванням втулки на циліндричну оправку.

При розрахунку припуску на діаметр похибкою установки можна нехтувати, а просторове відхилення повинне включати залишковий зсув осі отвору після зенкування. Для поверхонь торців відсутні і похибка установки і просторові відхилення.

4. Чистове обточування зовнішньої поверхні, якщо проводилося неодноразове, а попереднє обточування; чистове підрізування торців проводять лише в тому випадку, якщо це викликається допуском на розмір по довжині і вимогами, що пред'являються до поверхонь торців; в цьому випадку операція виконується на багаторізцевому напівавтоматі; якщо проводиться обточування тільки зовнішньої гладкої поверхні, то операція може бути виконана на звичайному токарному верстаті; при ступінчастій зовнішній поверхні операція виконується на багаторізцевому напівавтоматі з пресою посадкою по шийках «а» і «б» оправки.

Подальші чотири технологічні операції аналогічні операціям 2, 3, 4 і 5 маршруту обробки втулки з прутка.

Технологія виготовлення втулок різних конструктивних різновидів відрізняється лише наладкою для обробки зовнішніх поверхонь на багаторізцевих напівавтоматах. Втулки з конічним отвором зенкують і розгортаються конічним інструментом з подачею до упору. У розрізних конічних втулок при багаторізцевій обробці інструмент, призначений для конічної поверхні, направляється копіром; крім того, для цих втулок передбачаються фрезерні операції для утворення прорізу і надрізів на зовнішній поверхні, а також нарізування різьблення на кінцевих уступах втулки. Для втулок, що заливаються антифрикційним сплавом, передбачається операція розточування канавок в отворі. Згорнуті втулки з відкритим швом обробляються аналогічно литим гладким втулкам, при цьому в шов вставляються прокладка, яка кріпиться у ньому легкоплавким шляхом і віддаляється після закінчення обробки.

Металокерамічні втулки виготовляються переважно на залізній або мідній основах. Матеріали на мідній основі відрізняються меншим коефіцієнтом тертя, кращою припрацьованістю, але мають меншу механічну міцність.

При обробці залізнокерамічних деталей різці з пластинками з твердого сплаву ВК8 забезпечують високу стійкість, а наявність перехідної ріжучої кромки з кутом заточування $1,5 - 2^\circ$ дає високу чистоту поверхні при режимах різання: $v = 200 - 400$ м/хв., $s = 0,05 - 0,15$ мм/об., $t = 0,5 - 1,2$ мм.

З метою поліпшення антифрикційних властивостей пористі втулки після закінчення спікання оброблюються авіаційним маслом у ванні, нагрітій до температури $110 - 120^\circ$. Залежно від товщини стінки втулки тривалість її обробки коливається від 45 хвилин (для стінки 4 мм) до 120 хвилин (для стінки 9,5 мм).

Отвори пористих втулок не рекомендується калібрувати кулькою, оскільки в цьому випадку пори частково закриваються і самозмащуюча здатність втулки знижується; тому доцільніше обробляти отвір втулки тонким розточуванням. У зв'язку з високою точністю, яка забезпечується металокерамічною технологією, обмежуються зазвичай одноразовою обробкою.

Втулки з пластмас можуть бути виготовлені з прутка, з труби або з індивідуальної заготовки, отриманої пресуванням.

5.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталей

Приклад проектування технології виготовлення деталі «Вал тихохідний».

1 Аналіз роботи деталі у вузлі, що проектується

Деталь - "Вал тихохідний" довжиною 335 мм, найбільшим діаметром 65 мм та меншими діаметрами 55 мм, 50 мм, 48 мм та 45 мм, відноситься до класу "Валів"; маса деталі $M_d = 4,9$ кг. Деталь застосовується в редукторі приводу стрічкового транспортеру. Призначення деталі: призначений для розміщення на них деталей, що обертаються (зубчастих коліс, шківів, барабанів і т.п.). Вал працює на згин та кручення.

2 Тип виробництва

Згідно завдання: тип виробництва - серійне.

Серійне виробництво характеризується одночасним виготовленням на підприємстві широкої номенклатури однорідної продукції, випуск якої повторюється протягом тривалого часу, і широкою спеціалізацією робочих місць. Партії складають із однотипних за конструкцією деталей, в яких форма та розміри не значно відрізняються один від одного. Партія деталей виготовляється у виробництві одночасно. Верстати можуть бути застосовані самі різнотипні: універсальні та спеціальні. Обладнання розташовується в цеху за ходом технологічного процесу. Після закінчення обробки однієї деталі верстати переналагоджуються на обробку іншої партії.

Заготовки використовують наближені до форми та розмірів готової деталі та мають нормативні припуски.

Спеціалізація верстатів та працівників, технологічне оснащення роблять серійне виробництво більш економічним за одиничне виробництво. У зв'язку з цим серійне виробництво отримало широкого розповсюдження.

Різальний та вимірювальний інструменти - універсальні.

3 Обґрунтування конфігурації заготовки та способу її одержання

Проаналізувавши креслення деталі згідно з типом виробництва (серійне) за заготовку вибираємо прокат сортовий сталевий гарячекатаний круглий.

Виконуємо ескіз «Вал тихохідний» та схематично указуємо

припуски для подальшої механічної обробки, не проставляючи розміри.

Виходячи з конфігурації та матеріалу деталі у якості заготовки обираємо круглий гарячекатаний прокат. Ø 65 ГОСТ 2590-2006.

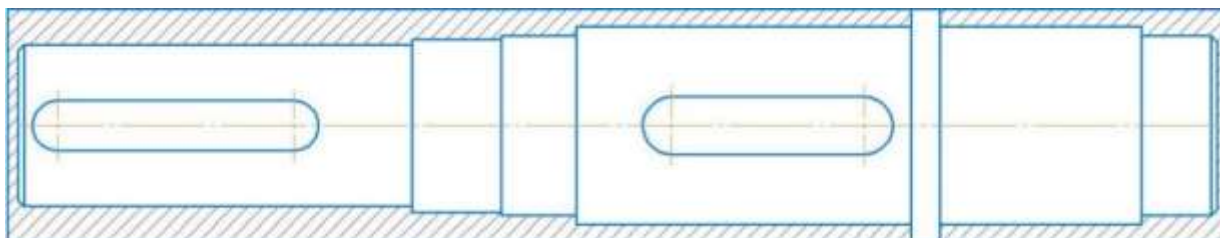


Рис. 5.4. Ескіз заготовки «Вал тихохідний»

4 Обґрунтування вибору матеріалу деталі та її розшифровка

Проаналізувавши роботу деталі, робимо висновок, що при роботі деталі «Вал тихохідний» редуктора виникають наступні навантаження під час роботи вузла: напруження, скручування, вигин, а також знос.

В залежності від цього обираємо підходящий матеріал, із якого можна виготовити деталь – нелегована конструкційна якісна Сталь 45 ГОСТ 1050-2013, яка застосовується для виготовлення деталей, що витримують значні деформуючі навантаження, наприклад: вал-шестерні, колінчасті та розподільчі вали, шестерні, шпинделі, та ін.

Вона добре протистоїть згину та крученню. Для збільшення стійкості деталі її треба піддати термічній обробці: гартуванню в оливі до твердості HRC 48...52 з низьким відпуском.

Дані хімічного складу та механічних властивостей матеріалу наведені у таблиці 5.1 та таблиці 5.2.

Таблиця 5.1

Хімічний склад Сталі 45 ГОСТ 1050-2013

Матеріал	Вуглець C	Кремній Si	Марганець Mn	Хром Cr	Нікель Ni	Сірка S	Фосфор P	Твердість HB
Сталь 45	0,42- 0,50	0,17- 0,37	0,5 - 0,8	0,25	0,3	0,04	0,035	229

Таблиця 5.2

Механічні властивості Сталі 45 ГОСТ 1050-2013

Матеріал	Границя текучості, σ_T МПа	Тимчасовий опір σ_s , МПа	Відносне звуження після розриву δ , %	Коефіцієнт оброблюваності Kv
Сталь 45	360	610	16	1,2 - TC

5 технологічний маршрут деталі згідно з формою.

Таблиця 5.3

Розробка технологічного маршруту

Найменування операції та її стислий зміст	Обладнання	Пристрій	Різальний інструмент	Вимірювальний інструмент
005 Термічна 28... 35 HRC Поліпшити деталь	Електропіч СНО- 4.8.3/12,5	Ванна для гартування деталей ОРГ-1468- 540 Кліщі ковальські	-	Твердомір ТК-2 ГОСТ 13407-67
010 Токарно- гвинторізна Підрізати та центрувати торці Встановити у центри Точити Ø 55мм, Ø 50мм, Ø 48мм Ø 45мм, Точити 2 фаски 1,6 x 45° Точити канавки 2мм	1K62	Патрон 3-х кулачковий ГОСТ 2675-80 Центр упорний ГОСТ 13214-79 Центр, який обертається ГОСТ 8742- 75 Різцетримач ГОСТ 17166-71	<u>Різці</u> Підрізний Т15К6 ГОСТ 18880-73 Прохідний упорний Т15К6 ГОСТ 18879-73 Канавочний Т15К6 ГОСТ 18885-73, Прямий прохідний ГОСТ 18879-73	Штангенциркуль ШЦ-II-400-0,01 ГОСТ 166-89 Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,01 ГОСТ 166-89 Мікрометр МК-50 0,01 ГОСТ 6507-90 Мікрометр МК-75 0,01 ГОСТ 6507-90
015 Вертикально- фрезерна Фрезерувати два пази $l = 80$ мм, $l = 70$ мм	6Н12П	УДГ-160 ГОСТ 8615- 80 Патрон цанговий ГОСТ 2876-80	Фрези шпонкові двоперові Р6М5 Ø 14 мм, Ø 16 мм ГОСТ 9140 -78	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,01 ГОСТ 166-89
020 Термічна Гартувати поверхні Ø 50 мм h 0,8... 1,2 ТВЧ 48...52 HRC	ЛПЗ-67	Ванна для гартування деталей ОРГ- 1468-540 Кліщі ковальські	-	Твердомір ТК-2 ГОСТ 13407-67
025 Кругло- шліфувальна Шліфувати Ø 50 мм	3А151	Центр упорний ГОСТ 18259-72 Центр, який обертається ГОСТ 8742-75	Круг шліфувальний ПП 600x63x305 44А40СМ1 ГОСТ 2424 - 83	Мікрометр МК 50. .75 0,01 ГОСТ 6507-90
030 Контрольна	Стіл СД- 3702- 08	-	-	Вимірювальний інструмент, вказаний в попередніх операціях

Контрольні запитання

- 1 Як поділяють деталі за їх технологічними характеристиками?
- 2 Які операції входять в технологічні процеси по обробці корпусних деталей?
- 3 Які операції входять в технологічні процеси виготовлення валів?
- 4 Яка послідовність виготовлення деталей класу «порожнисті циліндри»?
- 5 Які особливості виготовлення деталей класу «диски»?
- 6 Які особливості виготовлення деталей класу «некруглі стержні»?
- 7 У чому полягає технологічний процес складання?
- 8 Назвіть основні вихідні дані при розробці технологічного процесу складання?
- 9 Які технологічні методи складання застосовують в машинобудуванні?
- 10 Для чого необхідна маршрутна карта?
- 11 Для чого необхідна операційна карта?
- 12 Для чого необхідна карта ескізів?

ТЕМА 6 ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

6.1 Обробка шліцьових поверхонь

У шліцьових з'єднаннях сполучені деталі центруються трьома способами:

- 1) центруванням втулки (або зубчатого колеса) по зовнішньому діаметру шліцьових виступів валу;
- 2) центруванням втулки (або зубчатого колеса) по внутрішньому діаметру шліців валу (тобто по дну западин);
- 3) центруванням втулки (або зубчатого колеса) по бічних сторонах шліців.

Форма шліців буває прямокутна, евольвентна і трикутна.

Шліцьові з'єднання широко застосовуються в машинобудуванні (верстатобудуванні, автомобіле- і тракторобудуванні і інших галузях) для нерухомих і рухомих посадок.

Технологічний процес виготовлення шліців валів залежить від того, який прийнятий спосіб центрування валу і втулки. Найбільш точним є спосіб центрування по внутрішньому діаметру шліців валу; він застосовується, наприклад, у верстатобудівній і рідше в автомобільній промисловості. Центрування по зовнішньому діаметру шліцьових виступів валу зустрічається досить часто, цей спосіб застосовується в тракторобудуванні, в автомобілебудуванні, а також у верстатобудуванні і ін. Центрування по бічних сторонах шліців застосовують порівняно рідко. У автомобільній промисловості цей спосіб застосовується для передачі великих крутних моментів при найменшому бічному зазорі.

Шліци на валах і інших деталях виготовляються різними способами, до яких належать: фрезерування з подальшим шліфуванням, накатка (шліценакатка), протягування, стругання (шліцестругання).

Найбільш поширеним способом виготовлення шліців є фрезерування. Вони продуктивні, дають високий техніко-економічний ефект і, таким чином, є прогресивними. Застосування їх доцільно у великосерійному і масовому виробництвах.

Фрезерування – один з найпродуктивніших методів обробки. Головний рух (рух різання) під час фрезерування – обертальний, його здійснює фреза, рух подачі – зазвичай прямолінійний. Фрезеруванням можна одержати деталь точністю за 6...12

квалітетом шорсткістю до $Ra = 0,8$ мкм. Фрезерування здійснюється за допомогою багатозубого інструмента фрези.

Фрези за виглядом розрізняють:

Циліндрична фреза із швидкорізальної сталі

- циліндричні,
- торцеві,
- дискові,
- прорізні і відрізні,
- кінцеві,
- фасонні;

За конструкцією:

- цільні,
- складені
- збірні.

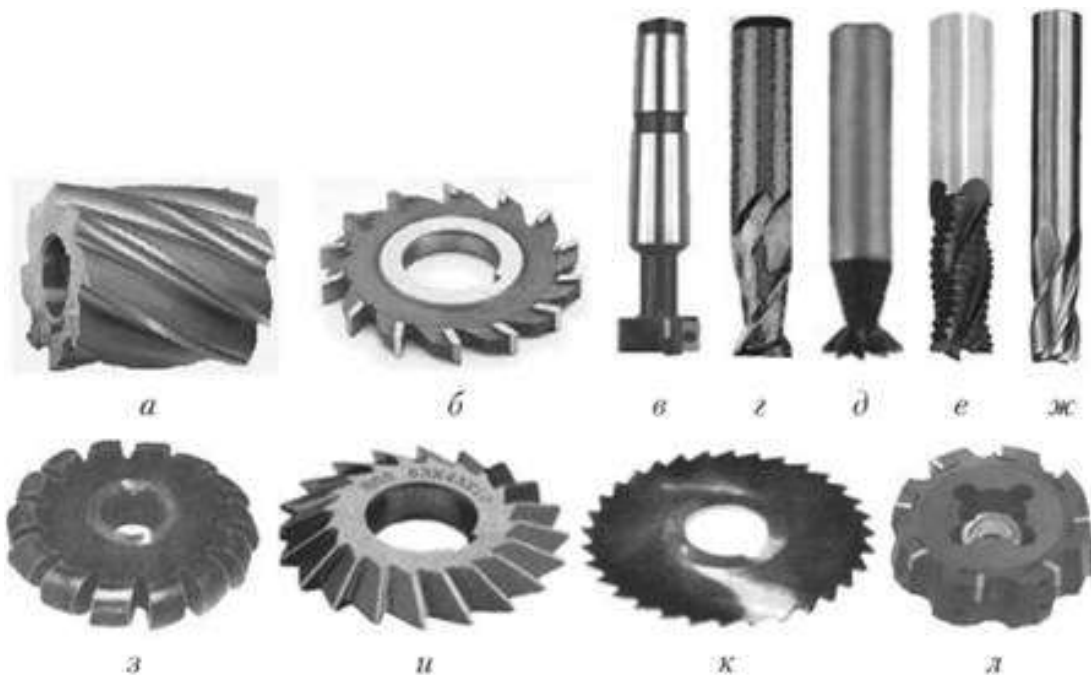


Рис. 6.1. Види фрез

a – циліндрична; *б* – дискова тристороння з прямими зубами;
в – для Т-образних пазів; *г* – кінцева; *д* – кутова для фрезерування пазів типу "ластівчин хвіст"; *e* – хвостова; *ж* – шпонкова; *з* – фасонна опукла для фрезерування напівкруглих шліців і пазів; *и* – призматична насадна;
к – дискова прорізна (шліцьова) і відрізна; *л* – торцева насадна

Фрезерування шліців

Шліци валів невеликих діаметрів (до 100 мм) зазвичай фрезерують за один прохід, великих діаметрів – за два проходи. Чорнове фрезерування шліців, особливо великих діаметрів, іноді проводиться фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах, що мають ділильні механізми.

Фрезерування однієї канавки шліців дисковою фасонною фрезою. Основний час при цьому визначається за формулою:

$$t_o = \frac{l_o + l_{вр} + l_n}{S_{хвил.}} \cdot i,$$

де l_o – довжина нарізуваних шліців, мм;

$l_{вр}$ – величина урізування.

$$l_{вр} = \sqrt{h(D_{\phi} - h)} + (1 \dots 2),$$

де l_n – величина пробігу, $l = 2 - 5$ мм;

i – число шліців;

h – висота шліца, що фрезерується в даному проході, мм;

D_{ϕ} – діаметр фрези, мм;

$S_{хвил} = S_z \cdot z \cdot n$ – подовжня хвилинна подача;

S_z – подача на зуб фрези, мм;

z – число зубів фрези;

n – число оборотів фрези в хвилину.

Фрезерувати шліци можна способом, що дозволяє застосовувати дешевші фрези, ніж дискові.

Продуктивнішим способом є одночасне фрезерування двох шліцьових канавок двома дисковими фрезами спеціального профілю.

Чистове фрезерування шліців дисковими фрезами проводиться тільки у разі відсутності спеціального верстата або інструменту, оскільки вона не дає достатньої точності по кроку і ширині шліців.

Більш точне фрезерування шліців проводиться методом обкатки за допомогою шліцьової черв'ячної фрези. Фреза крім обертального руху має подовжнє переміщення уздовж осі нарізуваного валу. Цей спосіб є найбільш продуктивним.

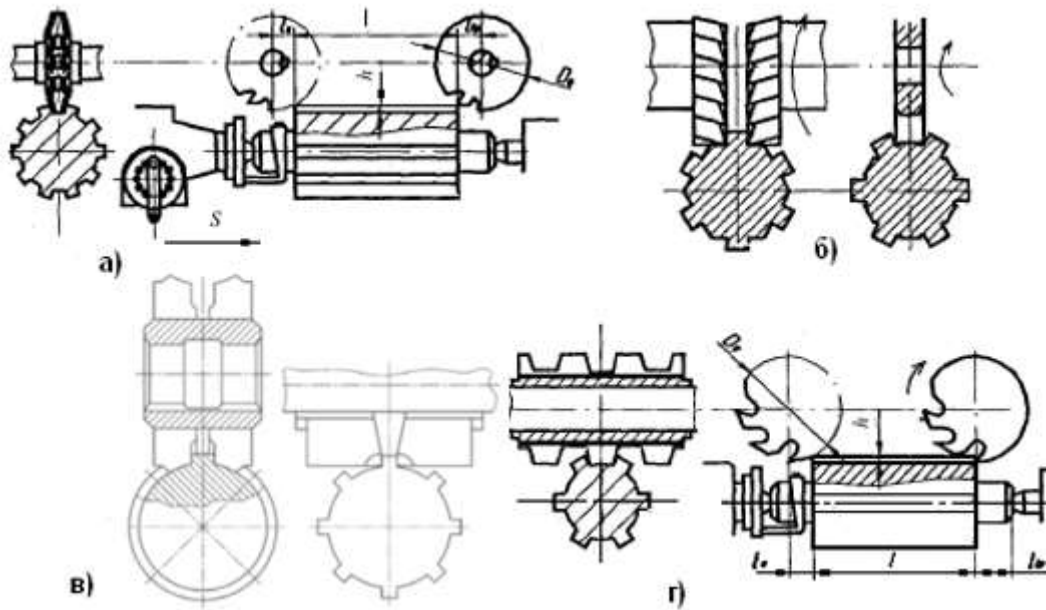


Рис. 6.2. Способи фрезерування шліців валів
а – шліцьовою дисковою фрезою; б – двома фрезами; в – двома дисковими спеціальними та торцевими фрезами; г – шліцьовою черв'ячною фрезою

Визначення основного часу в цьому випадку проводиться за формулою:

$$t_o = \frac{l_o + l_{вр} + l_{п}}{S_o \cdot n_{ф} \cdot q} \cdot z \cdot i,$$

величина урізування

$$l_{вр} = (1,1 \dots 1,2) \sqrt{h(D_{ф} - h)},$$

де h – висота шліця, мм;

$D_{ф}$ – діаметр черв'ячної фрези, мм;

l_n – величина перебігу, $l_n = 2 - 5$ мм;

z – число нарізованих шліців;

i – число ходів; зазвичай $i = 1$;

S_o – подача фрези на один оборот нарізованого валу, мм;

$S_{хвил} = S_z \cdot z \cdot n$ – подовжня хвилинна подача;

n – число оборотів фрези в хвилину;

q – число заходів черв'ячної фрези.

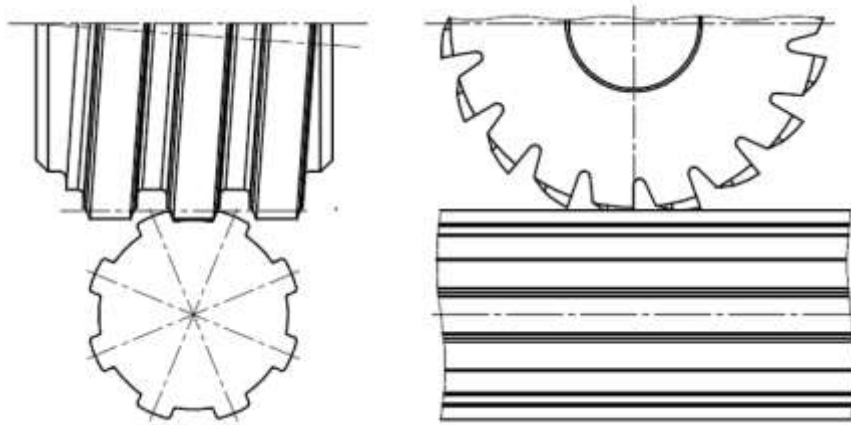


Рис. 6.3. Фрезерування шліців методом обкатки

При центруванні втулки (або зубчатого колеса) по внутрішньому діаметру шліців валу як черв'ячна, так і дискова фреза повинна мати «вусики», що вирізують канавки у основі шліца, щоб не було заїдання во внутрішніх кутах; ці канавки необхідні також при шліфуванні по бокових сторонах і внутрішньому діаметру.

Шліфування шліців

При центруванні шліцьових валів по зовнішньому діаметру шліфують тільки зовнішню циліндричну поверхню валу на звичайних круглошліфувальних верстатах; шліфування западини (тобто по внутрішньому діаметру шліців валу) і бокових сторін шліців не застосовується.

При центруванні шліцьових валів по внутрішньому діаметру шліців фрезерування останніх дає точність обробки по внутрішньому діаметру до 0,05 – 0,06 мм, що не завжди є достатнім для точної посадки.

Якщо шліцьові вали після чорнового фрезерування пройшли термічну обробку у вигляді поліпшення або загартування, то після цього вони не можуть бути профрезеровані начисто; необхідно шліфувати по поверхнях западини (тобто по внутрішньому діаметру) і бокових сторін шліців. Найбільш продуктивний спосіб шліфування фасонним кругом (рис. 4, а). При такому способі шліфування круг зношується нерівномірно зважаючи на неоднакову товщину шару, що знімається, у бокових сторін і западин валу, тому потрібна часта правка круга. Не дивлячись на це, даний спосіб широко поширений в машинобудуванні.

Шліфувати шліци можна в дві окремі операції (рис. 6.4, б), в першій шліфують тільки западини (по внутрішньому діаметру), а у

другий – бокові сторони шліців. Для зменшення зносу шліфувального круга після кожного ходу столу вал повертається і, таким чином, шліфувальний круг обробляє западини поступово одну за іншою. Зазвичай вал повертається автоматично після кожного подвійного ходу столу верстата. Але такий спосіб шліфування менш продуктивний, чим перший.

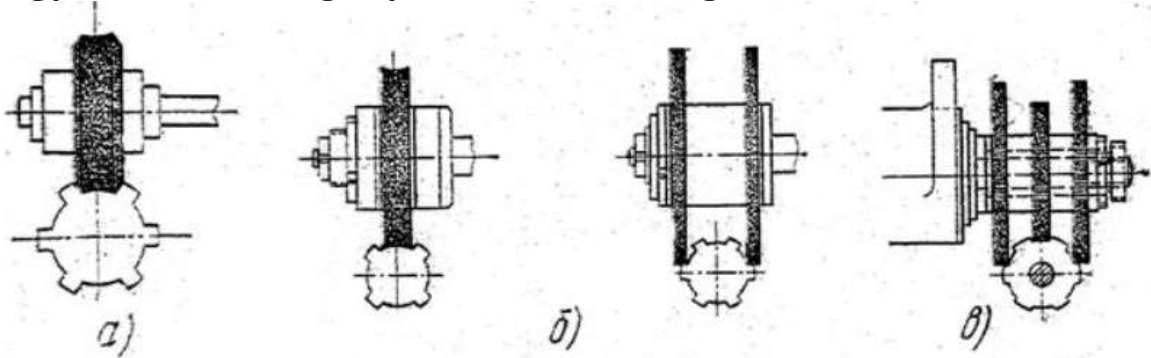


Рис. 6.4. Способи шліфування шліців валів
а – фасонним кругом; б – в дві операції – одним і двома кругами;
в – трьома кругами

Для об'єднання двох операцій шліфування в одну застосовуються верстати, на яких шліци шліфують одночасно трьома кругами; один шліфує западину, а два інших – бокові поверхні.

На рисунку 6.5 дана схема правки трьома алмазами фасонного шліфувального круга.

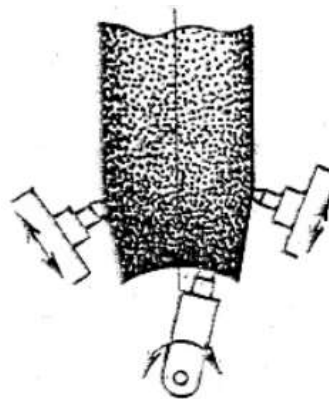


Рис. 6.5. Схема правки фасонного шліфувального круга

Основний час при шліфуванні шліців визначається за формулою:

$$t_o = \frac{l_o + l_{вр} + l_{п}}{1000v_{ст}} \cdot z \cdot i \cdot k,$$

де l_0 – довжина шліфованих шліців, мм;

$l_{вр}$ – величина урізування, мм.

$$l_{вр} = \sqrt{h(D_{\phi} - h)} + (10 \dots 15),$$

де l_n – величина перебігу, $l_n = 5 - 10$ мм;

h – висота шліца, мм;

D_{ϕ} – діаметр шліфувального круга, мм;

z – число шліців.

$$i = \frac{h_{п}}{S_{в}},$$

де i – число ходів;

$h_{п}$ – припуск на шліфування, мм;

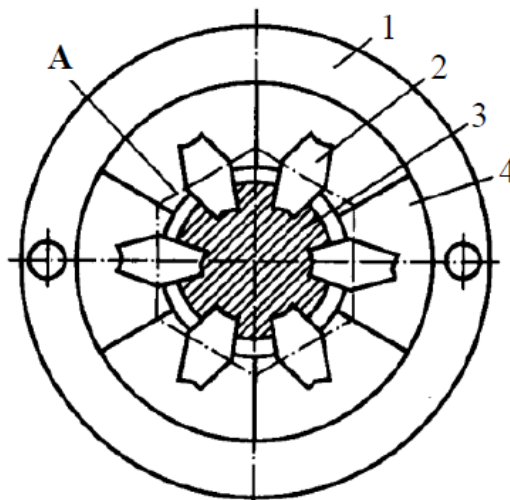
$S_{в}$ – вертикальна подача – глибина шліфування – на один хід столу, мм;

k – поправочний коефіцієнт при шліфуванні; $k = 1.15 - 1.5$;

$v_{см}$ – швидкість столу, м/хв.

Накатка шліців

Накатка шліців без нагріву деталі здійснюється роликами, що мають профіль, відповідний формі поперечного перетину шліців. Ролики (діаметром 100 мм), що обертаються на осях, поодиноці на кожен шліц розташовані радіально в сегментах масивного корпусу накатної головки (рис. 6.6).



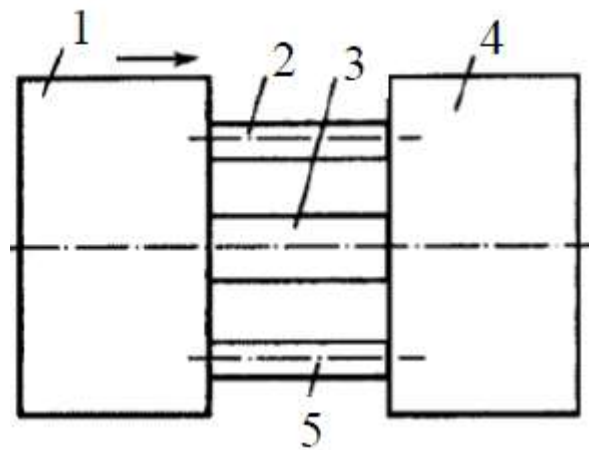
1 – корпус; 2 – накатний ролик; 3 – оброблювана деталь;

4 – сегмент

Рис. 6.6. Схема накатної головки для шліценакатного верстата

При пересуванні головки по деталі ролики, що вільно обертаються, вдавлюючись в поверхню валу, утворюють на ній шліци відповідні профілю ролика форми. Всі шліци накатуються одночасно, без обертання деталі.

На спеціальних верстатах для накатки шліців накатна головка розміщується на санчатах, для яких направляючими служать вали, що сполучають дві масивні стойки. Санчата переміщаються приводом від гідроциліндру, розташованого в задній стойці. У передній стойці знаходиться гідравлічний затискний патрон, в якому закріплюється оброблювана деталь. Кожен ролик незалежно регулюється на необхідну висоту. Головка як самостійний вузол знімається із верстата, не порушуючи розташування роликів. На зміну роликів витрачається 5 – 10 хв., на наладку верстата – близько 30 хв.



1 – накатна головка; 2 і 5 – вали; 3 – оброблювана деталь;
4 – гідравлічний затискний патрон

Рис. 6.7. Схема розташування накатної головки, затискного патрона і оброблюваної деталі при накатці шліців

На таких верстатах найбільше число накатаних шліців доходить до 18, найменше складає 6 – 8 (на валах діаметром 16 мм). Подовжня подача до 15 мм/с. Отримувана точність шліців по кроку 0,04 мм, непрямолінійність не перевищує 0,04 мм на 100 мм довжини.

Основний час при накопленні шліців визначається за формулою:

$$t_o = \frac{L + l}{S_m},$$

де L – довжина накопчених шліців, мм;

l – величина перебігу ролика, мм;
 S_m – хвилинна подача при накатці, мм.

Процес накатки продуктивний, оскільки всі шліці накатуються одночасно, при малій витраті часу, з достатньо високою точністю.

Накатка шліців також може відбуватися в інший спосіб (рис. 6.8, 6.9).

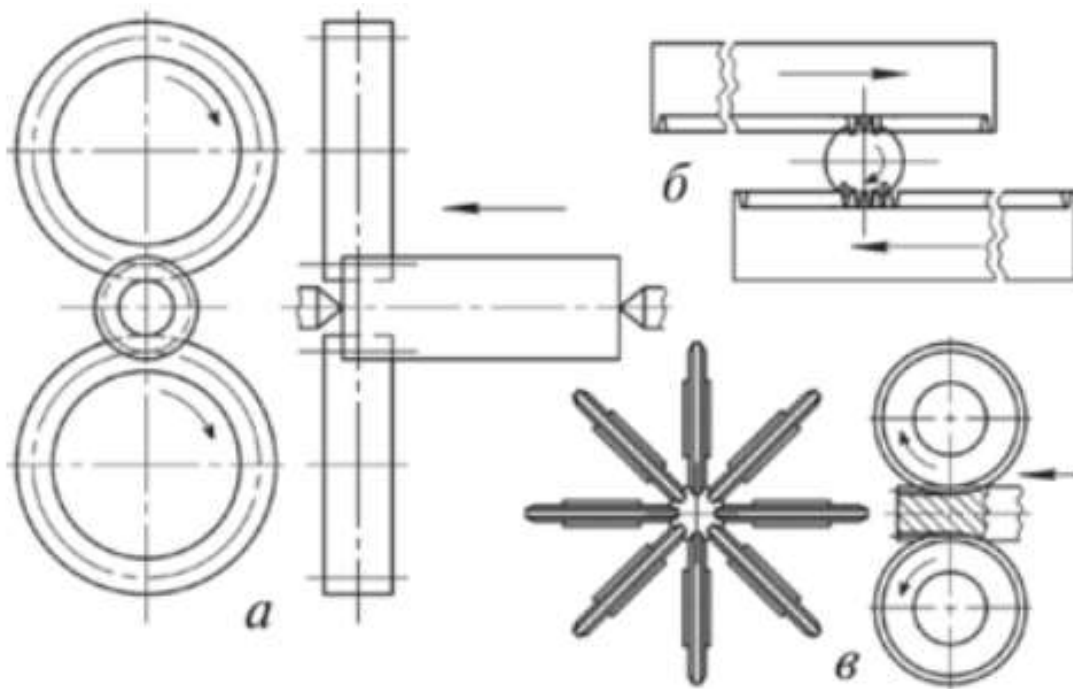
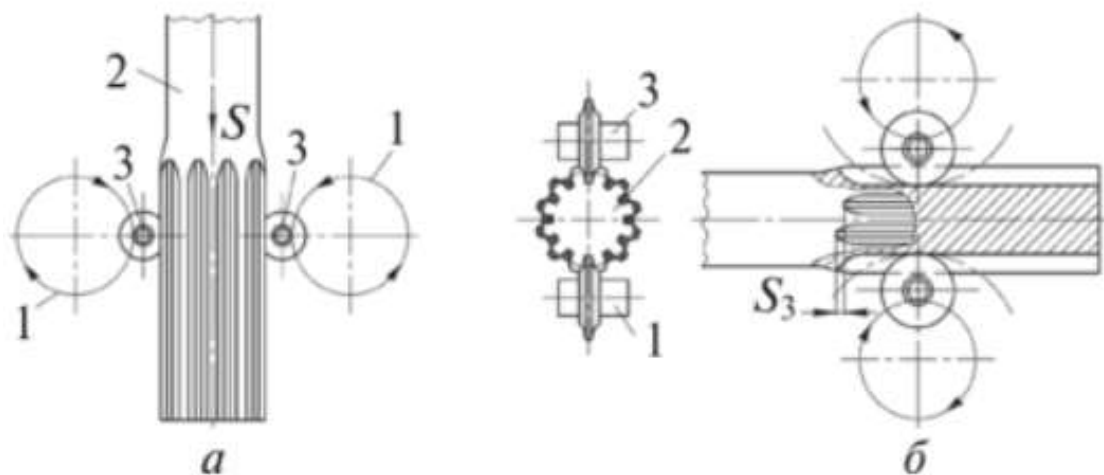


Рис. 6.8. Схеми наочування шліців круглими роликами (а), рейками (б), багатороликовою головою (в)



1 – траєкторія руху роликів та заготівлі; 2 – заготівля 3 – ролики

Рис. 6.9. Схема наочування шліців планетарним методом:
а – схема руху роликів та заготівлі; б – схема формування шліців

Протягування і стругання шліців

Одним з методів виготовлення шліців на поверхні валів або подібних деталей є протягування їх на горизонтально-протяжних верстатах із застосуванням спеціального пристосування.

Для протягування наскрізних шліців застосовується спеціальна протяжка з ніжками, профіль ріжучої частини якої відповідає формі шліца. Кожен шліц протягується по черзі за допомогою ділильного пристрою.

При протягуванні некрізних шліців використовується блокова протяжка, в якій ріжучі зуби мають незалежне взаємне переміщення в радіальному напрямі.

Конструкція блокової протяжки для протягування некрізних шліців на горизонтально-протяжному верстаті за допомогою спеціального пристосування.

У корпусі блоку встановлюються по ковзаючій посадці ножі прямокутного перетину. Форма ріжучої частини ножа відповідає профілю шліца. Кожен ніж має незалежне переміщення уздовж паза блоку. Підтискна планка регулює зазор, необхідний для ковзання ножів в блоці. Повзуни з'єднуються з ножами тягою; осі роликів закріплені в повзунах; пружини за допомогою тяги притискують ролики до копірної лінійки. В кінці робочого ходу кожного ножа копір відводять ролик і виводить ніж з оброблюваної деталі. Ножі заточуються в спеціальному пристосуванні комплектно.

Процес виготовлення шліців на валах (або інших деталях) струганням (шліцеструганням) аналогічний процесу довбання зубів зубчатих коліс методом копіювання за допомогою багаторізцевої головки. В цьому випадку всі шліци також обробляються одночасно набором профільних різців, число яких рівне числу западин оброблюваного шліцевого валу. Оброблювана деталь, розташована вертикально, рухається поворотно-поступально; при кожному ході вгору вона входить всередину нерухомої різцевої головки, в радіальних пазах якої розміщені різці. Всі різці одночасно нарізують шліци, отримуючи радіальну подачу на подвійний хід оброблюваної деталі. При зворотному ході деталі (вниз) різці в головці відходять в радіальному напрямі, щоб уникнути тертя задніх поверхонь різців об оброблювану поверхню.

Процес шліцестругання продуктивний і може бути застосований у великосерійному і масовому виробництвах при дуже великому випуску однакових деталей, оскільки для кожного числа

шліців повинен бути виготовлений комплект спеціальних різців. Найвигідніше застосовувати його для обробки шліців з припуском під шліфування.

Виготовляються спеціальні шліцестругальні верстати – напівавтомати моделі МА-4В, які можуть бути використані як окремо працюючі верстати або, що особливо ефективно, вбудованими в автоматичну лінію.

Робота верстатника на таких верстатах зводиться лише до установки і знімання оброблюваної деталі. Решта всіх рухів, зокрема відведення стружки із зони різання, включення і виключення охолодження, закриття і відкриття огорожі, автоматизовані.

Головний рух, рухи подачі і відведення різців здійснюються гідравлічним приводом. Затиск заготовки в центрах проводиться гідроциліндром. Для установки і знімання різцевої головки верстати мають підйомний пристрій.

На верстатах вказаної моделі можна обробляти вали зі наскрізними і глухими шліцями діаметром від 25 до 60 мм при довжині западини, що прорізається, від 70 до 370 мм і найбільшій глибині 3,5 мм.

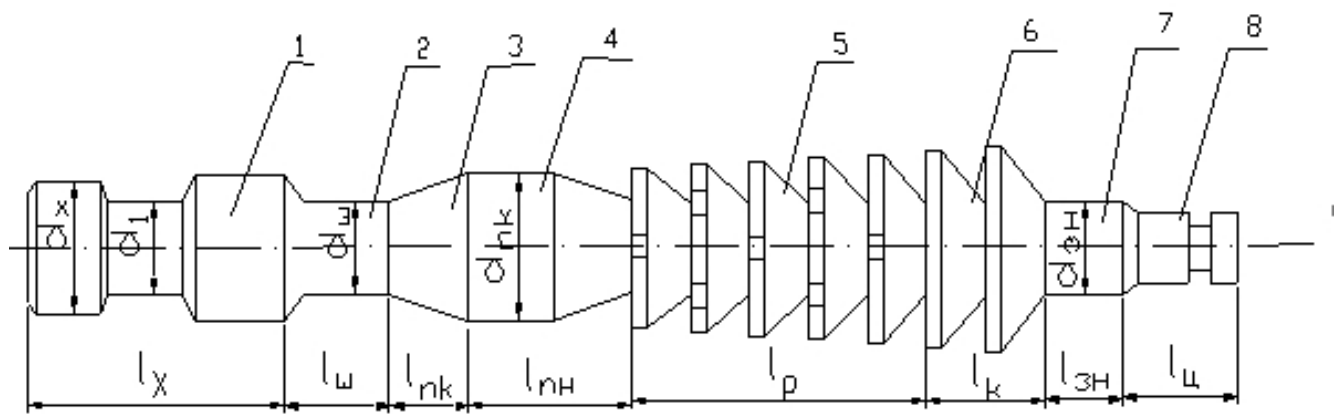
Відстань між центрами верстата 445 мм; швидкість робочого ходу 22 м/хв., зворотного 28 м/хв., діапазон безступінчастих подач 0,03 – 0,15 мм/подв. хід; номінальна тягова сила верстатів 3000 кГ (29430 Н); потужність електродвигуна головного приводу 14 кВт, число оборотів в хвилину 1000.

Продуктивним методом обробки шліців є одночасне довбання всіх западин шліців спеціальною багаторізцевою головкою, аналогічно для довбання зубчатого колеса.

Обробка шліцевих отворів

Обробка шліцевих поверхонь в отворах втулок, зубчатих коліс і інших деталей проводиться зазвичай протягуванням. Спочатку отвір і іноді торець обробляються заздалегідь, потім отвір протягується круглою протяжкою і потім шліцевою протяжкою – звичайною або прогресивною.

Шліцеві отвори діаметром до 50 мм протягуються зазвичай однією комбінованою протяжкою.



1 – хвостовик; 2 – шийка; 3 – перехідний конус; 4 – передня напрямна частина; 5 – ріжуча частина; 6 – частина, що калібрує; 7 – задня напрямна частина; 8 – опорна цапфа

Рис. 6.10. Схема круглої протяжки

Шліцьові канавки у виїмці утворюють зубці протяжки, що мають форму різальних крайок. Ріжуча поверхня являє дугу кола, що допомагає протяжке знімати відразу повний переріз стружки.

Якщо втулка або зубчате колесо піддається термічній обробці, то після цього на внутрішньошліфувальному верстаті шліфується циліндрична поверхня отвору, яка сполучається з дном западини шліців валу (при centruванні по внутрішньому діаметру шліців валу).

Протягування гвинтових шліців отворів відрізняється від протягування звичайних отворів тим, що в процесі роботи рух ріжучих кромek зубів протяжки повинен здійснюватися по гвинтовій лінії, що досягається поєднанням поступальної і обертальної ходи двома способами.

Перший спосіб – обидва рухи передаються протяжці при нерухомій деталі.

Другий спосіб – поступовий рух передається протяжці, а обертальний – деталі.

Обертальний рух можна отримати або безпосередньо шляхом самообертання її силами різання, або примусово спеціальним механізмом.

Самообертання протяжки застосовується при невеликих кутах нахилу на гвинтовій лінії шліців (до 10^0) і невисоких вимогах до точності кроку.

Примусове обертання може бути надано або протяжці, або деталі. Механізми для обертання протяжки є конструктивно простішими, ніж механізми для обертання деталі.

При невеликих отворах обертання протяжки здійснюється двома пальцями, що входять в канавки протяжки. Пальці розміщуються у втулці, яка закріплена в опорному кільці пристосування. Протяжка з'єднується зі шпинделем верстата патроном. При отворах великих розмірів ($d > 15$ мм) обертання протяжки відбувається завдяки виступам в отворі спеціальної гайки, яка входить в направляючі пази протяжки. Гайка закріплена в опорному кільці пристосування. Протяжка з'єднується патроном зі шпинделем верстата.

У супорті верстата встановлюють рейку, що зчіплюється із зубчатим колесом. Одним кінцем рейка через ролик притискається до копіювальної лінійки, закріпленої на станині під кутом α , який визначається за формулою:

$$\tan \alpha = \frac{\pi D}{T},$$

де D – діаметр початкового кола колеса;

T – крок притягуваних гвинтових шліців.

Змінюючи кут установки копіювальної лінійки, можна протягувати гвинтові шліці з різними значеннями кроку T .

6.2 Різноманітність обробки корпусних деталей

Конструктивні різновиди корпусних деталей машин різноманітні. До корпусних деталей відносяться корпуси циліндричних, конічних, черв'ячних і комбінованих редукторів, коробки швидкостей різних машин, блоки циліндрів двигунів внутрішнього згорання і т.п.

Заготовки корпусних деталей виготовляють, як правило, литими (з чавунів, алюмінієвих сплавів, сталей), рідше зварними, тому що зварені деталі дуже довго і повільно старіють і, поступово старіючи, викривляються, що приводить до порушення точності.

Технічні умови виготовлення корпусних деталей машин визначаються їх призначенням забезпечувати задане положення елементів механізму. Особливості деталей цього класу

характеризуються наявністю основних отворів під опори і плоских елементів, що є монтажними базами.

Для корпусних деталей характерна наявність точних базових поверхонь, а також основних і кріпильних отворів. Базовими поверхнями корпуси стикаються з іншими вузлами і ці конструкторські бази бажано приймати за чистові технологічні бази. Базові поверхні оброблюють з відхиленням від прямолінійності 0,05–0,2 мм на всій довжині і з шорсткістю Ra 4–0,63 мкм.

Основні отвори призначені для монтажу опор валів. Точність діаметрів основних отворів відповідає 7-му, рідше 8-му квалітетові, шорсткість поверхонь – Ra 2,5–0,63 мкм. Допуски на міжцентрові відстані основних отворів і перпендикулярність осей – 0,04–0,06 мм і точніші; відхилення від співвісності отворів – у межах половини допуску на діаметральний розмір співвісних отворів; не перпендикулярність торцевих поверхонь до осей отворів допускається в межах 0,1–1 мкм на 1 мм радіуса.

Цього досягнути дуже важко, особливо точності міжцентрових відстаней, співвісності, взаємного положення отворів.

На діаметральні розміри основних отворів задаються допуски в межах 1 – 3-го класу точності. Похибки геометричної форми отворів не повинні виходити за межі 0,5 – 0,7 поля допуску. Допуски на міжосьові відстані основних отворів і перпендикулярність осей отворів задаються відповідно до призначення корпусних деталей: для корпусів, в яких вмонтовуються зубчаті і черв'ячні передачі – в межах 0,04 – 0,06 до десятих долей міліметра.

Відхилення від співвісності отворів призначаються в межах половини допуску на діаметральний розмір меншого отвору.

Обробка основних отворів корпусних деталей виконується по 6 – 8 класу чистоти поверхні.

Неперпендикулярність поверхонь торців до осей отворів допускається в межах 0,1 – 1,0 мкм на 1 мм радіусу. Чистота цих поверхонь задається по 5 – 6 класу.

Відхилення від прямолінійності плоских поверхонь встановлюється в межах 50 – 200 мкм на 100 мм довжини. Чистота плоских поверхонь роз'єму – не меншого 5 – 7 класу чистоти.

Матеріали, які застосовують для виготовлення корпусних деталей: сірий чавун, лита сталь, алюмінієві сплави для литих корпусів; низьковуглецева сталь для зварних корпусів.

Види заготовок: виливки з сірого чавуну за ДСТУ 8833:2019, відливки з вуглецевої сталі за ДСТУ 8781:2018, виливки з алюмінієвих сплавів за ДСТУ ISO 209-1:2002, зварні конструкції.

Специфічні технологічні завдання, що виникають при обробці корпусних деталей, характеризуються тим, що повинні бути забезпечені у встановлених межах відхилення:

- а) паралельність або перпендикулярність осей основних отворів один одному і плоским поверхням;
- б) співвісність отворів для опор валів;
- в) задані міжосьові відстані;
- г) правильність геометричної форми отворів;
- д) перпендикулярність поверхонь торців осей отворів;
- е) прямолінійність плоских поверхонь.

Базування заготовок. Поєднання настановної, вимірювальної і складальної баз при постійності вибраної бази в значній мірі полегшує рішення складних технологічних задач, що виникають при обробці корпусних деталей. Для обробки поверхонь, які є базовими, за первинну базу слід приймати чорні основні отвори деталі, що забезпечить найбільш рівномірний розподіл припусків при подальшій обробці отворів.

У ряді випадків передбачаються як первинні бази спеціальні приливи і бобишки.

При виготовленні корпусних деталей призматичного типу широко використовується базування по плоскій поверхні і двом отворах. Базування корпусних деталей виконується з урахуванням їх конструктивних форм і технології виготовлення. Найчастіше коробчасті корпуси базують по плоскій поверхні і двох отворах, виконаних за 7-м квалітетом точності (рис. 6.11). Ці отвори найчастіше є допоміжними базами, в які входять установочні пальці пристрою – циліндричний і ромбічний.

Корпуси призматичної форми, у котрих отвори малі, а бокові зовнішні поверхні оброблюються, базуються по трьох зовнішніх поверхнях. Іноді, коли в корпусі оброблюються внутрішні поверхні, за чистові технологічні бази приймають одну зовнішню і дві внутрішні поверхні.

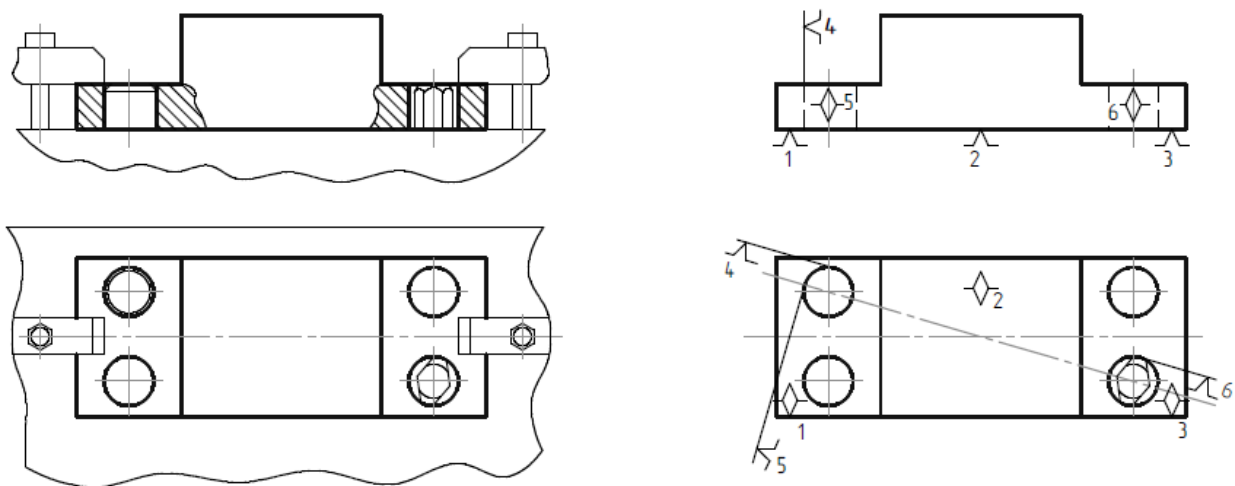


Рис. 6.11. Базування корпусної заготовки на площину і два отвори

Похибки установки. При суміщених настановній і вимірювальній базах похибки базування не має і похибка установки визначається похибкою закріплення. При змінних базах похибка базування визначається побудовою розмірного ланцюга.

Просторові відхилення як в литих заготовках, так і в зварних конструкціях характеризуються зсувом і відведенням осей основних отворів, що виникають в процесі лиття або зварки, а також деформаціями заготовок. Просторові відхилення заготовок, як відомо, закономірно зменшуються в процесі механічної обробки, залишаються достатньо відчутними після чорнових і напівчистових операцій. Разом з тим в процесі механічної обробки, особливо після чорнових операцій, виникають деформації в результаті перерозподілу внутрішньої напруги, що відбувається у зв'язку з видаленням верхніх шарів металу.

Таким чином, просторові відхилення в процесі механічної обробки є сукупністю залишкових просторових відхилень чорнкової заготовки і деформацій, що виникають в процесі обробки.

Ці просторові відхилення порушують рівномірність, що видаляється при обробці шару металу, впливають на геометричну форму обробленої поверхні і впливають на похибка розміру, що витримується (на величину Δu). Безпосередньо впливають ці просторові відхилення на величину припусків.

Визначаючи залишкові просторові відхилення, залежно від методу обробки, і враховуючи деформацію заготовки в результаті перерозподілу внутрішньої напруги, приймаємо для розрахунку

припусків на обробку залишкові просторові відхилення з коефіцієнтом 2.

Технологія механічної обробки і обладнання, яке застосовується

В першу чергу обробляють базові поверхні корпусу і кріпильні отвори, які можуть бути використані при подальшій установці, потім обробляють всі плоскі поверхні і основні отвори. При цьому для корпусів нежорсткої конструкції застосовують повторну (перевірочну) обробку базових поверхонь після чорнової обробки всіх плоских поверхонь і основних отворів корпусу.

На основі розрахунку припусків встановлюють необхідність і доцільність включення в технологічний процес напівчистої обробки.

Проте, враховуючи закономірність зменшення погрешностей форми і просторових відхилень, зазвичай проводять чорнову і чистову обробку і обмежуються одноразовою обробкою лише для дуже жорстких конструкцій корпусів при точних методах виконання заготовок.

Остаточна обробка – шліфування або тонка обробка лезовим інструментом – проводиться в тому ж порядку – спочатку плоских поверхонь, а потім основних отворів.

Залежно від методів виконання литих заготовок, їх обробка проводиться по повній або частковій розмітці, або без розмітки, в пристосуваннях.

Зварні конструкції корпусів виконуються або з деталей, що не піддавалися обробці, або з деталей, заздалегідь оброблених.

У першому випадку, корпуси проходять чорнову, напівчистову і чистову обробку. При цьому, залежно від об'єму виробництва і точності виконання зварювальних робіт, обробка корпусів проводиться або по розмітці, або в пристосуваннях. При другому випадку елементарні поверхні корпусів піддаються тільки чистовій обробці без розмітки, оскільки зварювання таких корпусів проводиться в пристосуваннях, що забезпечують достатню точність взаємного положення їх елементів. При цьому установка великогабаритних корпусів проводиться з вивірянням по оброблених до зварювання поверхнях, а обробка корпусів невеликих габаритів проводиться в пристосуваннях.

Плоскі поверхні корпусів в серійному виробництві обробляють на багатосупортних продольно-стругальних верстатах або на

багатошпиндельних подовжньо-фрезерних верстатах. У масовому виробництві вони обробляються на протяжних верстатах, на багатошпиндельних фрезерних верстатах безперервної дії з карусельними столами (типу 623В) або з барабанами (типу 6022). На двох останніх типах верстатів застосовують зазвичай паралельно-послідовний метод чорнової і чистової обробки.

У серійному виробництві операції обробки плоских поверхонь корпусних деталей на подовжньо-фрезерних верстатах доцільно будувати по методу «перекладання деталей». Він полягає в тому, що кожна деталь партії перевстановлюється в пристосуваннях послідовно в декілька положень з таким розрахунком, щоб зробити доступними для обробки плоскі поверхні, розташовані з різних боків (верх, низ, боки, торці).

Така побудова операції дозволяє краще використовувати фрезерні головки верстата, довжину ходу і поверхню столу і дозволяє зняти при кожному робочому ході одну оброблену по всіх плоских поверхнях деталь, усуваючи тим самим необхідність в переналагодженні верстата і пролежуванні оброблених заготовок між операціями при партійній роботі.

Найбільш доцільна робота з перекладанням деталей при обробці комплекту корпус-кришка для роз'ємних конструкцій корпусних деталей. Продумана схема групової обробки з перекладанням обох деталей дає можливість знімати після кожного ходу столу верстата комплект, готовий для запуску в подальшу обробку.

У ряді випадків можливе складання наладок з перекладанням деталей двох – трьох різних найменувань.

Плоскі поверхні корпусів великих розмірів обробляють на портально-фрезерних верстатах з порталом, що несе фрезерні головки і що переміщається щодо встановленої на нерухомій плиті заготовки.

Базові поверхні корпусних деталей невеликих розмірів обробляють на обдирно-шліфувальних верстатах з вертикальною віссю обертання.

Остаточна обробка плоских поверхонь корпусів проводиться:

- а) шліфуванням на плоскошліфувальних верстатах;
- б) тонким струганням широким різцем;
- в) тонким фрезеруванням;
- г) шабруванням.

Обробку основних отворів корпусів проводять, залежно від заданого випуску на універсальних горизонтально-розточувальних верстатах або на агрегатних багатошпиндельних верстатах, що у ряді випадків об'єднуються в автоматичні верстатні лінії.

Діаметральні розміри отворів отримують обробкою відповідним мірним інструментом (розгортки, розточувальні блоки і розточувальні головки), встановлені в потрібному комплекті на розточувальних оправках або борштангах, а також односторонньо розташованими різцями з точним мікрометричним регулюванням на розмір.

Точність міжосьових відстаней, паралельність і перпендикулярність осей і інші вимоги до розташування отворів забезпечуються двома методами:

- 1) обробкою отворів з напрямом інструменту в кондукторів;
- 2) обробкою отворів без напрямку інструменту, з використанням універсальних способів координації положення інструменту.

У масовому і великосерійному виробництві основні отвори корпусних деталей обробляють на багатошпиндельних верстатах при паралельних і паралельно-послідовних схемах побудови операції, одночасно з двох або трьох сторін заготовки. Необхідне положення отворів забезпечується відповідно розташованими в агрегатних головках шпинделями, кожний з яких з'єднується з розточувальною качалкою, що направляється кондукторними втулками настановного пристосування. При обробці на агрегатних верстатах доцільно розділяти чорнову і чистову обробку на дві операції, що виконуються на двох агрегатних верстатах автоматичної лінії або на два переходи, що виконуються на двох робочих позиціях агрегатного верстата потокової лінії. Іноді у великосерійному виробництві умови завантаження верстатів вимагають створення наладок, що дозволяють при незначних витратах часу на переналагодження виконувати обидві операції на одному верстаті.

Основні отвори корпусів невеликих габаритних розмірів можуть бути оброблені на вертикально-свердлильних верстатах із застосуванням кондукторів і багатошпиндельних головок і на радіально-свердлильних верстатах із застосуванням поворотних кондукторів.

У серійному виробництві основні отвори в корпусних деталях обробляються на універсальних горизонтально-розточувальних

верстатах з напрямом інструменту по кондукторові. Отвори обробляються одним шпинделем, послідовно сполученим з розточувальними качалками, кожна з яких оснащена інструментом для обробки отворів на своїй осі. Міжосьові відстані і паралельність осей забезпечуються переміщенням столу і напрямом розточувальної качалки по кондукторові. Перпендикулярність осей отворів виходить за рахунок повороту столу верстата.

В цілях підвищення продуктивності праці при роботі на розточувальних верстатах застосовують багатошпиндельні розточувальні головки для одночасної обробки декількох отворів з паралельними осями. Ця головка отримує обертання від шпинделя верстата, а її шпинделі, розташовані відповідно отворам, що розточуються, передають моменти, що крутять, розточувальним качалкам.

У всіх випадках обробки з напрямом інструменту по кондукторних втулках на агрегатних верстатах і на універсальних розточувальних верстатах оброблювані корпуси встановлюються в кондукторові на настановні пальці по двох спеціально обробленим для цього, розташованим на плоскій поверхні підстави, базовим отворам.

Без напряму інструменту обробляються отвори в дрібносерійному і одиничному виробництві корпусних деталей, коли застосовувати розточувальний кондуктор недоцільно. В цьому випадку заготовки поступають на розточувальну операцію після операції розмітки.

При установці заготовки на столі горизонтально-розточувального верстата при обробці отворів виконується наступне:

- 1) установка і вивіряння корпусу на столі верстата, при якій осі розмічених отворів будуть паралельні осі шпинделя;
- 2) поєднання осі шпинделя з віссю першого отвору, що розточується;
- 3) обробка отворів на першій осі;
- 4) переміщення столу з оброблюваною деталлю на задану міжосьову відстань до осі другого отвору, що розточується;
- 5) обробка отворів на другій осі й т.д.

Перпендикулярність осей отворів, що розточуються забезпечується поворотом столу верстата із закріпленою на ньому заготовкою.

Установка шпинделя для обробки отворів, розташованих на іншій висоті, проводиться переміщенням коробки шпинделя по колоні верстата. Точність відліку переміщень столу верстата або його коробки шпинделя залежить від заданого допуску на міжосьову відстань.

Допуск 0,1 – 0,2 мм забезпечується при відліку переміщень за шкалами верстата; для витримки жорсткіших допусків в ланцюг відліку переміщень у напрямі осі координат включаються точніші прилади, зазвичай індикатори.

У важкому машинобудуванні застосовуються, окрім розточувальних верстатів з рухомим столом, розточувальні верстати з нерухомим столом, у яких всі необхідні робочі рухи здійснює колонка шпинделя.

Обробка найбільш важких корпусів, що виконується на верстатах з нерухомим столом, зв'язана з вельми великими витратами часу, особливо допоміжного часу, який в несприятливих випадках складає 60 – 80 % від штучного часу. Робота на цих верстатах ускладнюється необхідністю при переході до наступної осі, яку розточують, переміщати колонку шпинделя, задню люнетну стійку і борштангу в положення нової осі, витримуючи при цьому високу точність переміщень.

Після кожного переміщення борштанги повинна бути вивірена на співвісну шпинделем, на розмір міжосьової відстані і паралельність своєму колишньому положенню. Перпендикулярність осей отворів забезпечується переустановленням корпусу і новим його вивірянням щодо осі шпинделя.

Розточувальні операції, що виконуються на цих верстатах, зазвичай не розділяються на попередні і чистові і виконуються при одній установці; тільки після виконання всіх переходів і після досягнення заданих розмірів і чистоти поверхонь отворів переходять до обробки отворів на наступній осі.

В цілях економії часу бажано застосування короткого розточувального облямовування, яке не вимагає другої опори, замість довгої борштанги, що вимагає тривалого вивіряння при установці в підшипнику задньої люнетної стійки.

Робота розточувальною оправкою можлива при співвідношенні її довжини l і діаметру d в межах $l \leq 5 - 6d$.

Вимірювання отворів, що розточуються, проводять без виведення борштанги з отвору, користуючись при цьому

інструментами, що встановлюються на борштанзі або дозволяють обійти її.

Основні отвори великогабаритних корпусів, що виготовляються невеликими серіями, можна обробляти за допомогою переносних розточувальних головок, що встановлюються поряд з оброблюваним корпусом, на тому ж плитковому настилі для паралельної обробки декількох отворів; в цьому випадку отримуємо як би агрегатний верстат, що значно скорочує трудомісткість процесу обробки. Борштанги отримують напрям во втулках універсальних стоек, встановлених на плитковому настилі і які створюють як би збірний розточувальною кондуктор.

Обробка кріпильних і інших отворів в корпусних деталях проводиться залежно від заданого випуску на агрегатних багатошпиндельних верстатах автоматичних або поточкових ліній, на багатошпиндельних свердлильних верстатах або на вертикально-свердлильних верстатах із застосуванням багатошпиндельних головок, або на радіально-свердлильних верстатах в поворотних кондукторах або із застосуванням накладних кондукторів.

Особливості технічного контролю корпусів полягають в перевірці:

- а) прямолінійності і взаємного положення плоских поверхонь, які створюють складальні бази корпусу;
- б) правильності геометричних форм основних отворів;
- в) співвісній отворів;
- г) паралельності осей основних отворів складальним базам;
- д) взаємній паралельності осей основних отворів і відстаней між ними;
- е) взаємній перпендикулярності осей отворів за наявності в корпусі отворів з перпендикулярними осями;
- ж) перпендикулярності поверхонь торців до осей отворів.

Прямолінійність плоских поверхонь перевіряється зазвичай еталонними лінійками. Перевірка взаємного положення плоских поверхонь, які створюють складальну базу корпусу, здійснюється спеціальними плитами на фарбу (8 – 12 плям на квадраті 25 x 25 мм) або щупом.

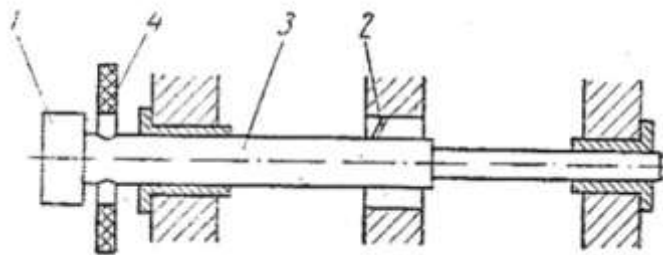
Контроль правильності геометричної форми основного отвору проводиться штихмасом з індикатором або пасиметром або

пневматичним ротаметром зі спеціальною калібровою пробкою до нього.

Співвісність отворів перевіряється зазвичай контрольними оправками, що вставляються безпосередньо в отвори, що перевіряються, або во втулки, якщо перевіряються отвори великих діаметрів.

На рисунку 6.12 показана схема перевірки трьох співвісно розташованих отворів: відхилення від співвісної середнього отвору визначається індикатором 1, зв'язаним штоком і системою важелів зі щупом 2, при повороті контрольної оправки 3 за допомогою рукоятки 4. Для великогабаритних корпусів застосовуються оптичні методи контролю.

Паралельність осей основних отворів складальним базам і розмір, що витримується, від осі до бази контролюють проміром відстаней від осі отворів у кінців корпусу до базової плоскої поверхні.



1 – індикатор; 2 – щуп, пов'язаний з індикатором; 3 – контрольна оправка; 4 – рукоятка для повороту з контрольної оправки

Рис. 6.12. Схема перевірки співвісності отворів

Взаємна паралельність осей основних отворів і відстань H між ними перевіряють за допомогою контрольних качалок і індикаторного приладу (рис. 6.13).

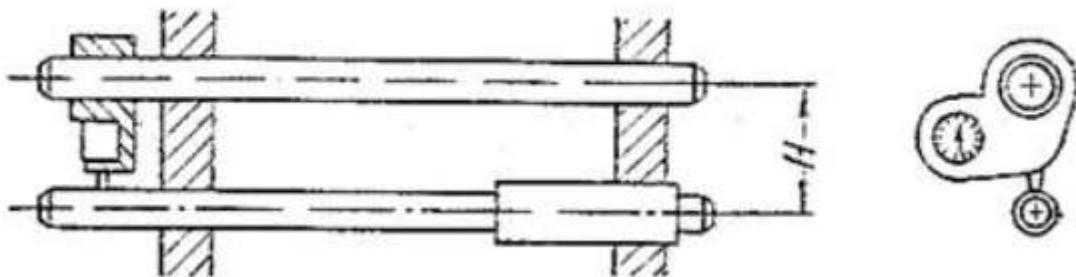


Рис. 6.13. Схема перевірки паралельності осей отворів і відстані між ними

Перпендикулярність осей отворів може бути перевірена, наприклад, по схемі, яка показана на рисунку 6.14. Диск 1 вставляється своїм хвостовиком, що калібрується, в один з отворів; у інший отвір вставляється лінійка 2; по величині зазору між диском і лінійкою у одного з її кінців судять об відхиленні від перпендикулярності. По цій же схемі може бути застосовано і пристосування з двома індикаторами на лінійці.

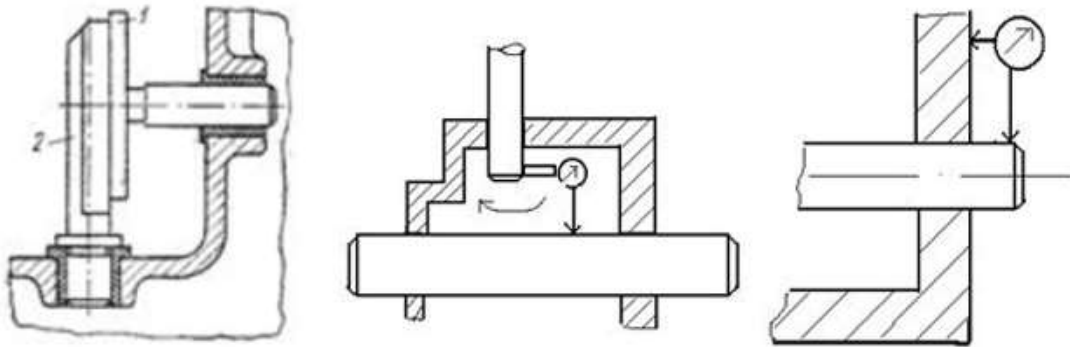
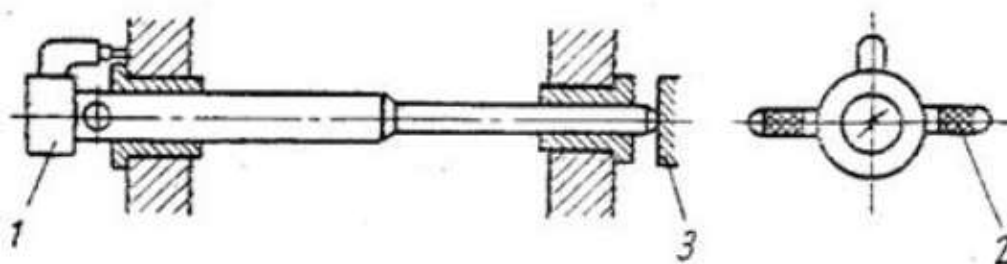


Рис. 6.14. Схеми перевірки перпендикулярності осей отворів

Перпендикулярність поверхонь торців до осей отворів перевіряється за допомогою індикаторного пристосування, шляхом повороту оправки, яка вводиться в отвори і не має можливості переміщатися в осьовому напрямі (рис. 6.15).



1 – індикатор; 2 – рукоятка для повороту оправки; 3 – упор
Рис. 6.15. Схема перевірки перпендикулярності поверхні торця до осі отвору

6.3 Способи нарізування зубів циліндричних шестерень

Види циліндричних шестерень

Циліндричні шестірни за формою можна розділити на:

- 1) прості одновінцеві, типу дисків і втулок, з виступаючою маточиною і без виступаючої маточини;
- 2) блоки шестерень – двовінцеві і багатовінцеві;

- 3) шестірні – вінці (кільцеві шестірні);
- 4) шестірні – вали, одно- і багатовінцеві.

По напрямку зубів на:

- 1) шестірні з прямими зубами;
- 2) шестірні з косими зубами.

По точності зубчатого профілю шестірні всіх видів машин підрозділяються на чотири класи точності.

Шестірні першого класу (особливо точні) призначаються для безшумних передач, що працюють з великими швидкостями (понад 8 м/с для прямозубих і понад 15 м/с для косозубих шестерень), мають коефіцієнт корисної дії не нижче 0,99. Такі шестірні застосовуються в приладобудуванні і особливо відповідальних механізмах в авіаційній і автомобільній промисловості, в турбобудуванні й т.д.

Зуби цих шестерень повинні бути оброблені методом обкатки, відшліфовані для забезпечення чистоти поверхні не нижче за 9-го класу.

Шестірні другого класу (точні) застосовуються для передач зі швидкостями до 10 м/с для прямозубих і до 18 м/с для косозубих пар в менш відповідальних механізмах, чим шестірні першого класу. Такі шестірні зустрічаються в коробках подач верстатів, в автомобільних редукторах, коробках передач і т.п. Зуби цих шестерень повинні бути також оброблені методом обкатки, відшліфовані, шевенговані або притерті. Клас чистоти – 7-й.

Шестірні третього класу (середній точності) застосовуються для передач зі швидкостями до 6 м/с для прямозубих і до 8 м/с для косозубих пар. По цьому класу точності виготовляють шестірні загального машинобудування, що не вимагають особливої точності, невідповідальні шестірні в авіа- і автобудуванні і тракторобудуванні. Сюди ж відносяться шестірні для передач у верстатах, що не вимагають точної узгодженості рухів, передач в с.-г. машинобудуванні й ін.

Зуби таких шестерень можуть бути отримані методом обкатки або методом копіювання інструментом точного профілю. Зазвичай зуби цих шестерень не шліфують. Чистота поверхні зубів – 5-й клас.

Шестірні четвертого класу (зниженій точності) застосовують для передачі порівняно невеликих зусиль зі швидкостями обертання не більш 2...3 м/с. Ці шестірні призначаються для неточних, грубих механізмів.

Зуби їх можуть бути нарізані будь-яким методом. Клас чистоти – 3-й.

Технічні умови на обробку зубів регламентовані ДСТУ ISO 1340:2008 для циліндричних, ДСТУ ISO/TR 10828:2005 для черв'ячних, ДСТУ ISO 1341:2007 для конічних передач.

Матеріали. Для виготовлення силових циліндричних і конічних зубчатих коліс застосовують головним чином хромові, хромоникелеві і хромомолібденові цементовані сталі; чавунне або сталеве лиття і сталь марки Ст. 5 застосовують для передач, що працюють з окружною швидкістю $v \leq 3$ м/с.; з пластмас виготовляють колеса, здійснюючі головним чином кінематичні зв'язки; бронзу або антифрикційний чавун застосовують для черв'ячних коліс.

Види заготовок. Пруток застосовується для зубчатих коліс діаметром до 50 – 60 мм; при великих розмірах застосовуються поковки, відливки і пресовані з пластмас заготовки.

Поковки виконують гарячим штампуванням, куванням в холодних штампах або вільним куванням залежно від заданого випуску зубчатих коліс; при цьому заготовки для одновінцевих коліс виконують штампуванням на молотах або механічних кувальних пресах; заготовки для багатовінцевих коліс і шестерень валів штампують зазвичай на горизонтально-кувальних машинах; заготовки для дрібних шестерень валів виконують у ряді випадків холодною висадкою; штаповані заготовки піддають іноді калібруванню – чеканці, що виключає в подальшому обробку торців лезовим інструментом перед простяганням.

Заготовка може бути отримана з прошитим отвором, що обумовлює значну економію металу. При штампуванні на молотах прошивка можлива при діаметрі отвору $d \geq 25$ мм і довжині $l \leq 2d$.

Попередня термічна обробка поковок, що піддаються при подальшій обробці цементації, полягає в нормалізації, яка застосовується для вирівнювання структурної неоднорідності, отримання дрібнозернистої структури і поліпшення обробки різанням; разом з тим у результаті нормалізації підвищуються твердість і механічні властивості сталі.

Чорні заготовки сталевих зубчатих коліс, які не піддаються надалі цементації, зазвичай піддають термічному поліпшенню з метою подрібнення структури і підвищення в'язкості.

Способи нарізування зубів циліндричних шестерень

Існує два основні методи нарізування:

- 1) метод копіювання;
- 2) метод обкатки.

Суть першого методу полягає в тому, що фасонним інструментом обробляють западини між зубами заготовок. Профіль інструменту як би копіюється на оброблюваній поверхні.

Нарізування методом копіювання проводять трьома способами:

- 1) послідовним нарізуванням дисковою або кінцевою модульною фрезою;
- 2) паралельним (одночасним) довбанням всіх зубів заготовки;
- 3) паралельним (одночасним) простяганням зубів.

Нарізування дисковою модульною фрезою здійснюється за допомогою фрез, що мають профіль западини зуба відповідного модуля.

Нарізування цим методом зубів шестерень ведуть зазвичай на горизонтальних або універсально-фрезерних верстатах по схемі.

Перевагою методу копіювання є порівняльна простота налагодження верстата, використання універсального устаткування і порівняно простого і дешевого інструменту (на дискові модульні фрези є ОСТ). Але цей метод не позбавлений і недоліків, таких як:

1) низька точність обробки зубів із-за наближеного (неточного) профілю зубів фрези, а також із-за застосування ділильних головок з ручним управлінням, при яких виходить помилка, що накопичується, по куту ділення під час повороту заготовки, що створює, у свою чергу, похибки по кроку і товщині зубів;

2) низька продуктивність, як результат:

а) значні витрати часу на холості ходи – відведення і підведення фрези після прорізки кожного зуба; втрати часу на поворот;

б) втрати час на урізування фрези при обробці кожного зуба.

Нарізування дисковими модульними фрезами не застосовується в масовому виробництві. Його область застосування – одиничне виробництво неточних шестерень, ремонт і т.п.

У серійному виробництві іноді застосовують цей метод для попередньої прорізки зубів.

Одночасне довбання всіх зубів шестерень є високопродуктивним методом попередньої обробки циліндричних шестерень з прямими і косими зубами.

При цьому методі досягається найбільш висока продуктивність в порівнянні з іншими методами обробки циліндричних шестерень; тут всі зуби шестерень обробляються одночасно завдяки тому, що в роботі знаходиться велике число різців.

Цей метод може бути застосований тільки в масовому виробництві, оскільки для кожного числа зубів шестірні потрібна особлива головка. Головки вельми складні і дорогі у виготовленні і в експлуатації. Завдяки порівняно малій жорсткості кріплення різців в головці на цьому верстаті не можна досягти точності вище за 4-й клас. По тих же міркуваннях обмежується і модуль оброблюваних шестерень – не вище 5 мм.

Протягування зубів шестерень. Протягування фасонних поверхонь – точний і високопродуктивний метод обробки, тому цей метод застосовують і для обробки зубчатого профілю шестерень.

Протягування западин між зубами можна проводити послідовно, повертаючи після кожного ходу протяжки заготовку на один зуб. Цим методом протягують зуби великих вінцевих шестерень, використовуючи вертикальні протяжні верстати, забезпечені столами, що індексуються.

Перед протягуванням зубів кільцеві заготовки таких шестерень піддають токарній обробці, потім шліфують їх торцеві площини.

При обробці таких деталей в масовому виробництві протягування зараз витіснило всі інші методи нарізування зубів завдяки високій продуктивності і точності обробки.

Нарізування зубів циліндричних шестерень методом обкатки

При нарізуванні зубів методом обкатки відтворюють явище зачеплення зубчастої пари; тут однією деталлю пари є оброблювана шестерня, а інший – різучий інструмент.

Зубонарізування прямих і косих зубів методом обкатки може бути здійснено трьома основними способами:

- 1) черв'ячною фрезою;
- 2) круглим довбляком;
- 3) рейковим довбляком.

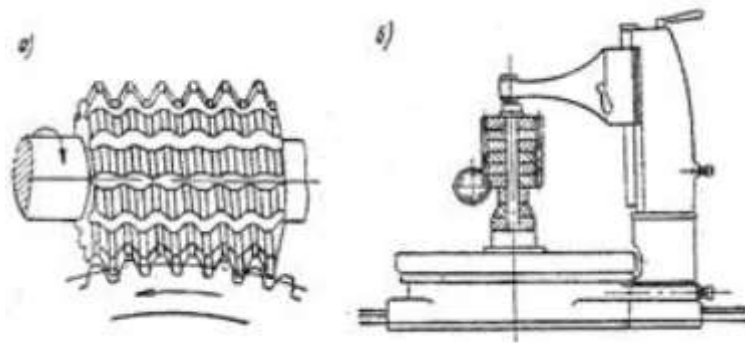


Рис. 6.16. Схема нарізування шестірні
а) черв'ячною фрезою; б) зубофрезерування декількох шестерень на оправці

Черв'ячна фреза, обертаючись, ріже метал безперервно декількома своїми зубами, при цьому відбувається послідовна обробка всіх зубів шестірні і не вимагається перерв в різанні на відведення і підвід фрези. Завдяки цьому метод черв'ячного фрезерування зубів циліндричних шестерень вважається одним з самих високопродуктивних.

Для нарізування зубів циліндричних шестерень застосовують як однозаходні, так і багатозаходні черв'ячні фрези (двох- і трьохзаходні). Застосування багатозаходних фрез забезпечує велику продуктивність, оскільки за один оборот фрези оброблювана шестерня зробить більше число оборотів, чим при обробці однозаходною фрезою; проте точність обробки виходить меншою.

При цьому методі обробки, бажаючи зменшити втрату часу на урізування, застосовують одночасну обробку декількох заготовок на оправці (Рис. 9, б). Проте в цьому випадку торці заготовок слід шліфувати або точно проточувати, щоб при наборі заготовок на оправці не було перекосів. З іншого боку, не слід встановлювати великої кількості заготовок на оправку, оскільки при цьому довжина оправки повинна зрости, а отже, повинна зменшитися її жорсткість, що може вплинути на точність.

Нарізування зубів круглим довбляком. Нарізування зубів круглим довбляком може бути застосоване для виготовлення шестерень як зовнішнього, так і внутрішнього зачеплення (з прямими і косими зубами).

Круглий довбляк відповідає циліндричній шестірні того ж модуля, що і оброблювана шестерня. Довбляк і оброблювана шестерня синхронно обертаються, забезпечуючи обкат ріжучих

зубів довбняка по поверхні зубів нарізваної шестірні. Зуби довбняка затиловані для додання йому потрібної геометричної форми ріжучого інструменту.

Цей метод нарізування зуба називають зубодовбанням, а верстати, на яких проводять цю обробку, зубодовбальними.

Основні робочі рухи, здійснювані на цих верстатах, наступні:

- 1) обертання довбняка навколо своєї осі;
- 2) узгоджене обертання заготовки навколо своєї осі;
- 3) поворотно-поступальний рух довбняка уздовж своєї осі (довбання);
- 4) переміщення довбняка до центру заготовки – урізування на глибину;
- 5) відсовування заготовки від довбняка під час його поворотного руху (щоб зуб довбняка не терся задньою гранню об оброблену поверхню).

Метод зубодовбання найбільш поширений при обробці блокових багатовінцевих шестерень з близько розташованими вінцями, а також при обробці шестерень – валів, де біля вінця знаходяться фланці або ступені валу більшого діаметру. У цих випадках обробка на зубофрезерних верстатах не може бути застосована, оскільки фрези не матимуть виходу після проходу всієї ширини зуба вінця.

Довбання шестерень рейковим довбняком (гребінкою). При цьому методі ріжучий інструмент має форму гребінки з профілем зубів, відповідним зубам рейки для даної шестірні.

Цей метод знаходить собі застосування переважно у важкому машинобудуванні при обробці шестерень великих модулів.

Точність обробки гребінкою, як правило, вище за фрезерування черв'ячною фрезою, оскільки гребінки легше виготовити з вищою точністю.

Обробка незагартованих зубів циліндричних шестерень

Обробка незагартованих зубів циліндричних шестерень проводиться шевінгуванням і обкаткою; загартованих – шліфуванням і притиранням.

Шевінгування зубів. Цей процес обробки зубів полягає в тому, що зрізує з їх поверхні тонку волосоподібну стружку (завтовшки 0,001 – 0,005 мм) металевим інструментом – шевером.

Цей спосіб придатний лише для обробки зубів шестерень, твердість поверхні яких допускає їх обробку металевим інструментом (HRC не вище 30).

Шевер має зазвичай форму зубчатого колеса (круглий шевер) або дуже рідкозубчатої рейки (плоский шевер).

На поверхні кожного зуба шевера є дрібні канавки. Кромки цих канавок є ріжучими елементами шевера.

Зняття стружки шевером відбувається під час руху оброблюваної шестірні і шевера, що знаходяться в зачепленні. При цьому має місце відносне ковзання поверхонь зубів шестірні і шевера, що зачіпляються.

Недоліками плоского шевінгування є: висока первинна вартість інструменту; складність конструкції верстата; щільна вимиваємість стружки, що залишається на інструменті в процесі різання; неможливість обробки зубів внутрішнього зачеплення, неможливість обробки бочкоподібних зубів нормальним шевером – рейкою.

Через ці причини плоске шевінгування не має широкого застосування.

Обкатка зубів. Обкаткою називається отримання гладкої поверхні незагартованих шестерень за рахунок тиску, який співпадає між загартованими і полірованими еталонними шестернями і оброблюваною деталлю під час їх сумісного обертання у присутності мастила.

Обробка загартованих зубів циліндричних шестерень

Притирання зубів шестерень. При високій поверхневій твердості зубів шестерень, коли обробити їх металевими інструментами неможливо, застосовують їх обробку за допомогою абразивів. Одним з таких способів є притирання зубів.

Притиранням називається обробка шестірні за допомогою доведення профілю їх зубів за допомогою інструментів – притирів і дрібнозернистого абразиву, з метою додання зубам високої точності профілю і гладкої поверхні. Проте виправлення значних погрешностей профілю зуба цим способом неможливе. Так, при погрешностях зуба більше 0,03 – 0,05 мм притирання стає малоефективним методом. При тривалому притиранні, пов'язаному з видаленням великих припусків, виходить спотворення профілю зубів шестерень.

При правильно вибраному припуску на притирання і ретельно вибраному металі і режимі його термічної обробки можна забезпечити високу точність профілю зубів (1 і 2-го класу точності) і високу чистоту поверхні зубів (10-й клас чистоти).

Притирання здійснюється на особливих верстатах. Інструментами – притирами служать зазвичай дві або три шестірні, виготовлені з м'якого дрібнозернистого чавуну.

Притири в процесі роботи змащують або поливають сумішшю дрібнозернистого абразивного порошку з маслом.

Шліфування зубів шестерень є способом отримання найбільш точних, високоякісних шестерень.

Цим методом можна виправляти значні похибки, отримані при попередній механічній і термічній обробці, і отримувати шестірні 1-го класу.

Проте, мала продуктивність і висока вартість операції зубошліфування роблять цю обробку не прийнятною в масовому виробництві. Внаслідок цього шліфування зубів застосовують тільки для обробки шестерень особливо відповідальних машин.

Для підвищення продуктивності зубошліфування в даний час випускаються верстати, на яких безперервне шліфування профілю зубів шестерень проводиться абразивним черв'яком методом обкатування.

Нарізування зубів конічних шестерень

Попереднє нарізування прямих зубів конічних шестерень зазвичай проводять на фрезерних верстатах дисковими модульними фрезами так, щоб на всій довжині зуба залишився припуск під чистову обробку.

На рисунку 6.17 показано попереднє нарізування зубів одночасно у трьох конічних шестерень.

Усі три оброблювані заготовки 1, 2 і 3 автоматично повертаються після прорізки чергової западини. Поки проводиться обробка трьох шестерень, на протилежній стороні столу встановлюють інші заготовки; стіл після обробки перших трьох шестерень повертають на 180°. Цей метод попередньої обробки є найбільш поширеним в автомобільній і тракторній промисловості.

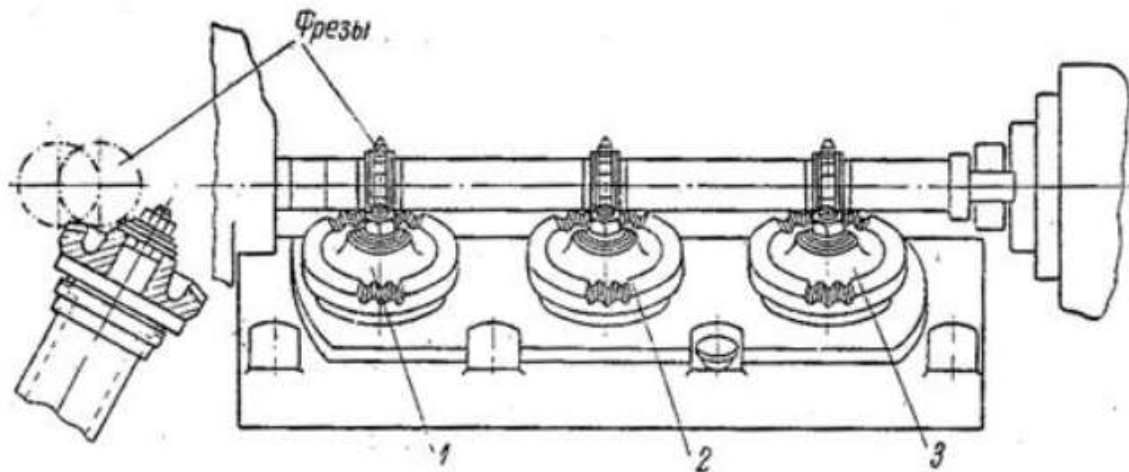


Рис. 6.17. Попереднє нарізування прямозубих конічних шестерень

Остаточну обробку прямих зубів конічних шестерень зазвичай проводять на зубостругальних верстатах методом обкатування.

Принцип дії цього верстата заснований на відтворенні руху обкатування оброблюваної шестірні по уявній плоскій шестірні, одним із зубів якої як би є два стругальних різця 1 і 2, що здійснюють поворотно-поступальний рух – стругання. При цьому оброблювана шестерня гойдається в ту і іншу сторону, як би переміщаючись по нерухомій шестірні. Вісь також переміщається, описуючи конус.

Кут конуса 180° , співпадає з віссю циліндричних направляючих люльки. Різці 3 є як би продовженням зубів плоскої шестірні.

Один різець обробляють одну сторону зуба, інший – протилежну сторону цього ж зуба. Таким чином, різці утворюють зуб плоскої шестірні, і профіль ріжучої кромки повинен бути прямолінійним.

Різці рухаються прямолінійно поворотно-поступально по твірних конуса оброблюваної шестірні, стругаючи один зуб з обох боків, причому робочий рух відбувається у напрямі вершини конуса. Рух різця у зворотний бік холостий. При цьому, як у всіх стругальних різців, ріжуча кромка відходить від оброблюваної поверхні. Під час обробки люлька подається вгору, повертаючись в своїх направляючих, і оброблювана шестерня обкатується різцями. Після закінчення обробки зуба різці разом з супортом відходять від заготовки, люлька опускається вниз і заготовка за допомогою ділильного диска повертається на один зуб. Після цього різці наближаються до заготовки, і цикл повторюється.

Нарізування спіральних конічних шестерень. Попереднє нарізування спіральних зубів конічних коліс середніх модулів проводиться так само, як і чистова обробка цих зубів, на верстатах певного призначення.

Верстати для попереднього нарізування спіральних зубів в основному подібні до верстатів для чистового нарізування, відрізняються більш жорсткою конструкцією, більшою потужністю приводу і більшою простотою конструкції; у верстатів для попереднього нарізування зазвичай відсутній рух обкатування.

Інструментами для нарізування спіральних зубів служать різцеві головки (рис. 6.18, б) з набором спеціальних фасонних різців; діаметри головок 150 – 300 мм.

Застосовують односторонні двосторонні різцеві головки. У перших – ріжучі леза різців розташовані або тільки з зовнішньої, або тільки з внутрішньої сторони; у других – ріжучі кромки різців розташовуються поперемінно – із зовнішнього і внутрішнього боку.

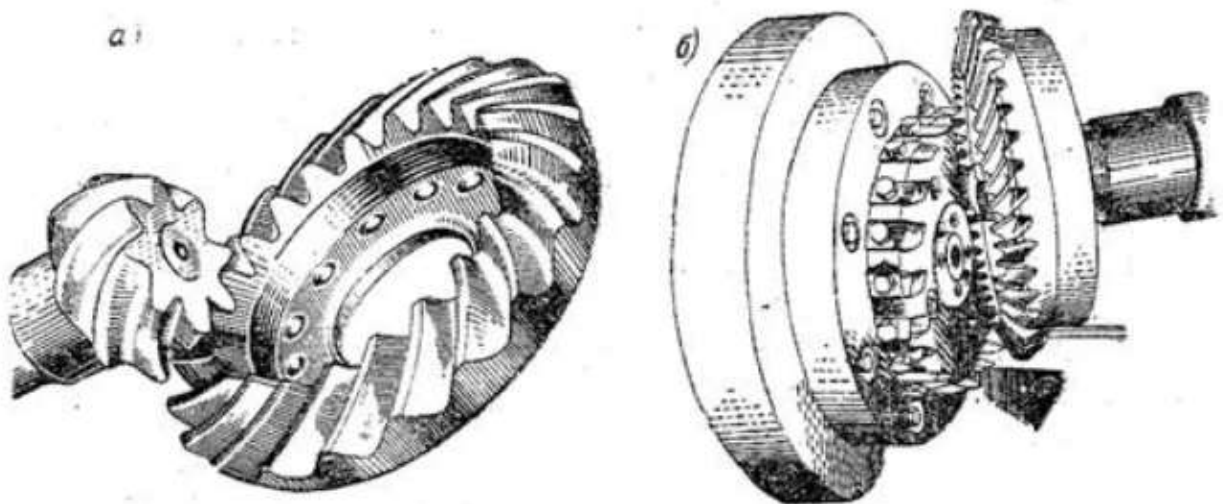


Рис. 6.18. Спіральні конічні шестірні і спосіб їх нарізування

Принцип дії верстатів для нарізування спіральних зубів у конічних коліс полягає у відтворенні обкату конічної шестірні по уявній плоскій шестірні зі спіральним зубом. Одним із зубів цієї уявної шестірні є різець круглої різцевої головки.

Різцева головка, що обертається, розташовується на планшайбі верстата; головка кінематично є робочим колесом, а оброблювана заготовка встановлюється під кутом до площини планшайби аналогічно тому, як це робиться на верстатах для нарізування прямозубих конічних шестерень.

При чистовій обробці планшайба і заготовка поволі обертаються з певними числами оборотів, тобто за час повороту заготовки на один зуб планшайба повертається також на один зуб робочого класу.

Коли в результаті обертання заготовка повністю перекотиться по оброблювальних її різцях, напрям обертання планшайби зміниться на прискорення зворотне, заготовка відводиться від планшайби з різцевою головою, і відбувається відносне перекочування заготовки по різцях у зворотному напрямі.

В період зворотного перекочування заготовка додатково повертається на один зуб, після чого вона знову наближається до планшайби, і цикл робочих рухів повторюється.

6.4 Технологія обробки черв'яків

Нарізування черв'яків

Зуби черв'яків нарізають зазвичай черв'ячними фрезами. Існують два способи нарізання:

- 1) з радіальною подачею фрези;
- 2) з тангенціальною подачею.

При першому способі обробки фрези додається радіальна подача до центру нарізуваної шестірні до тих пір, поки вісь фрези не займе положення, відповідне осі черв'яка, який працюватиме з нарізуваною шестірнею.

При другому способі обробки відстань між центрами фрези і черв'яка не змінюється. Фреза на початку обробки встановлюється на повну глибину різання і отримує подачу уздовж своєї осі по дотичній до середнього кола нарізуваного черв'яка.

Обробка черв'ячних коліс. Нарізування черв'ячних коліс

Зуби черв'ячних коліс нарізають зазвичай черв'ячними фрезами. Існують два способи нарізування:

- з радіальною подачею фрези (рис. 6.19, а);
- з тангенціальною подачею (рис. 6.19, б).

При першому способі обробки фрези додається радіальна подача до центру нарізуваного колеса до тих пір, поки вісь фрези не займе положення, відповідне осі черв'яка, який працюватиме з нарізуваним колесом.

При другому способі обробки відстань H між центрами фрези і колеса не змінюється. Фреза на початку обробки встановлюється на

повну глибину різання і отримує подачу уздовж своєї осі по дотичній до середнього кола нарізуваного колеса.

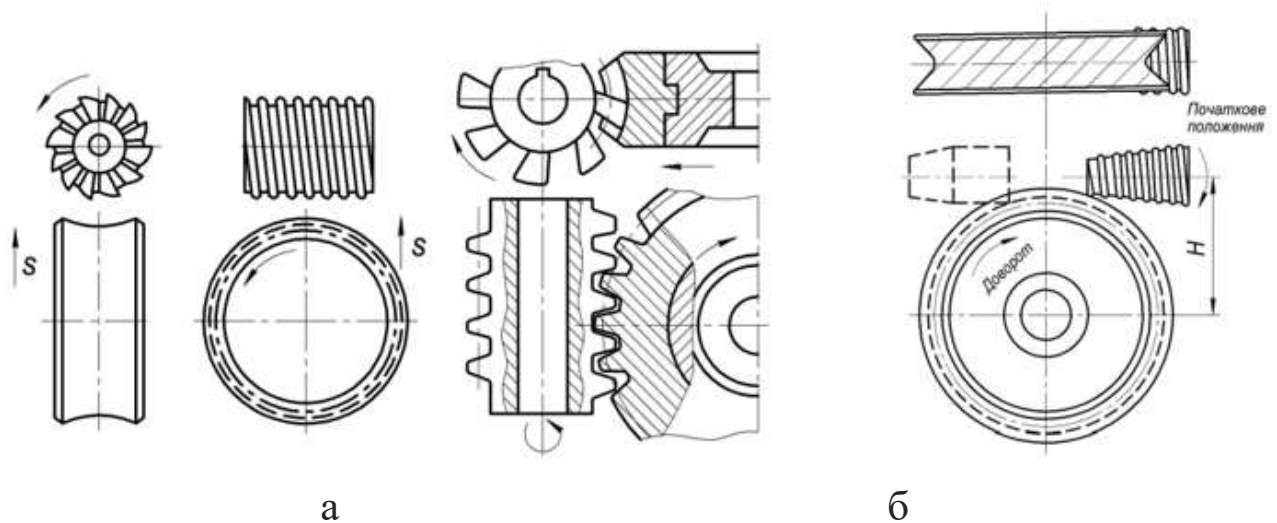


Рис. 6.19. Нарізування зубів черв'ячного колеса
а – радіальною подачею; б – тангенціальною подачею

Фрези для роботи з тангенціальною подачею мають конічну частину, на якій вершина зубів зрізана на конус для полегшення поступового урізування фрези і послідовної обробки зубів колеса декількома ділянками фрези.

Нарізування з тангенціальною подачею забезпечує отримання точніших шестерень, але збільшує трудомісткість обробки. Тому часто шестірні 3-го класу точності і вище (середніх і крупних модулів) нарізують в дві операції: заздалегідь з радіальною подачею, залишаючи припуск 1,0 – 1,5 мм, і остаточною з тангенціальною подачею.

Малі черв'ячні колеса часто нарізують відразу начисто з тангенціальною подачею і застосуванням комбінованих фрез, що мають дві секції – одну зі спіральними канавками і затилованими зубами, як у звичайних черв'ячних фрез, а іншу, фінішну – з дрібними радіальними канавками завглибшки 1,5 – 2 мм. Ця остання частина фрези є черв'як (зазвичай евольвентний). Краї канавок є ріжучими елементами частини фрези і знімають тонкі стружки, подібно шеверу.

При цьому методі обробки можуть бути отримані шестірні великої точності з високою якістю поверхні зуба.

Нарізування зубів черв'ячних шестерень виконують зазвичай на тих же зубофрезерних верстатах, на яких нарізують зуби циліндричних шестерень.

Протягування зубів зубчатих коліс

Протягування зовнішніх і внутрішніх поверхонь фасонних складних форм забезпечує високу продуктивність і точність обробки. Тому цей спосіб застосовують для нарізування зубів. Обробка протягуванням западин між двома або декількома зубами проводиться послідовно протяжкою з профілем, відповідним формі зуба.

Технологія обробки черв'яків

Поширені черв'яки: архімедові, евольвентні, конволютні і глобоїдні.

Архімедові черв'яки частіше всього нарізають та токарних верстатах, при цьому прямолінійні ріжучі кромки різців розташовуються в осьовому перетині так само, як і при нарізуванні трапецеїдального різьблення. Гвинтова поверхня такого черв'яка називається архімедовою, оскільки з поверхні торця його вона утворює архімедову спіраль. Такі черв'яки представляють звичайний гвинт з трапецеїдальним різьбленням.

Архімедів черв'як в осьовому перетині має прямобічний профіль з кутом, рівним профільному куту різця.

При великосерійному виробництві архімедові черв'яки фрезерують дисковими фрезами з криволінійними ріжучими кромками. Шліфування таких черв'яків здійснюють дисковим конусним або тарілчастим кругом з припуском 0,1 – 0,2 мм на сторону залежно від модуля черв'яка. Шліфування черв'яків з малим модулем проводять на різьбошліфувальному верстаті або токарному, але зі спеціальним пристроєм. З таким пристроєм можна шліфувати черв'яки із крупним модулем.

У великосерійному і масовому виробництві шліфування профілю витків черв'яка з крупним модулем (3 і більш) здійснюється на спеціальному черв'ячно-шліфувальному верстаті конічним дисковим кругом великого діаметру (800 мм і більш). Цей метод забезпечує велику продуктивність. Таким кругом можна отримати різні профілі черв'яка шляхом його переміщення в горизонтальній площині. Шліфування проводиться при трьох рухах: обертанні круга, повільному обертанні черв'яка і поступальному переміщенні

круга на величину одного кроку (руху для багатозахідних черв'яків) за один оборот виробу.

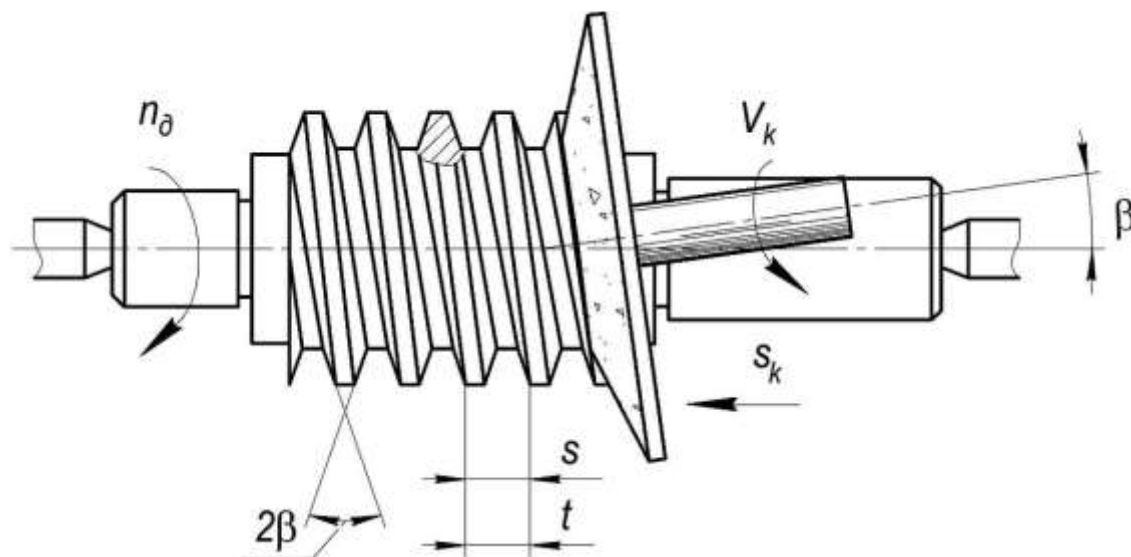


Рис. 6.20. Шліфування черв'яка

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

Евольвентні черв'яки нарізають на токарних верстатах з роздільною обробкою кожної сторони витка при зсуві прямолінійних ріжучих кромek різців на величину радіусу основного циліндра гвинтової евольвентної поверхні.

Якщо черв'як правий, то ліву сторону бічної поверхні витків нарізують різцем, піднятим над віссю, а праву – опущеним. При лівому черв'яку обидва різці відповідно міняють місцями. Вказаним способом евольвентні черв'яки рідко нарізають зважаючи на несприятливі умови різання різцями, піднятими або опущеними по відношенню осьової лінії.

Такі черв'яки зазвичай фрезерують фасонними дисковими, пальцевими фрезами і фрезами – равликами, а шліфують їх плоскою стороною тарілчастого шліфувального круга. Евольвентний черв'як можна розглядати як циліндрове зубчасте колесо з малим числом спіральних зубів, що мають великий кут нахилу.

6.5 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання для токарної операції

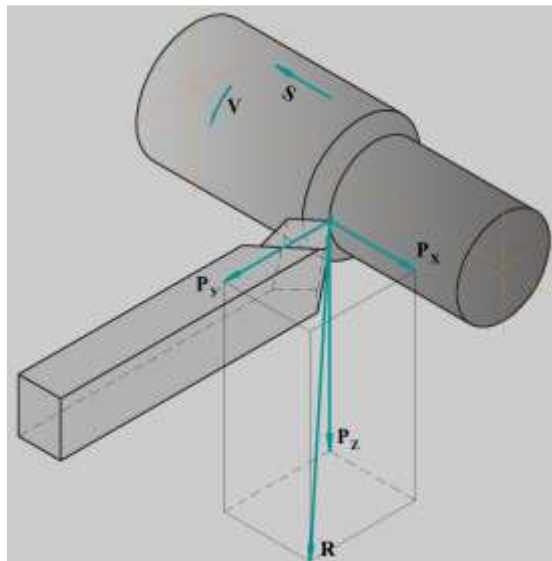


Рис. 6.21. Сили різання при точінні

Операція – чорнове точіння.

Глибина різання

$$t = \frac{D - d}{2i},$$

де D – більший (початковий) діаметр деталі, мм;

d – менший (кінцевий) діаметр деталі, мм;

i – кількість робочих ходів.

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v,$$

Загальний коефіцієнт

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_{\phi v} \cdot K_{\phi 1v},$$

де K_{mv} – коефіцієнт, який враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання;

K_{nv} – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання;

K_{iv} – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання;

$K_{\phi v}$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив параметрів різця на швидкість різання.

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}.$$

Складова сили різання

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^{X_p} \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p,$$

де C_p , X_p , Y_p , V^{n_p} – коефіцієнти;

K_p – поправочний коефіцієнт

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p};$$

K_{mp} – поправочний коефіцієнт для сталі і чавуну, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності.

Основний технологічний (машинний) час – період часу, за який знімається стружка без безпосередньої участі робітника, хв,

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i,$$

де L – шлях інструмента в напрямку робочої подачі, мм;

i – кількість переходів, мм,

$$L = l + \Delta_1 + \Delta_2,$$

де l – розмір оброблюваної поверхні у напрямку подачі, мм;

Δ_1 – величина врізання, мм;

Δ_2 – величина перебігу (для малих та середніх верстатів 1...2 мм), мм.

Врізання різця

$$\Delta_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi,$$

де t – глибина різання, мм;

φ – головний кут в плані різця.

Розрахункова потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020}.$$

Розрахунок режимів різання для свердлильної операції

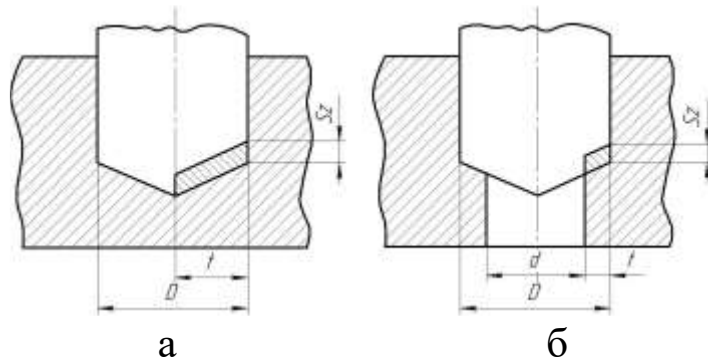


Рис. 6.22. Схеми для визначення глибини різання при свердлильних видах обробки

Глибина різання
а) при свердлінні

$$t = 0,5D,$$

де D – діаметр свердла, мм.

б) при розсвердлюванні, зенкеруванні, розгортанні (рис. 6.22, б):

$$t = \frac{D - d}{2i},$$

де D – більший (кінцевий) діаметр деталі, мм;

d – менший (початковий) діаметр деталі, мм;

i – кількість робочих ходів.

Табличну подачу для свердлильної операції вибирають у залежності від діаметра свердла, виду оброблюваного матеріалу та його властивостей або приймають ручну подачу $S_{руч.} = 0,1$ мм/об.

Фактичну подачу вибирають найближчу меншу, або рівну значенню за паспортом верстата

$$S_{ф} = S_{пасп} \leq S_{т},$$

де $S_{пасп.}$ – паспортне значення подачі.

Швидкість різання при свердлінні дорівнює:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_y} \cdot K_v.$$

При розсвердлюванні, зенкеруванні та розгортанні:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_y \cdot t^x} \cdot K_v,$$

де C_v – коефіцієнт, який залежить від виду обробки, матеріалу ріжучої частини та характеристики подачі, визначається за таблицями окремо при свердлінні, зенкеруванні, розгортанні;

m, y, x, q – показники ступеню.

T – середнє значення стійкості інструмента, хв.;

K_v – поправочний коефіцієнт для приведення розрахункової швидкості різання до реальних умов обробки.

$$K_v = K_m \cdot K_i \cdot K_l,$$

де K_m – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання.

Поправочний коефіцієнт залежить від оброблюваного матеріалу та матеріалу різального інструменту.

K_i – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання;

K_l – поправочний коефіцієнт, який враховує глибину оброблюваного отвору.

Розрахункова частота обертання деталі

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D},$$

де V_p – розрахункова швидкість різання, м/хв.;

D – найбільший діаметр обробки, мм.

Фактичну частоту обертання обирають найближчу меншу, або рівну значенню за паспортом верстата:

$$n_{\phi} = n_{\text{пасп}} \leq n_p.$$

Фактична швидкість різання деталі:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000}.$$

Крутний момент $M_{\text{кр}}$:

а) при свердлінні:

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S_{\phi}^y \cdot K_p,$$

де C_m, C_p – коефіцієнти;

x, y, q – показники ступеню;

t – глибина різання, мм;

S_z – подача на один зуб інструменту, що дорівнює S/z , (мм/об./шт.)

D – діаметр отвору, мм;

z – кількість зубів розгортки, шт.;

K_p – поправочний коефіцієнт.

$$K_p = K_{mp},$$

де K_{mp} – поправочний коефіцієнт для сталі та чавуну, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності.

б) при розсвердлюванні та зенкеруванні:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S_{\phi}^y \cdot t^x \cdot K_p.$$

в) при розгортанні:

$$M_{кр} = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot D \cdot Z}{2 \cdot 100}.$$

Потужність різання

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n_{\phi}}{9750}.$$

Коефіцієнт використання верстату η за потужністю за формулою:

$$\eta = \frac{N_e}{N_{дв} \cdot \eta_{вер}},$$

де $N_{дв}$ – потужність двигуна верстата, кВт;

$\eta_{вер}$ – ККД верстата.

Розрахунок режимів різання для фрезерної операції

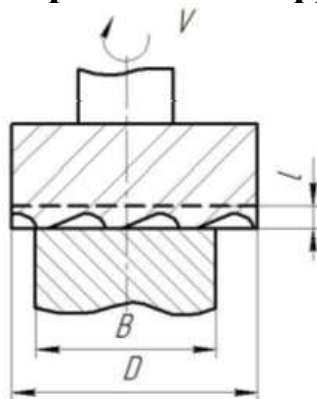


Рис. 6.23. Ескіз обробки

Вибір інструмента

Для фрезерування на вертикально-фрезерному верстаті заготовки із чавуну обирають, як правило, торцеву фрезу із пластинками з твердого сплаву ВК6.

Діаметр фрези

$$D = (1,25 \dots 1,5)B,$$

де B – ширина поверхні, що обробляється, мм.

Режим різання

Глибина різання. Заданий припуск на чистову обробку зрізують за один прохід, тоді $t = h = 1,8$ мм.

Призначення подачі. Для одержання шорсткості $R_a = 6,3$ мкм подача на оберт $S_o = 1,0 \div 0,7$ мм/об.

Подача на зуб фрези

$$S_z = \frac{S_o}{z},$$

де z – кількість зубів фрези, шт.;

Період стійкості фрези. Для торцевих фрез із пластинками з твердого сплаву застосовують період стійкості T за табличним значенням.

Швидкість різання, що допускається ріжучими властивостями інструмента.

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_z^y \cdot t^x \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v,$$

де C_v – коефіцієнт, який залежить від виду обробки, матеріалу ріжучої частини різця та характеристики подачі;

m, y, x, q, u, p – показники ступеню.

Частота обертання шпинделя, відповідна до знайденої швидкості різання

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}.$$

Коректуємо по паспорту верстата.

Дійсна швидкість різання

$$V_p = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}.$$

Хвилинна подача

$$S_{XB} = S_Z \cdot z \cdot n.$$

Потужність, яка затрачується на різання, визначається в залежності від матеріалу і твердості деталі що обробляється, ширини фрезерування, глибини різання, подачі на зуб та хвилинної подачі.

Перевірка достатності потужності верстата

Потужність на шпинделі верстата

$$N_{шп} = N_d \cdot \eta,$$

де N_d – потужність за паспортом верстата;

η – ККД за паспортом верстата.

Основний час

$$T_o = \frac{L}{S_{XB}},$$

де L – довжина робочого ходу

$$L = l + l_1 + l_2,$$

l_1 – величина врізання, мм.

При фрезеруванні циліндричною й дисковою фрезами

$$l_1 = \sqrt{t(D - t)},$$

при фрезеруванні торцевою фрезою $l_1 = D$;

l_2 – величина перебігу, мм.

При використанні циліндричної й дискової фрези $l_2 = 2 - 5$ мм;
при використанні фрези торцевої $l_2 = 2 - 4$ мм.

Розрахунок режиму різання при шліфуванні

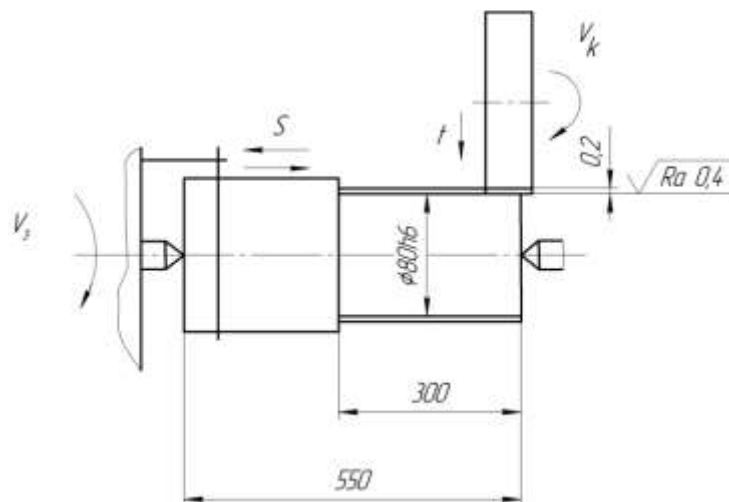


Рис. 6.24. Ескіз обробки

Вибір шліфувального круга.

Вибір марки і розмірів шліфувального круга залежить від виду подачі, параметра шорсткості, марки сталі.

Швидкість шліфувального круга приймається за характеристиками верстата.

Частота обертання шпинделя шліфувальної бабки, об/хв.

$$n = \frac{1000 \cdot V_k \cdot 60}{\pi \cdot D_k}.$$

Частота обертання шпинделя передньої бабки, що відповідає прийнятій коловій швидкості заготовки, об/хв.

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot D_3}.$$

Глибина шліфування $t = 0,005 \div 0,015$ мм.

Поздовжня подача

$$S = (0,2 \dots 0,4)T,$$

де T – ширина шліфувального круга, мм.

Швидкість поздовжнього ходу стола

$$V_c = \frac{S \cdot n_3}{1000}.$$

Приймається з урахуванням паспортних даних (безступінчасте регулювання швидкості поздовжнього ходу стола).

Потужність, що затрачується на різання

$$N_p = C_N \cdot V_3^z \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q,$$

де C_N – коефіцієнт, що враховує умови шліфування;

x, y, z, q – показники ступенів;

V, t, S – елементи режиму різання;

d – діаметр шліфування, мм.

Потужність на шпинделі верстата, кВт

$$N_{\text{шп}} = N_d \cdot \eta,$$

де N_d – потужність двигуна верстата, кВт;

η – ККД верстата.

Основний час

$$T = \frac{L \cdot h}{1000 \cdot v_c \cdot t} \cdot K,$$

де L – довжина поздовжнього ходу столу;

$$L = l - (0,4 \dots 0,6)T,$$

l – довжина поверхні, що оброблюється, мм;

h – припуск на обробку на сторону, мм;

K – поправочний коефіцієнт.

Контрольні запитання

- 1 Які застосовують методи нарізування зубів зубчастих коліс?
- 2 Як здійснюють нарізування зубів циліндричних коліс дисковими і пальцевими модульними фрезами?
- 3 Як нарізають зуби коліс черв'ячними фрезами методом обкатки?
- 4 Як нарізають зуби коліс на зубодовбальних верстатах?
- 5 Як нарізають зуби конічних прямозубих зубчастих коліс?
- 6 Як нарізають зуби конічних коліс з криволінійними зубами за методом обкатки?
- 7 Як здійснюють кріплення заготовок при нарізуванні зубів?
- 8 Назвіть заключні види обробки циліндричних зубчастих коліс?
- 9 За якими методами виконується шліфування зубів зубчастих коліс?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Технологічні основи машинобудування : підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

2 Вакуленко І.О., Кадильникова Т.М., Проїдак С.В. Технологія механічної обробки металевих матеріалів – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту з-го трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2014, 176с.

3 Бази і базування в машинобудуванні. Класифікація баз. studopedia.su. URL: https://studopedia.su/9_44910_bazi-i-bazuvannya-v-mashinobuduvanni-klasifikatsiya-baz.html

4 Пацера С.Т. Конспект лекцій з дисципліни «Системно-структурна оптимізація процесів обробки на верстатах з ЧПК» / Пацера С.Т., Проців В.В.; Нац. техн. ун-т., каф. технологій машинобудування та матеріалознавства. – Д. : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. – 91 с.

5. Технологічні основи машинобудування до виконання лабораторних робіт і самостійної роботи: навчальний посібник : С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв, А.А. Субін та ін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 112 с.

6. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок / підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с. – Бібліогр.: с. 346 – 353 – 500 пр. ISBN 978-966-7599-81-2.

7. Технологія машинобудування : навч. посіб. / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. - Львів : Новий світ-2000, 2009. - 358 с. - [ISBN 978-966-418-094-5](#).

8. Основи технологій обробки поверхонь деталей машин : підручник / В.А. Кирилович, П.П. Мельничук, В.А. Яновський; за ред. В.А. Кириловича. – Житомир : Видавець О.О. Євенок, 2017. – 266 с.

9. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.

10. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення.

11. ДСТУ 3278-95 Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення.

12. ДСТУ 3974-2000 Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення.

13. ДСТУ 3321-2003 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.

14. ДСТУ ГОСТ 2.601:2006. Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи (ГОСТ 2.601-2006, IDT).

15. ДСТУ 2391:2010 Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять.

16. ДСТУ-Н 7916:2015 Система технологічної документації. Настанови щодо оформлення документів, застосовуваних для розроблення, упровадження та функціонування технологічних процесів.

17. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення ДСТУ 8981:2020 Чинний від 2021-05-01 (http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=89331).