

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

# **ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН**

Конспект лекцій

Затверджено  
на засіданні  
методичної ради  
Протокол № 7 від 20.04.2015

Краматорськ  
ДДМА  
2015

УДК 621.91.002

Технологія обробки типових деталей та складання машин: конспект лекцій / укл. С. В. Ковалевський, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко. – Краматорськ: ДДМА, 2015. –        с.

Містять конспект лекцій з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» відповідно до програми дисципліни, призначений для студентів денної та заочної форм навчання, а також перелік рекомендованої літератури.

Укладачі:                    КОВАЛЕВСЬКИЙ Сергій Вадимович, проф.,  
                                      ОНИЩУК Сергій Григорович, доц.,  
                                      БОРИСЕНКО Юрій Борисович, ст. викл.

Відп. за випуск    КОВАЛЕВСЬКИЙ Сергій Вадимович, зав.каф.

Редактор	Шнурік С.П.
Комп'ютерна верстка	Ордіна О.П.

/2015.	Підп. до друку	. Формат 60 x 84/16.
	Папір офсетний. Ум. друк. арк.	. Обл.-вид. арк.
	Тираж	прим. Зам. №

Видавець і виготівник  
«Донбаська державна машинобудівна академія»  
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного  
реєстру  
серія ДК №1633 від 24.12.03.

## **Тема 1 Технологія виготовлення базових і корпусних деталей**

### **1.1 Технологія виготовлення базових деталей**

1.1.1 Службове призначення, конструкція та основні вимоги до станин. Виготовлення заготовок станин

1.1.2 Технологічний процес виготовлення станин

1.1.2.1 Чорнова обробка заготовок станин

1.1.2.2 Чистова обробка станин

1.1.2.3 Опоряджувальна обробка станин

1.1.2.4 Технологія виготовлення станини токарного верстата

1.1.3 Контроль станин

### **1.1.1 Службове призначення, конструкція та основні вимоги до станин. Виготовлення заготовок станин**

Станини, рами верстатів, складальних, вимірювальних, транспортних, енергетичних і інших машин і агрегатів призначені для забезпечення потрібних відносних положень і рухів приєднаних до них складальних одиниць і деталей в умовах допустимих впливів робочих навантажень і зовнішнього середовища протягом заданого періоду експлуатації.

Потрібні параметри службового призначення станини верстата забезпечуються сукупністю визначених властивостей станини, до яких належать: 1) геометрична точність поверхонь основних і допоміжних баз і точність їх відносного положення; 2) статична і динамічна жорсткість станини; 3) зносостійкість напрямних; 4) теплова стабільність; 5) відсутність жолоблення; 6) малий і стабільний коефіцієнт тертя по напрямних.

Конструктивні форми і розміри станин визначаються компоновкою і конструкцією машини або верстата, службовим призначенням станини, а також обраним матеріалом і методом виготовлення станини, що визначають конструктивні відмінності у зв'язку з особливостями розрахунку і вимогами до технологічності конструкції.

Відповідно з цим станини можна класифікувати за різними ознаками.

За розташуванням станини можуть бути горизонтальними, вертикальними і похилими. Станини можуть бути суцільними і складеними.

Відповідно зі службовим призначенням усі станини верстатів і інших машин можна поділити на дві групи.

1 Станини без напрямних, до службового призначення яких входить тільки забезпечення потрібного відносного положення приєднаних до них складальних одиниць і деталей.

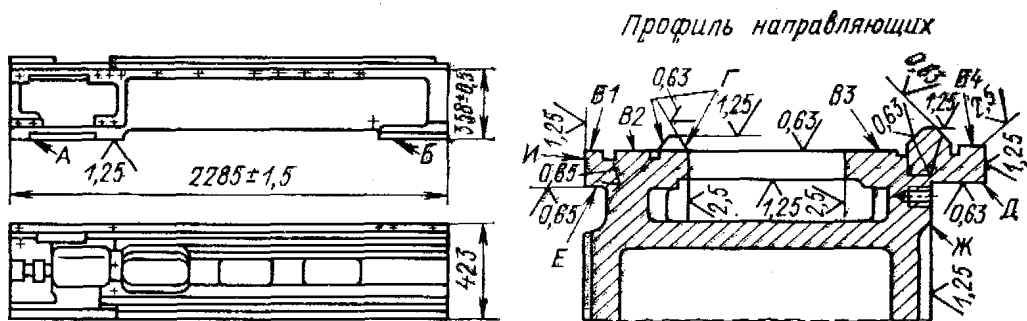
2 Станини з напрямними, до службового призначення яких входить крім забезпечення потрібного положення також забезпечення потрібних рухів установлюваних на напрямних вузлів: кареток, супортів, столів і т.п.

Станини другого типу відрізняються кількістю систем напрямних, їх формою, конструкцією, відносним розташуванням в просторі. За траєкторією руху, що забезпечується, напрямні поділяються на прямолінійні і кру-

гові, за видом тертя – на напрямні ковзання, кочення і комбіновані. За формою напрямні поділяються на плоскі, призматичні, циліндричні. Напрямні можуть бути виконані разом зі станиною, або накладними у вигляді планок або пластин, що закріплюють до станини гвинтами або за допомогою клею.

Технічні вимоги до станин повинні регламентувати допустимі відхилення розмірних параметрів і характеристики властивостей матеріалів, виконання яких при виготовленні станини забезпечить виконання станиною службового призначення при мінімальних витратах.

Як приклад можна навести вимоги до станини прецизійного верстата (рисунок 1.1):



*Рисунок 1.1 – Лита станина прецизійного верстата*

Матеріал – чавун СЧ30 ГОСТ 1412–79; допуск площинності поверхонь А і Б 0,003 мм; допуск прямолінійності поверхні Г в вертикальній площині 0,012/1000 мм (допускається лише випуклість); вивернутість напрямних поверхонь В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>4</sub> не більше 0,025 мм на всій довжині напрямних; допуск паралельності поверхонь Д і Е напрямним поверхням В<sub>1</sub> і В<sub>4</sub> 0,015 мм на довжині 1000 мм; допуск перпендикулярності поверхні Ж до спільної прилеглої поверхні В<sub>1</sub>–В<sub>3</sub> 0,03 мм на довжині 250 мм.

### **Заготовки станин**

#### **1 Виготовлення литих заготовок станин**

Литі заготовки станин повинні мати високу зносостійкість і твердість монолітних напрямних, не припустиме вибілення чавуна в тонких стінках, що приводить до великих напруг, жолоблення, тріщинам.

Для станин використовують модифікований чавун. Для отримання високоякісних відливок використовують нелегований чавун оптимізованого складу марок СЧ20, СЧ25, СЧ30.

Масивні станини з монолітними напрямними відливають з використанням холодильників, що прискорюють охолодження напрямних та підвищують їх твердість.

## ***2 Виготовлення зварених заготовок станин***

Зварені станини виготовляють з листової сталі марок Ст3, Ст4, Ст5 і інших завтовшки 3...12 мм. Крім того при виготовленні заготовки станини використовують елементи, виготовлені з профільного прокату, в тому числі швелери, порожнисті профілі, прямокутного перерізу.

Зварені станини на 30...40% більш економічні в виготовленні порівняно з литими чавунними станинами і мають декілька переваг:

- меншу (на 30...40%) масу при однаковій жорсткості;
- меншу вартість обробки різанням;
- більші можливості автоматизації виготовлення заготовок станин на базі обладнання з ЧПК.

## ***3 Виготовлення станин і основ верстатів з бетону***

Станини і основи деяких верстатів можуть бути виготовлені з бетону, залізобетону і полімербетону. Бетонні конструкції необхідно армувати сталевим каркасом. Залізобетонні конструкції станин використовують для важких верстатів.

Полімербетон, наприклад акрилбетон, епоксидний бетон, поліефірбетон і ін., має стабільність розмірів, високу демпфувальну спроможність, стійкість до дії різних агресивних середовищ: кислот, масел, МОР. Станини з полімербетону повинні мати стінки завтовшки не менше 100 мм, а кути нахилу 12...15°.

До полімербетонного блоку установлюють металеві елементи (планки, плити, напрямні) приклеюванням, а важконавантажені деталі додатково закріплюють гвинтами.

Трудомісткість виготовлення полімербетонних станин в 1,5–3 рази менше чавунних станин.

## ***4 Зменшення жолоблення станин***

Для зменшення жолоблення в технологічному процесі виготовлення металевих станин передбачають операції, що знижують залишкові напруги, сприяють більш рівномірному розподілу напруг по об'єму станини або зміцнюючи матеріали.

*Природне старіння* здійснюють шляхом тривалої витримки заготовок або станин після чорнової обробки на відкритому повітрі: протягом не менше 3 місяців витримують литі станини верстатів нормальної точності, не менше 6 місяців – станини верстатів підвищеної точності після чорнової обробки.

Для верстатів високої точності виконують разове старіння: не менше 6 місяців після чорнової обробки і потім не менше 3 місяців після напівчистої обробки.

Недолік – велика тривалість процесу. Переваги – не потрібне додаткове обладнання, крім транспортно-складського, а також висока надійність зняття залишкових напруг в відливках станин.

Всі інші методи, що знижують жолоблення станин, називаються штучним старінням.

*Статичне перенавантаження* станини виконується вантажами, дократами, пресами, пристосуваннями або під дією власної маси станини. Навантаження повинно викликати вигин в напрямку найменшої жорсткості станини і викликати додаткові напруги, що складають 20...60 % межі міцності матеріалу. При цьому відбувається перерозподіл залишкових напруг, а також зміцнення матеріалу станини, підвищення межі текучості. Кількість навантажень станини на кожен сторону повинно бути не менше трьох з витримкою під навантаженням не менше 3 сек.

*Віброобробка* станин виконується за допомогою вібраторів, що встановлюються на станину. Під дією вібрації відбувається стабілізація розмірів без деформації станин. Використання вібраторів з плавним регулюванням частоти коливань дозволяє виконати віброобробку станини на декількох (не менше трьох) резонансних частотах по 3...5 хв. в діапазоні 10...150 Гц. Процес продовжується 30...45 хв. і забезпечує зниження напруг на 50 %.

*Низькотемпературний відпал* знижує залишкові напруги в заготовках на 60...70 %. В залежності від марки чавуну станини температуру печі вибирають 520...650 °С. При такій температурі заготовку витримують в печі не менше 3 годин з розрахунку 1,5 години на кожні 25 мм найбільшої товщини заготовки.

*Термоудар* використовують для заготовок станин масою не більше 5 т, довжиною не більше 3 м при відношенні товщини стінки до подвоєної приведенної товщини напрямних не більше 0,7.

Заготовку завантажують в піч, витримують в печі при температурі 400...600 °С протягом 5...40 хв, потім охолоджують на повітрі.

*Прискорений відпал* рекомендовано для тих же заготовок, що й термоудар, але температура печі після завантаження заготовок зменшується нижче 400 °С. Після завантаження заготовки в піч при температурі 340...360 °С виконують нагрів до цієї температури, витримку заготовки протягом 1,5...4,5 години в печі і потім охолодження заготовки на повітрі.

*Зміцнює теплове старіння* використовують для жорстких станин і для станин з поверхнево-загартованими напрямними, коли неможливе використання віброобробки. Заготовку нагрівають разом з піччю зі швидкістю не більше 150 °С/год до температури (250±30)°С [якщо є поверхнево-загартовані деталі, то нагрів припустимий до (180±15)°С]. Далі заготовку витримують в печі не менше 5 годин, після чого охолоджують разом з піччю або на повітрі.

Для зменшення жолоблення станин використовують комбіновані способи, наприклад, низькотемпературний відпал з наступним природнім старінням для станин верстатів класів точності А і С.

## 1.1.2 Технологічний процес виготовлення станин

### 1.1.2.1 Чорнова обробка заготовок станин

Чорнову обробку заготовки станини починають з обробки загальних технологічних баз, якими для горизонтальних станин є площина основи і платини на боковій стороні станини. Заготовка базується по напрямних.

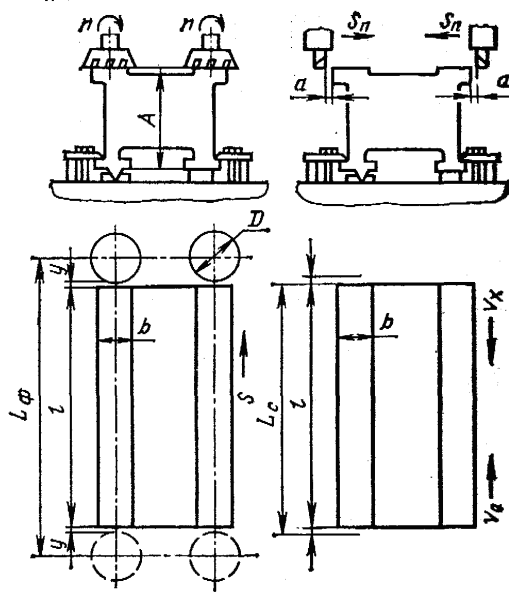


Рисунок 1.2 – Обробка площини основи заготовки станини фрезеруванням і струганням

Чорнова обробка основи можлива різними методами: торцевим фрезеруванням, струганням (рисунок 1.2), точінням на токарно-карусельних верстатах, чорновим шліфуванням торцем сегментного шліфувального круга, периферією шліфувального круга або абразивною стрічкою на стрічково-шліфувальному верстаті.

Вибір методу чорнової обробки станин виконується з урахуванням форми контуру оброблюваної поверхні, припуску, кількості заготовок в партії, наявності обладнання і інших умов виробництва. Вибір оптимального методу обробки здійснюється за мінімумом приведених витрат або собівартості обробки.

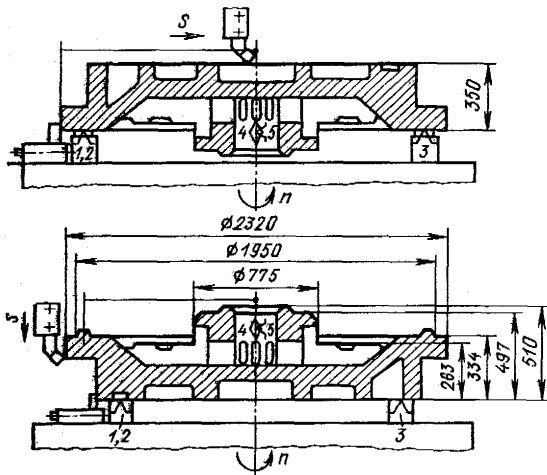


Рисунок 1.3 – Обробка основи і кругових напрямних заготовки станини точінням на токарно-карусельному верстаті

Чорнова обробка напрямних виконується після обробки технологічних баз: основи і бокових платин. Вибір методу обробки подібний до методу обробки основи. Прямолинійні чавунні напрямні обробляють як правило струганням або фрезеруванням. Кругові напрямні обробляють на токарно-карусельному верстаті (рисунок 1.3).

Фрезерування напрямних може виконуватись на універсальних і спеціальних багатошпindelних поздовжньо-фрезерних верстатах, а також багатоцільових верстатах з ЧПК різними способами.

1 Фрезерування стандартними торцевими, циліндричними і дисковими фрезами. Обробка напрямних станини токарного верстата на чотиришпindelному поздовжньо-фрезерному верстаті показана на рисунку 1.4, а. Для повної обробки поверхонь напрямних необхідно в даному випадку сім переходів зі зміною фрез та положення фрезерних бабок. Обробка напрямних може здійснюватись за одну або декілька установок заготовки станини.

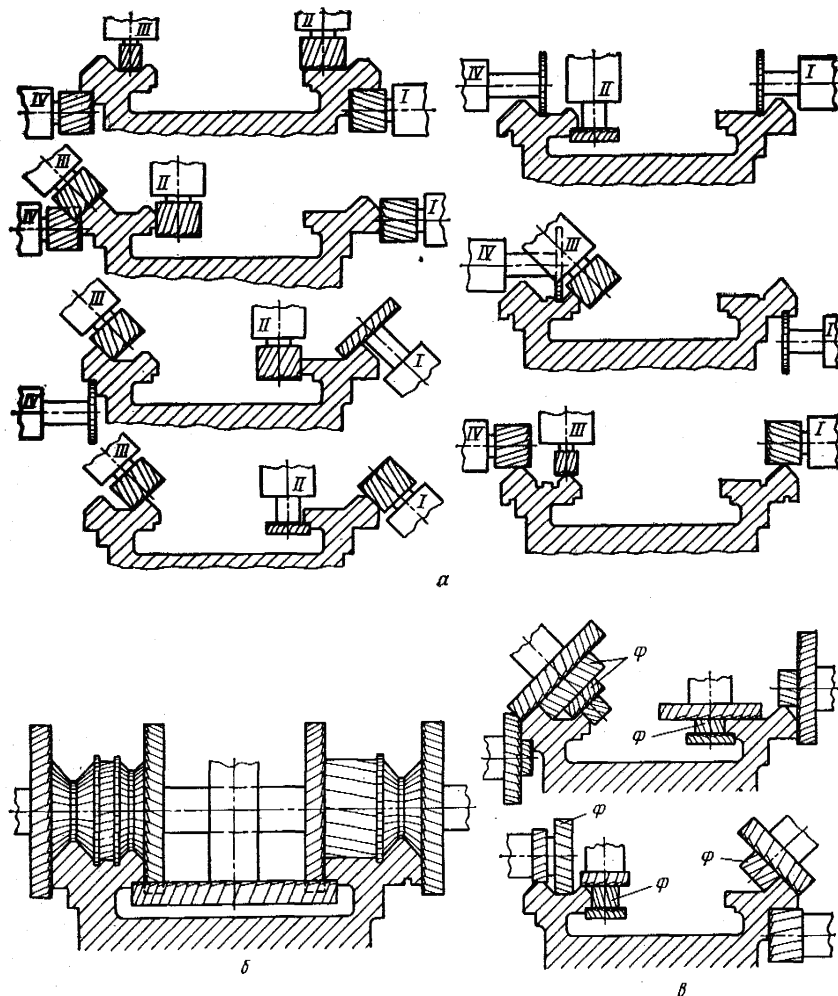


Рисунок 1.4 – Способи фрезерування прямолінійних напрямних заготовки: а – стандартними фрезами; б – спеціальним набором фрез; в - декількома наборами фрез; φ – спеціальні фрези в наборі

2 Фрезерування напрямних спеціальним набором фрез на поздовжньо-фрезерному верстаті. Дві горизонтальні фрезерні бабки обертають одну оправку з набором профільних фрез, що забезпечують повну обробку профілю напрямних за один робочий хід (рисунок 1.4, б). Платики та канали обробляються в окремій операції ще чотирма фрезами.

*Недолік* – висока вартість спеціальних фрез, тому метод використовують в великосерійному виробництві. Для напрямних складного профілю необхідно в набір включати фрези з швидкорізальної сталі, за якими установлюють режими різання, що впливає на продуктивність. Крім того, пот-



рібний верстат достатньої потужності приводу, а також оправка високої жорсткості.

3 Фрезерування напрямних декількома наборами фрез. Цей метод є проміжним між фрезеруванням стандартними фрезами та фрезеруванням набором фрез (рисунок 1.4, в). Повна чорнова обробка напрямних може бути виконана або на двох чотиришпindelних поздовжньо-фрезерних верстатах, або на одному восьмишпindelному верстаті. Невеликі набори з декількох фрез можуть бути в основному складені зі стандартних фрез. Метод доцільно використовувати в великосерійному виробництві.

Використовуючи багатоцільові верстати, чорнову обробку заготовки станини токарного верстата можна виконати за дві установки заготовки (рисунок 1.5, а). В ряді випадків можлива повна чорнова обробка за одну установку заготовки (рисунок 5, б), якщо будь-яка бокова сторона, наприклад А, не потребує чорнової обробки. В даному випадку заготовка базується по литих напрямних з вивіркою на палеті (приспосованні-супутнику).

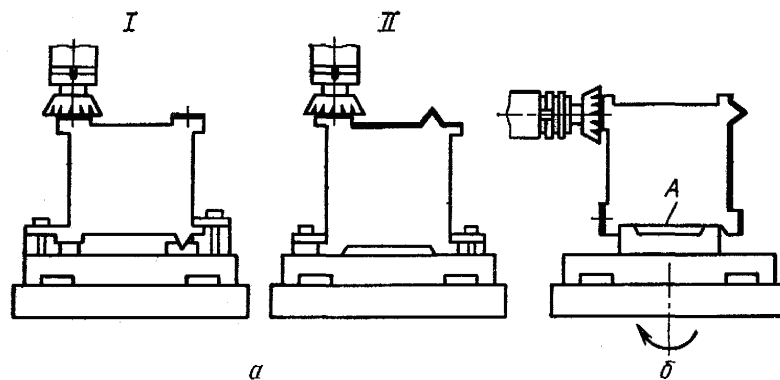


Рисунок 1.5 – Схеми установки литої заготовки станини на палеті

### 1.1.2.2 Чистова обробка станин

Чистова обробка станин виконується після чорнової обробки та старіння литих станин або після термо- або віброобробки зварних заготовок станин. Метою чистової обробки є забезпечити потрібну розмірну точність станини (точність відстаней, поворотів, форми і шорсткість поверхонь), видалення дефектного шару після чорнової обробки.

Обробка основи станини, напрямних, верхніх, бокових і торцевих поверхонь виконується фрезеруванням, струганням і шліфуванням на відповідних верстатах подібно чорновій обробці.

Чистову обробку заготовки починають з обробки технологічних баз, тобто з обробки у заготовок горизонтальних станин площини основи і бокових платиків.

Чистове фрезерування основи і інших поверхонь станини виконують торцевими фрезами, оснащеними пластинами твердого сплаву або надтвердого матеріалу.

При торцевому фрезеруванні оброблена поверхня має ризики, що перехресуються, – сліди зубів фрези, що багаторазово переміщуються по об-

робленій поверхні. Внаслідок чого погіршується точність форми і шорсткість обробленої поверхні, зменшується стійкість фрези.

Для усунення цього недоліку використовують три способи:

1) зуби фрези установлюють ступінчасто, щоб тільки один найбільш виступаючий (на 0,1 мм) зачисний зуб контактував з остаточно обробленою площиною;

2) використовують однозубу фрезу з ріжучою пластиною з надтвердого матеріалу;

3) нахиляють фрезерний шпиндель на кут біля  $20''$ , що відповідає відхиленню  $0,1/1000$  мм відносно до нормалі оброблюваної поверхні в напрямку поздовжньої подачі. При цьому утворюється увігнутість поверхні, що залежить від діаметру фрези і кута нахилу шпинделя (рисунок 1.6).

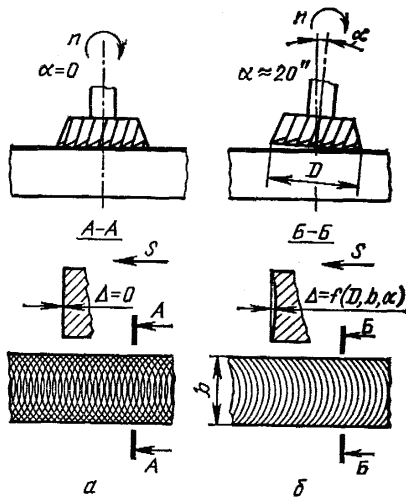


Рисунок 1.6 – Торцеве фрезерування:  
а – звичайне; б – з нахилом шпинделя

*Перший спосіб* використовують для чистової обробки не тільки основи, але й інших поверхонь станини. Ширина леза виступаючого зуба повинна бути не менше подвоєної подачі на оберт фрези. Швидкість різання при тонкому фрезеруванні твердим сплавом не більше 200 м/хв., подача не більше 0,05 мм/зуб.

*Другий спосіб* використовують для остаточної обробки загартованих напрямних станини замість шліфування.

*Третій спосіб* можна використовувати при обробці фрезами великого діаметра за один робочий хід при допустимій погрішності форми до 0,04 мм.

Остаточне стругання основи станини виконується з поздовжньою подачею не менше чим за два робочих ходи широкими різцями, оснащеними пластинами твердого сплаву. Останній робочий хід при струганні виконується з глибиною різання не більше 0,05 мм та швидкістю до 15 м/хв з поздовжньою подачею не більше 0,6 ширини різця. Як МОР використовується емульсія. При тонкому фрезеруванні або струганні забезпечується параметр шорсткості поверхні  $Ra=1,25$  мкм, відхилення від площинності не більше 0,02 мм на 1000 мм довжини.

Допускається лише увігнутість обробленої поверхні станини. Для цього заготовку станини при установці пружно деформують.

Обробка напрямних і інших високоточних поверхонь станини виконується фрезеруванням, струганням, шліфуванням або шабренням. Попередня обробка напрямних і інших поверхонь може бути виконана на поз-

довжньо-фрезерних, поздовжньо-стругальних універсальних або спеціальних верстатах, а також на багатоцільових верстатах з ЧПК.

Канавки, уступи, фаски напрямних можуть бути оброблені остаточно відповідно до вимог креслення. Відхилення від прямолінійності напрямних та відхилення від площинності інших поверхонь повинні бути не більше 0,05 мм на довжині 1000 мм і параметр шорсткості поверхонь  $Ra=1,25$  мкм. Подальшу попередню або остаточно, в залежності від вимог точності, обробку напрямних і інших поверхонь допоміжних баз станин необхідно виконувати на поздовжньо-фрезерних або поздовжньо-стругальних верстатах підвищеної точності, залишаючи припуск 0,1...0,2 мм на сторону під шабрення або шліфування. Остаточне стругання напрямних і інших точних поверхонь допоміжних баз станини виконується широкими різцями на тих же режимах, що й при струганні основи. Відхилення від прямолінійності, площинності і вгнутість напрямних після стругання не більше 0,015 мм на 1000 мм довжини.

*Обробка торцевих стінок* горизонтальних станин виконується на горизонтально-розточувальних і багатоцільових верстатах.

*Обробка отворів* може виконуватись на *радіально-свердлильних верстатах* за попередньою розміткою або за накладним кондуктором.

*Обробка отворів на багатоцільовому верстаті* виконується за програмою без кондукторів та без попередньої розмітки заготовок. При наявності поворотного столу можлива обробка заготовки коротких станин з чотирьох боків. При використанні порталного багатоцільового верстату можлива обробка станини зверху і з бокових сторін (якщо верстат має три шпинделі).

Можливе також використання поворотної шпиндельної головки, що забезпечує обробку станини з торцевих поверхонь в крайніх положеннях стола.

### **1.1.2.3 Опоряджувальна обробка станин**

Опорядження поверхонь напрямних станин виконують на останньому етапі технологічного процесу шабренням, шліфуванням, тонким фрезеруванням спеціальними фрезами.

*Шабрення* використовують для обробки незагартованих напрямних і інших поверхонь станин в випадках: необхідності забезпечення високої точності (відхилення менше 10 мкм на 1000 мм), що не може бути отримана за допомогою обробки різанням; обробки напрямних великої довжини; обробки важкодоступних граней, торцевих поверхонь.

Шабрення дозволяє отримати точність напрямних в межах 2 мкм на 1000 мм довжини. Розрізняють два способи шабрення: ручне і механічне, при якому швидкість різання забезпечується приводом, а подача шабера здійснюється вручну.

Шабрення виконується або по сполученій поверхні приєднуваної деталі або по еталонній поверхні шабрувальної лінійки або плити. Для ви-

значення виступаючих точок контакту оброблюваної поверхні станини з еталонною на оброблювану поверхню наносять тонкий шар фарби. Глибина різання при попередньому шабрненні може досягати 0,04 мм, при остаточному – менше 5...10 мкм. При остаточному шабрненні треба забезпечити потрібну кількість точок контакту на площі квадрату розміром 25x25 мм. Для верстатів нормальної точності на напрямних треба забезпечити до 20 точок в квадраті 25x25 мм, для верстатів більш високих класів точності (П, В, А) – 25...30 точок.

Найкраще обробляється шабрненням сірий чавун твердістю до HB220. Сталеві напрямні і чавунні твердістю HB>220 шабряться незадовільно. Шорсткість поверхні при механічному шабрненні складає Ra=3...5 мкм, при ручному – Ra=1...3 мкм.

Недолік шабрнення – низька продуктивність і висока собівартість обробки.

*Поверхнєве пластичне деформування* напрямних виконується обкатуванням напрямних станини роликowymi або шариковими зміцнювальними пристроями на поздовжньо-стругальному верстаті. В результаті поверхневий шар напрямних зміцнюється на глибину до 0,4 мм, створюється наклеп та підвищується твердість на HB20. Також зменшується шорсткість поверхні напрямних.

*Термічна обробка* напрямних є основним методом зміцнення чавунних і сталевих напрямних станин. Монолітні напрямні з чавуна СЧ20, СЧ25, СЧ30 і інших марок піддаються поверхневому гартуванню до твердості HRCэ 45...52. Глибина загартованого шару 1...3 мм. Гартування напрямних виконується на спеціальній установці з нагрівом *струмами високої частоти (СВЧ)*. Над напрямними з зазором 5...10 мм установлюють індуктори. Нагріті СВЧ напрямні охолоджують водою, що подається під тиском  $(1...2)10^5$  Па в безпосередній близькості від індукторів, і загартовуються.

Поверхнєве гартування напрямних може виконуватись *лазером*. Використовують два способи: 1) лінійне сканування розфокусованим променем і 2) сфокусованим променем, що коливається.

При першому методі промінь переміщується по поверхні стрічками з поперечним зміщенням, яке менше ширини плями променя. В перерізі напрямної утворюється ряд зміцнених зон в вигляді сегментів, края яких накладені один на одного.

При другому методі коливання лазерного променя виконується коливанням дзеркал, що відхиляють промінь в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Промінь лазера переміщується по поверхні з більшою швидкістю, чим розповсюджується теплота в металі, тому оброблювана поверхня нагрівається таким же чином, як і при постійному потоці енергії. Завдяки великій швидкості нагрівання і охолодження утворюється дрібнодисперсна і високоміцна структура поверхневого шару. Загальне нагрівання станини при лазерному поверхневому гартуванні менше, чим при СВЧ, тому температурні деформації станини при гартуванні лазером менше, чим

при СВЧ. Припуск на подальшу обробку напрямних станини можна зменшити.

Загартовані чавунні або сталеві напрямні твердістю до HRC<sub>э</sub> 65 можуть бути оброблені шліфуванням і фрезеруванням фрезами, оснащеними пластинками з надтвердого матеріалу, наприклад двохшаровим гексанітом.

Шліфування напрямних може виконуватись торцем або периферією шліфувального круга (рисунок 1.7). При шліфуванні периферією круга продуктивність на 30...40 % більше, досягається більш висока точність форми й менша шорсткість обробленої поверхні.

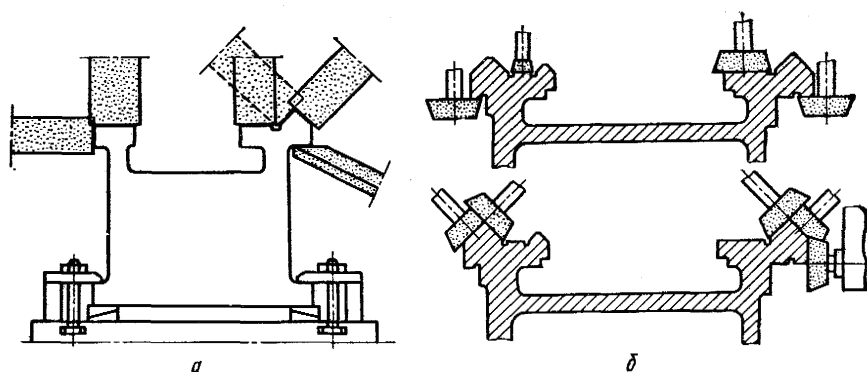


Рисунок 1.7 – Шліфування напрямних станин:  
а – периферією кругів; б – торцями шліфувальних кругів

Шліфування відкритих напрямних і інших поверхонь виконують в основному периферією круга з охолодженням МОТС. Призматичні напрямні найкраще шліфувати профільним кругом (рисунок 1.8)

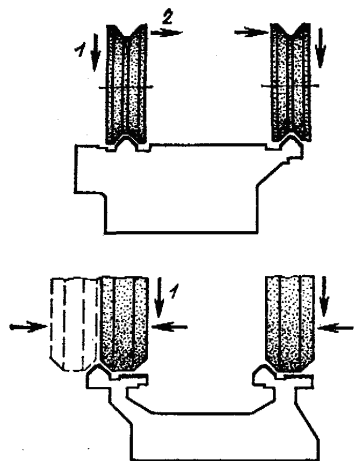


Рисунок 1.8 – Шліфування напрямних профільними кругами: 1 – подача на врізання; 2 – прискорене переміщення

Шліфування напрямних ельборовими кругами дозволяє отримати відхилення від площинності поверхні до 0,005 мм на 1000 мм довжини і параметр шорсткості  $Ra=0,63...0,16$  мкм. При цьому продуктивність шліфування вище в 2...4 рази, а стійкість круга в 50 разів більше, чим звичайними кругами.

В серійному виробництві шліфування напрямних доцільно виконувати на поздовжньо-шліфувальних верстатах з ЧПК.

Фрезерування загартованих напрямних виконується фрезами зі вставними ножами, оснащеними ріжучими пластинками з надтвердого матеріалу. При обробці загартованої сталі і чавуна як правило використовують пластини круглої форми з переднім кутом  $-8^{\circ}$ . Глибина різання 0,05...3 мм, подача на зуб фрези 0,1...0,7 мм при обробці чавуна і 0,01...0,8 мм при об-

робці сталі, швидкість різання 300...420 м/хв для чавуна і 75...300 м/хв для сталі.

Для зменшення шорсткості поверхні напрямних чистову обробку фрезеруванням можна виконувати однозубою фрезою, оснащеною гексанітом.

#### **1.1.2.4 Технологія виготовлення станини токарного верстата**

А 005 Поздовжньо-фрезерна (поздовжньо-стругальна)

Б Поздовжньо-фрезерний (поздовжньо-стругальний) верстат

О Фрезерувати (стругати) основу та два передніх платики

Технологічна база – поверхня напрямних, торець

А 010 Поздовжньо-фрезерна (поздовжньо-стругальна)

Б Поздовжньо-фрезерний, багатоцільовий з ЧПК, (поздовжньо-стругальний) верстат

О Фрезерувати (стругати) напрямні і платики

Технологічна база – поверхня основи, торець

А 015 Термічна (штучне старіння)

А 020 Поздовжньо-фрезерна

Б Поздовжньо-фрезерний верстат

О Фрезерувати основу та два передніх платики

Технологічна база – поверхня напрямних, бокова поверхня, торець

А 025 Поздовжньо-фрезерна

Б Поздовжньо-фрезерний верстат

О Фрезерувати заниження під передню бабку і коробку подач

Технологічна база – поверхня основи, бокова поверхня, торець

А 030 Поздовжньо-фрезерна

Б Поздовжньо-фрезерний верстат

О Фрезерувати напрямні і платики передньої і задньої поверхонь

Технологічна база – поверхня основи, бокова поверхня

А 035 Поздовжньо-стругальна

Б Поздовжньо-стругальний верстат

О Стругати вертикальні поверхні напрямних, канавки і фаски

Технологічна база – поверхня основи, бокова поверхня

А 040 Слюсарна

А 045 Термічна (гартування напрямних СВЧ)

А 050 Поздовжньо-шліфувальна

Б Поздовжньо-шліфувальний верстат

О Шліфувати основу

Технологічна база – поверхня напрямних, бокова поверхня, торець

А 055 Поздовжньо-шліфувальна

Б Поздовжньо-шліфувальний верстат

О Шліфувати напрямні попередньо

Технологічна база – поверхня напрямних, бокова поверхня

- А 060 Радіально-свердлильна
- Б Радіально-свердлильний верстат
- О Свердлити отвори з чотирьох боків станини
- Технологічна база – поверхня основи, бокова поверхня, торець
- А 065 Складальна
- Б Складальний стенд
- О Скласти станину з основою
- Технологічна база – поверхня основи
- А 070 Поздовжньо-шліфувальна
- Б Поздовжньо-шліфувальний верстат
- О Шліфувати напрямні остаточно
- Технологічна база – поверхня напрямних, бокова поверхня, торець
- А 075 Контрольна

### 1.1.3 Контроль станин

Контроль станин виконують в процесі виготовлення, при складанні верстата, в процесі експлуатації. При виготовленні контролюють розмірні параметри станини і при необхідності властивості матеріалу.

*Властивості чавуна* литих напрямних визначають шляхом випробування зразків, що вирізаються зі спеціально передбачених у відливці приливів або методами неруйнівного контролю.

*Твердість* литих напрямних виміряється після чорнової обробки в декількох місцях переносним приладом ТБП. Твердість загартованих напрямних контролюють за допомогою приладу ТРП.

*Шорсткість* оброблених поверхонь станини вимірюють профілографом або визначають порівнянням зі зразками шорсткості.

*Площинність напрямних* і інших поверхонь станини можна контролювати за фарбою підрахуванням кількості точок контакту вимірювальної лінійки, наприклад ШМ-1-2000Ш з напрямними.

Для визначення відхилення від площинності можна установити вимірювальну лінійку на кінцеві міри однакової висоти та виміряти відстані від площини лінійки до напрямних в декількох місцях за допомогою вимірювальної головки. Також можна використовувати для вимірювання відхилення від площинності оптичні плоскоміри ІС-45.

*Прямолінійність напрямних* контролюють за допомогою рівня, автоколіматора або лазерного інтерферометра.

Схема контролю прямолінійності за допомогою автоколіматора наведена на рисунку 1.9. Визирну трубу 1 автоколіматора установлюють так, щоб оптична вісь була паралельною напрямним. Дзеркало 2 установлюють на спеціальному містку 3 на напрямних.

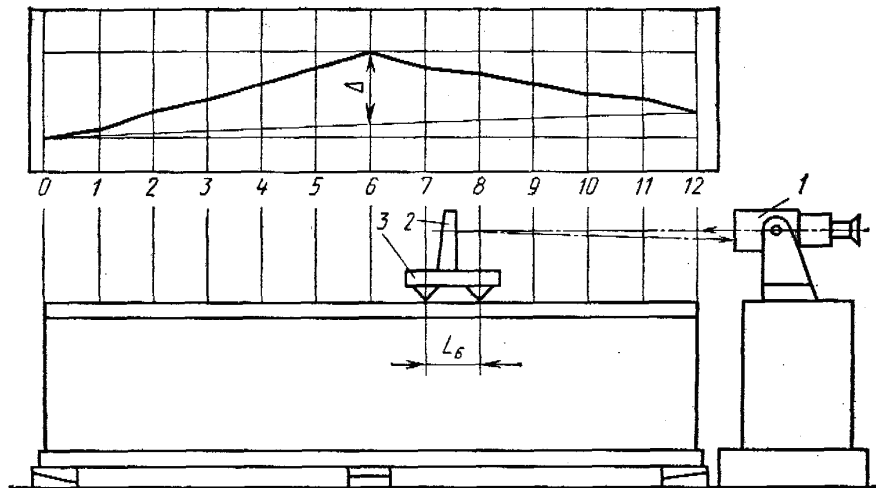


Рисунок 1.9 – Схема контролю прямолінійності напрямних за допомогою автоколіматора

Місток 3 з дзеркалом переміщують уздовж напрямних з кроком, що дорівнює відстані між опорами містка, яке не повинно перевищувати 10 % загальної довжини контрольованої поверхні. При кожному положенні містка спостерігають через окуляр та підліковують відхилення дзеркальної марки, що викликається кутівим відхиленням містка 3. За отриманими даними будується графік, за яким визначають відхилення від прямолінійності. Автоколіматор АК-0,5У має ціну поділки  $2,4 \cdot 10^{-6}$  рад, похибка вимірювання  $\pm 14,5 \cdot 10^{-6}$  рад на усьому діапазоні вимірювання.

Найбільш високу точність та рівень автоматизації контролю забезпечують лазерні інтерферометри. Схема контролю прямолінійності напрямних лазерним інтерферометром подібна схемі контролю автоколіматором.

Форму профілю напрямних контролюють спеціальним шаблоном і набором щупів.

Паралельність поверхонь можна контролювати за допомогою рівня. Рівень спочатку установлюють на одну базову поверхню. Станину виставляють за рівнем, потім рівень переносять на іншу поверхню та відраховують відхилення від паралельності. Відхилення від перпендикулярності поверхонь визначають аналогічно за допомогою рамного рівня.

Відхилення від паралельності і перпендикулярності поверхонь напрямних можна виміряти за допомогою вимірювальних головок, установлених на зразковому містку, який пересувають по напрямних.

Зношення напрямних в процесі експлуатації станин можна контролювати вимірюванням під мікроскопом довжини ямок глибиною 0,1...0,15 мм, які наносять на напрямні твердосплавним роликком за допомогою переносного приладу ПВЛ-2.



## **1.2 Технологія виготовлення корпусних деталей**

1.2.1 Службове призначення, конструкція та основні вимоги до корпусних деталей. Виготовлення заготовок корпусних деталей

1.2.2 Обробка основних конструктивних елементів корпусних деталей

1.2.2.1 Обробка зовнішніх площин

1.2.2.2 Обробка головних отворів корпусних деталей

1.2.2.3 Обробка отворів кріплення та інших отворів

1.2.2.4 Опоряджувальна обробка головних отворів

1.2.3 Технологічний процес виготовлення корпусних деталей

1.2.4 Контроль корпусних деталей

### **1.2.1 Службове призначення, конструкція та основні вимоги до корпусних деталей. Виготовлення заготовок корпусних деталей**

Корпусні деталі машин є базовими деталями, на них установлюють різні деталі та складальні одиниці, точність відносного положення яких повинна бути забезпечена як в статиці, так і в процесі роботи машини під навантаженням. Тому корпусні деталі повинні мати потрібну точність, необхідну жорсткість та вібростійкість, що забезпечує потрібне відносне положення з'єднаних деталей та вузлів, правильність роботи механізмів і відсутність вібрацій.

Корпусні деталі можна поділити на групи (рисунок 1.10).

*Перша група* – корпусні деталі коробчастої форми у вигляді паралелепіпеду, габарити яких мають однаковий порядок. До цієї групи належать корпуса редукторів, корпуса коробок швидкостей, коробок подачі шпиндельних бабок (рисунок 1.10, а). Основними базами таких корпусів є плоскі поверхні, а допоміжними – головні отвори і торці, що призначені для базування валів і шпинделів. Корпуса коробчастої форми можуть бути суцільними і рознімними; площина роз'єму може проходити по осях головних отворів.

*Друга група* – корпусні деталі з гладкими внутрішніми циліндричними поверхнями, протяжність яких перевищує їх діаметральні розміри. До цієї групи належать блоки циліндрів двигунів і компресорів, корпуси різних циліндрів, пневмо- та гідроапаратури (рисунок 1.10, б), корпуси задніх бабок, що забезпечують висування пінолі і заднього центру.

*Третя група* – корпусні деталі складної просторової геометричної форми. До них належать корпуси парових і газових турбін, відцентрових насосів, колекторів, кранів, вентилів (рисунок 1.10, в). Складна просторова форма і геометричні розміри таких корпусів призначені для формування потрібних потоків руху газів або рідин.

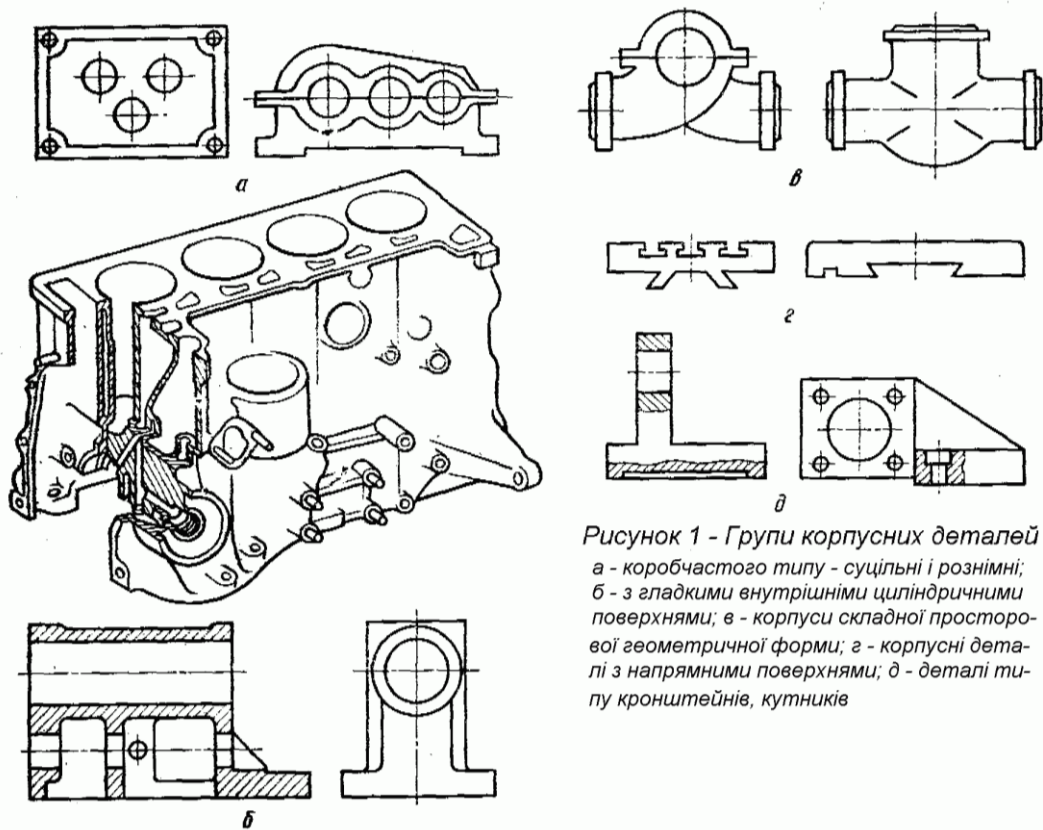


Рисунок 1 - Групи корпусних деталей  
 а - коробчастого типу - суцільні і рознімні;  
 б - з гладкими внутрішніми циліндричними  
 поверхнями; в - корпуси складної просторо-  
 вої геометричної форми; г - корпусні дета-  
 лі з напрямними поверхнями; д - деталі ти-  
 пу кронштейнів, кутників

Четверта група – корпусні деталі з напрямними поверхнями – столи, супутники, каретки, полозки, супорти, повзуни, планшайби (рисунок 1.10, г). В процесі роботи ці деталі виконують зворотньо-поступальний рух по напрямних поверхнях, забезпечуючи точне відносне переміщення оброблюваних заготовок і різального інструмента.

П'ята група - корпусні деталі типу кронштейнів, кутків, стояків плит і кришок (рисунок 1.10, д). У цю групу входять корпусні деталі, що виконують функцію додаткових опор для забезпечення потрібної точності відносного положення окремих механізмів, валів, зубчатих коліс.

В залежності від конструктивного виконання і складності до корпусних деталей пред'являють наступні технічні вимоги.

1 Точність геометричної форми плоских базуючих поверхонь, що регламентуються як прямолінійність поверхні в заданому напрямку на визначеній довжині і як площинність поверхні в межах її габаритів. Для поверхонь розміром до 500 мм відхилення від площинності і паралельності в межах 0,01...0,07 мм, а у відповідальних корпусів – 0,002...0,005 мм.

2 Точність відносного повороту плоских базуючих поверхонь. Гранічні відхилення від паралельності або перпендикулярності однієї плоскої поверхні відносно іншої становлять 0,015/200...0,1/200, а для деталей підвищеної точності – 0,003/200...0,01/200.

3 Точність відстані між двох паралельних площин. Для більшості корпусних деталей знаходиться в межах 0,02...0,5 мм, а у корпусів підвищеної точності – 0,005...0,01 мм.

4 Точність діаметральних розмірів і геометричної форми отворів. Діаметральні розміри головних отворів виконують за 6...11-м квалітетами. Відхилення геометричної форми отворів – некруглість в поперечному перерізі обмежують в межах  $1/5 \dots 1/2$  допуску на діаметр отвору.

5 Точність відносного кутового положення осей отворів. Відхилення від паралельності і перпендикулярності осей головних отворів відносно плоских поверхонь становлять  $0,01/200 \dots 0,15/200$ , граничні кутові відхилення осі одного отвору відносно осі іншого –  $0,005/200 \dots 0,1/200$ .

6 Точність відстані від осей головних отворів до базуючої площини для більшості базових деталей становить  $0,02 \dots 0,5$  мм. Точність відстаней між осями головних отворів  $0,01 \dots 0,15$  мм. Співвісність отворів в межах  $0,002 \dots 0,05$  мм.

7 Параметр шорсткості плоских базуючих поверхонь  $Ra=2,5 \dots 0,63$  мкм, параметр шорсткості поверхонь головних отворів  $Ra=1,25 \dots 0,16$  мкм, а для відповідальних деталей до  $Ra=0,08$  мкм.

### ***Матеріал та методи отримання заготовок корпусних деталей***

Як матеріал для виготовлення різних корпусних деталей використовують, головним чином, сірий чавун, рідше вуглецеву сталь, використовують також ковкий чавун, леговану сталь і сплави кольорових металів.

Корпусні деталі металорізальних верстатів, корпуси сільськогосподарських та підйомно-транспортних машин, корпуси різних стаціонарних редукторів, відцентрових насосів виготовляють з сірого чавуну марок СЧ15, СЧ18, СЧ21.

Плити супутників виконують зі сталей 30Л, 40Х, 12ХН3А, 20Х3ВМФ. Корпусні деталі ходової частини машини, що працюють під великими навантаженнями, виконують з сірого чавуну СЧ21, СЧ24, а також з ковкого чавуну КЧ35-10. Блоки циліндрів, головки блоків двигунів виконують з чавуну марок СЧ21, СЧ24 та алюмінієвих сплавів.

Корпусні деталі, що працюють при стиканні з агресивним середовищем виконують з корозійно-стійких матеріалів, зокрема легованих сталей 12Х18Н9Т, 20Х23Н13, а також бронзи та ливарної латуні ЛК80-3Л. Для корпусних деталей малої маси використовують алюмінієві і магнієві сплави АЛ4, АЛ8, АЛ10В, АЛ13.

Зварні корпусні деталі редукторів, зварні деталі типу кронштейнів, стояків виготовляють з листової маловуглецевої сталі Ст3, Ст4. Штамповарні картери задніх мостів автомобілів виконують з листової сталі 35, 40.

Заготовки для корпусних деталей отримують литтям та зварюванням.

Основними способами отримання відливок є: лиття в піщану форму, в кокіль, під тиском, лиття в оболонкові форми, а для малих за масою та габаритами деталей – лиття по виплавлених моделях.

Найбільш поширеним методом є лиття в піщану форму. В одиничному виробництві і при виготовленні особливо складних відливок викори-

стовують ручне формування, в серійному і масовому виробництві для малих і середніх відливок використовують машинне формування.

Лиття в кокіль використовують для отримання фасонних відливок з кольорових металів, чавуну і сталі в умовах серійного і масового виробництва розмірами до 1,5 м і масою до декількох тонн. Точність розмірів відливок в кокіль 11, 12-го квалітетів, параметр шорсткості поверхонь відливок  $Ra=10\dots 5$  мкм.

Литтям під тиском отримують точні відливки корпусних деталей з кольорових металів. Точність розмірів таких відливок відповідає 11...14-му квалітетам, а окремих розмірів – 9...10-му квалітетам, шорсткість поверхонь відливок  $Ra=5\dots 1,25$  мкм.

Лиття в оболонкові форми використовують для відповідальних фасонних відливок з різних матеріалів в серійному і масовому виробництві. Заготовки мають найбільші розміри до 500...700 мм і масу не більше 50 кг. Точність розмірів відливок 12...14-го квалітетів, шорсткість поверхні  $Ra=10\dots 2,5$  мкм.

Зварні заготовки зі сталі використовують, головним чином, в одиночному і малосерійному виробництві для корпусів відносно простої геометричної форми і для корпусів, що сприймають ударні навантаження.

Використання зварних заготовок замість відливок потрібно обґрунтувати економічно.

Зварні заготовки, а також відливки піддають термічній обробці.

Відливки з сірого чавуну піддаються низькотемпературному відпалу, що забезпечує зняття внутрішніх напружень, підвищення в'язкості і стабілізації розмірів деталі.

Використовують також штучне та природне старіння для зниження внутрішніх напружень чавунних відливок.

## **1.2.2 Обробка основних конструктивних елементів корпусних деталей**

### **1.2.2.1 Обробка зовнішніх площин**

Зовнішні поверхні заготовок корпусних деталей обробляють наступними методами: фрезеруванням, струганням, точінням, шліфуванням і протягуванням.

Фрезерування є найбільш поширеним методом обробки зовнішніх поверхонь. Його використовують в умовах одиночного, серійного і масового виробництва. В залежності від типу виробництва і габаритів оброблюваних заготовок використовують універсально-фрезерні верстати з вертикальним і горизонтальним розташуванням шпинделів, багатошпиндельні поздовжньо-фрезерні верстати, карусельно- і барабанно-фрезерні верстати агрегатного типу, а також верстати з ЧПК і багатоцільові («обробні центри»).

**На універсально-фрезерних верстатах** обробляють заготовки корпусних деталей малих габаритів в одиничному і малосерійному виробництвах.

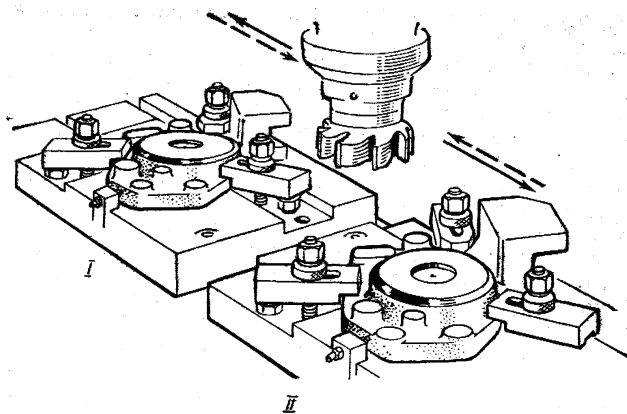


Рисунок 1.11 – Обробка заготовок корпусних деталей по схемі маятникового фрезерування

Для підвищення продуктивності обробку виконують по схемі «маятникового» фрезерування (рисунок 1.11).

На столі верстата є дві робочі позиції. В процесі фрезерування заготовки, що установлена в позиції I, виконується зняття та установка нової заготовки в позиції II.

**Багатошпindelні поздовжньо-фрезерні верстати** використовують для обробки великогабаритних корпусних деталей або для групової обробки деталей середніх розмірів в серійному виробництві. При груповій обробці послідовно установлених заготовок зменшення машинного часу досягається в результаті перекриття відстаней на врізання та вихід фрези.

Ефективним методом підвищення продуктивності при обробці заготовок корпусних деталей на поздовжньо-фрезерних верстатах є фрезерування в перекладку. На столі верстата установлюють спеціальне багатомісне пристосування, на якому оброблювані заготовки визначеним способом орієнтуються відносно столу верстата і інструмента (рисунок 1.12).

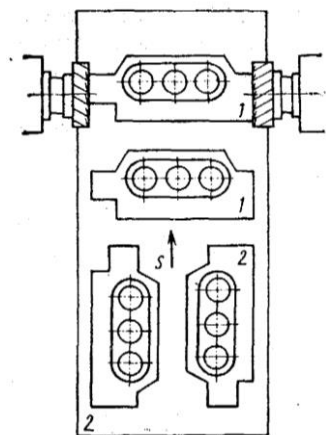


Рисунок 1.12 – Фрезерування заготовок корпусних деталей в перекладку

За один робочий хід в кожній позиції обробляють одну або декілька поверхонь заготовок. Потім заготовки перекладають з попередньої позиції на наступну. По закінченню робочого ходу з останньої позиції знімають готову деталь, а на першу позицію установлюють нову заготовку. Обробку в перекладку можна виконувати за схемою однопотокової або двохпотокової обробки. Можна обробляти одночасно однакові або різні заготовки, наприклад заготовки сполучених деталей одного комплексу типу кришка-корпус, або верхня і нижня половини рознімних корпусів.

Зменшення штучного часу відбувається в результаті зменшення кількості перекладок на верстаті, суміщення технологічних переходів, зменшення допоміжних ходів і відстаней на врізання і вихід інструменту.

**Карусельно-фрезерні і барабанно-фрезерні верстати** використовують для обробки корпусних деталей невеликих розмірів в великосерійному

і масовому виробництві. *Карусельно-фрезерні верстати* з круглим столом, що обертається, мають одну або декілька фрезерних головок з вертикальним розташуванням шпинделів. Установлення та зняття заготовок виконують поза зони обробки та за часом суміщають з процесом різання, який відбувається при безперервному обертанні стола. Безперервна паралельно-послідовна чорнова і чистова обробка групи заготовок дозволяє досягти високої продуктивності.

На *барабанно-фрезерному верстаті* виконують одночасну обробку в розмір двох паралельних поверхонь. Барабан, що безперервно обертається відносно горизонтальної осі, має від чотирьох до восьми граней, на яких установлені пристосування для закріплення оброблюваних заготовок. Загальна кількість фрезерних головок може складати 2, 4, 6 або 8. Обробку виконують торцевими фрезами. Безперервна, паралельно-послідовна чорнова і чистова обробка деталей при суміщенні в часі основних і допоміжних ходів дозволяє отримати високу продуктивність.

**Стругання** зовнішніх площин корпусних деталей використовують в умовах одиничного та малосерійного виробництва, а також при обробці великогабаритних, важких деталей. Цю операцію виконують на поздовжньо-стругальних верстатах з використанням вертикальних і горизонтальних супортів. Продуктивність стругання можна підвищити одночасною обробкою групи заготовок, послідовно установлених в один або два ряди на столі верстата. При цьому доцільна паралельна обробка горизонтальних і вертикальних поверхонь з використанням відповідних супортів верстата.

При струганні можна знімати за один робочий хід припуск до 15...20 мм, досягти високу точність по прямолінійності оброблених поверхонь через більшу жорсткість стругальних верстатів порівняно з фрезерними головками і відносно малими температурними деформаціями. Стругання використовують при обробці заготовок корпусних деталей з напрямними – столів, кареток, повзунів.

На *токарно-карусельних верстатах* виконують точіння таких корпусних деталей, як корпуси парових турбін, компресорів, відцентрових насосів, генераторів, планшайби верстатів і великогабаритні вентилі. В умовах серійного виробництва на токарно-карусельних верстатах одночасно обробляють на відкритій площині роз'єму групу невеликих корпусів або кришок, що установлюють в пристосуваннях, що розташовані по периметру планшайби. При обробці можна видаляти припуск до 15 мм, забезпечити достатньо високі режими різання та продуктивність обробки.

**Шліфування** зовнішніх площин корпусних деталей використовують як завершальну обробку, що забезпечує шорсткість та точність геометричної форми оброблюваних поверхонь. Шліфування виконують на плоскошліфувальних верстатах з прямокутним або круглим столом. Обробка виконується периферією плоского круга, торцем чашкового круга або торцевою поверхнею сегментного круга.

**Протягування** зовнішніх площин корпусних деталей виконують в масовому виробництві на спеціалізованих протяжних верстатах горизонта-

льного і вертикального типу. Протягування є найбільш продуктивним методом обробки, при якому досягається висока точність розмірів і відносно го положення оброблюваних поверхонь.

Як фактор, що обмежує використання протягування, є відносно висока вартість ріжучого інструмента і виникаючі при обробці великі сили різання, що виключає обробку нежорстких деталей.

Протягування використовують для попередньої чистової і опоряджувальної обробки зовнішніх поверхонь заготовок корпусних деталей.

### **1.2.2.2 Обробка головних отворів корпусних деталей**

Обробку головних отворів виконують на розточувальних, координатно-розточувальних, свердлильних, агрегатних і інших верстатах, в тому числі верстатах з ЧПК та багатоцільових верстатах («обробних центрах»).

Обробку отворів в корпусних деталях виконують з використанням різного ріжучого інструменту: свердел, зенкерів, різців, розточувальних головок, розгорток, розточувальних пластин. Для опоряджувальної обробки використовують тонке розточування, шліфування, хонінгування, а також пластичне деформування.

Свердла різного діаметру використовуються для попередньої обробки при отриманні отворів в суцільному металі. Отвори діаметром більше 25 мм отримують за 2-3 робочих ходи, послідовно використовуючи спіральні свердла більшого розміру. Для отримання глибоких отворів використовують рушничні свердла з внутрішньою подачею МОТС або спеціальні кільцеві головки, що забезпечують отримання глибоких отворів діаметром більше 40 мм зі збереженням стрижня металу, що висвердлюється. Свердління і розсвердлювання отворів спіральними свердлами дозволяє отримати точність діаметральних розмірів за 11-м, 12-м квалітетами. Відхилення геометричної форми отворів діаметром до 50 мм знаходиться в межах 12...40 мкм, а параметр шорсткості поверхні  $Ra=6,3...12,5$  мкм для свердел діаметром до 15 мм і  $Ra=12,5...25$  мкм для свердел більшого діаметра.

Зенкерування використовують для обробки отворів, отриманих в заготовках, свердлінням, а також як остаточна обробка отворів невисокої точності. Однопрохідне зенкерування отворів в відливці дозволяє отримати точність діаметральних отворів за 11-м, 12-м квалітетами. Похибка геометричної форми отвору діаметром 40...150 мм складає 30...50 мкм. При напівчистовому зенкеруванні забезпечується точність отвору за 10-м квалітетом, відхилення геометричної форми для отворів діаметром 40...150 мм в межах 15...20 мкм і параметр шорсткості  $Ra=2,5...5$  мкм.

Розточування отворів в корпусних деталях виконують за допомогою розточувальних різців. Розточувальні різці за допомогою гвинтів або клинів закріплюють на оправках або борштангах, використовуючи при цьому мікрометричні гвинти для точного установлення різця на потрібний розмір. Особливостями геометрії розточувальних різців є більші задні кути  $\alpha$ , при яких зменшується тертя по стінках отвору, та відносно малі кути  $\nu$

плані  $\varphi \leq 90^\circ$ , що сприяє зменшенню радіальної складової сили різання, суттєво впливаючи на пружні переміщення оправки, а отже, і на точність оброблюваного отвору.

Розточування різцями забезпечує прямолінійність осі оброблюваного отвору і більш високу точність його положення відносно бази порівняно з іншими методами. Точність діаметральних розмірів при чорновому розточуванні відповідає 11-му, 12-му квалітетам, при чистовому – 9-му, 10-му квалітетам. При чистовому розточуванні відхилення геометричної форми отворів діаметром 50...120 мм не перевищує 12 мкм, а параметри шорсткості поверхні  $Ra=2,5...5$  мкм.

Розточування отворів можна виконувати одним або одночасно двома різцями, установленими на оправці в протилежному напрямку (рисунок 1.13, а і б).

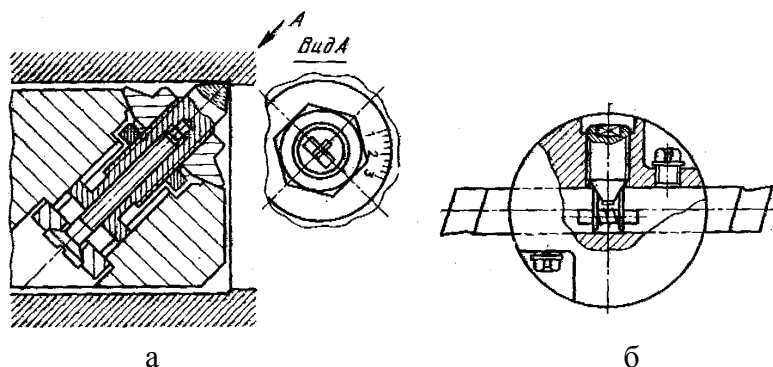


Рисунок 1.13 – Різучий інструмент для обробки отворів:  
а – розточувальний різець з мікрометричним регулюванням;  
б – розточувальна оправка з двома різцями

Для чорнової обробки в відливках отворів діаметром більше 100 мм використовують багаторізцеві розточувальні головки, оснащені твердосплавними пластинами. Розточувальні головки можуть бути суцільними або рознімними (рисунок 1.14, а і б), останні можна установлювати в будь-якому місці борштанги.

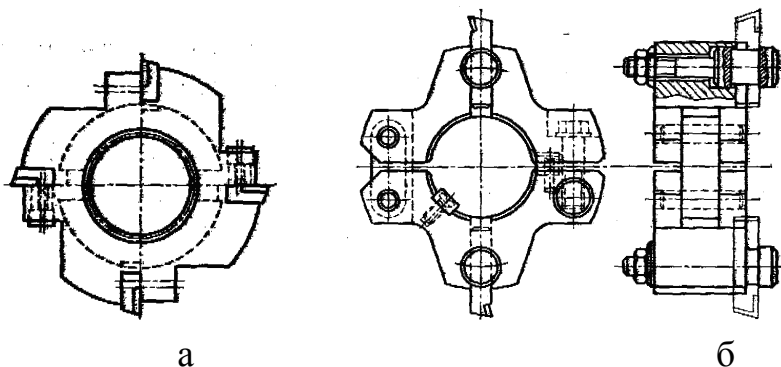


Рисунок 1.14 – Різучий інструмент для обробки отворів:  
а – розточувальна головка суцільна;  
б – розточувальна головка рознімна

Кількість різців-ножів в головці діаметром 110 мм дорівнює чотирьом, а в головці діаметром 240 мм дорівнює восьми, причому половина їх установлюється по торцю, а решта – по зовнішній циліндричній поверхні.



Одночасне розточування декількома різцями при підвищених режимах різання ( $v=20\dots35$  м/хв,  $s=0,45\dots1,5$  мм/об) дозволяє отримати найвищу продуктивність обробки порівняно з іншими інструментами для розточування.

Розгортання є одним з методів чистової та опоряджувальної обробки отворів, що забезпечує 6...9-й квалітети. Розгортання забезпечує отримання правильної геометричної форми отвору, точних діаметральних розмірів і параметр шорсткості поверхні  $Ra=1,25\dots0,63$  мкм. За конструкцією розгортки можуть бути суцільними і насадними з ножами із швидкорізальної сталі або твердого сплаву (рисунок 1.15). Отвори 9-го квалітету отримують одноразовим розгортанням, для отримання отворів 7-го, 8-го квалітетів використовують попереднє та остаточне розгортання.

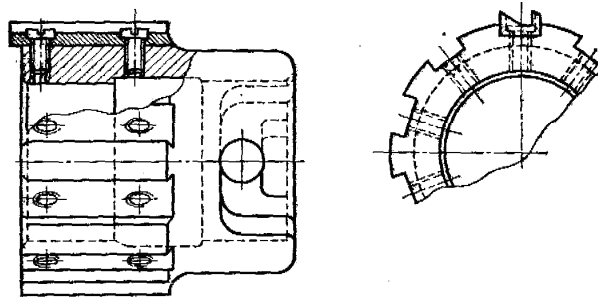


Рисунок 1.15 – Насадна збірна розгортка

Розгортка як калібруючий інструмент забезпечує отримання високої точності розмірів і геометричної форми отвору при суміщенні її осі з віссю оброблюваного отвору і створенні надійного напрямку. Для цього треба забезпечити самоцентрування розгортки по осі попередньо обробленого отвору з використанням спеціальних плаваючих патронів або шарнірних оправок, що дозволяють інструменту зайняти потрібне положення.

Розгортання необхідно виконувати з охолодженням для зменшення температурних деформацій деталі, і як наслідок, утворення погрішності геометричної форми.

Для чистової обробки отворів використовують також плаваючі розточувальні блоки і плаваючі пластини зі швидкорізальної сталі або з твердого сплаву. За допомогою пластинчастих різців можна обробляти наскрізні, ступінчасті та глухі отвори, забезпечуючи чистову обробку торцю. Використання плаваючих блоків дозволяє отримати точність отвору за 7-м квалітетом, шорсткість поверхні  $Ra=1,25$  мкм.

Одночасно з обробкою головних отворів обробляють перпендикулярні до них торцеві поверхні. Для цього використовують торцеві різцеві головки, торцеві зенкери або спеціальні план-супорти, що забезпечують переміщення різця в радіальному напрямку. Відхилення від перпендикулярності торця відносно осі отвору складає: при підрізанні зенкером  $(0,01\dots0,03)/100$ , при підрізанні різцем  $(0,004\dots0,01)/100$ .

В серійних умовах для обробки отворів використовують комбінований інструмент. При цьому одночасно можна суміщати декілька видів обробки при одному відносному переміщенні комбінованого інструмента –

свердління, зенкерування, розточування, підрізання торцю, розвертання. Це дозволяє зменшити номенклатуру використовуваного інструмента і забезпечити точне відносне положення комплекту оброблюваних поверхонь.

Для обробки головних отворів в корпусних деталях найбільше використовують горизонтально-розточувальні і координатно-розточувальні верстати. Точність положення головних отворів відносно технологічних баз і точність міжцентрових відстаней досягають одним з наступних способів: по розмітці, способом пробних ходів, координатним розточуванням, кнопковим методом або за допомогою кондукторів.

### **1.2.2.3 Обробка отворів кріплення та інших отворів**

Отвори кріплення і інші дрібні отвори в корпусних деталях обробляють на вертикально-свердлильних, радіально-свердлильних, горизонтально-розточувальних або агрегатних верстатах. При цьому виконують свердління, цекування, зняття фасок, нарізання різьби.

В умовах одиничного виробництва отвори в корпусах обробляють за розміткою. Точність міжцентрових відстаней і точність розмірів, що визначають положення отворів на площині, складає  $\pm(0,25 \dots 0,5)$  мм. Як правило, отвори свердлять за 2-3 переходи. Спочатку виконують центрування отвору або засвердлювання свердлом більшого діаметру. Для отвору під різьбу діаметром більше 25...30 мм крім свердління виконують зенкерування або розточування.

Обробку торців виконують зенківками або підрізними різцями з осьовою подачею.

Перед нарізанням різьби в отворах знімають фаску за допомогою конічних зенківок, різців або свердел більшого діаметра.

Нарізання різьби виконують машинними мітчиками.

В умовах серійного виробництва дрібні отвори свердлять за допомогою кондукторів – накладних, скальчатих, коробчастих. Інструмент направляють кондукторні втулки, як результат немає необхідності розмітки і попереднього зацентрування отворів.

Точність положення отворів відносно баз кондукторів становить 0,1...0,2 мм.

Для свердління отворів з різних боків заготовки використовують одно- або двохопорні поворотні пристосування, на яких установлюють потрібний кондуктор. Для скорочення допоміжного часу на заміну ріжучого інструменту на свердлильних верстатах використовують швидкозмінні патрони або спеціальні револьверні головки.

Також використовують комбінований ріжучий інструмент: свердла і зенкери різного діаметра, свердла-зенкери, свердла-зенківки, свердла-мітчики.

В серійному виробництві використовують на свердлильних верстаках швидкопереналагоджувані багатошпindelні головки з регульованою міжцентровою відстанню.

В великосерійному і масовому виробництві обробку дрібних отворів виконують на багатошпindelних агрегатних верстатах різної компоновки.

#### 1.2.2.4 Опоряджувальна обробка головних отворів

Для отримання отворів 6-го, 7-го квалітетів використовують опоряджувальні операції: розвертання, тонке розточування, планетарне шліфування, хонінгування, розкатування роликками, а в окремих випадках притирка і шабрування.

**Розвертання** є найбільш поширеним методом опорядження головних отворів в умовах одиничного і серійного виробництва. Через те, що розвертка як правило самоустановлюється по отвору, то для забезпечення співвісності попередньо оброблених отворів використовують комбіновані розвертки, за допомогою яких виконується одночасне розвертання співвісних отворів.

**Тонке алмазне розточування** виконують на спеціальних алмазно-розточувальних верстатах, які мають високу жорсткість, підвищену вібростійкість і можуть мати вертикальну або горизонтальну компоновку з одним або декількома шпindelями.

Розточування отворів корпусних деталей виконують однолезовими різцями, оснащеними твердосплавними пластинами, або різцями з пластинами надтвердих матеріалів марки СТМ. Різці установлюють в жорстких консольних оправках, у яких відношення  $L/d \leq 7$ .

Найбільш прийнятним є вертикальне розташування осі шпindelя верстата, при якому сила тяжіння розточувальної оправки практично не впливає на точність геометричної форми отвору.

Тонке алмазне розточування забезпечує точність діаметральних розмірів отворів за 6-м, 7-м квалітетами, відхилення геометричної форми (овальність, конусоподібність) отворів діаметром до 120 мм не перевищує 0,003...0,005 мм, параметр шорсткості поверхні  $Ra=1,25...0,3$  мкм. Точність міжцентрових відстаней і положення отвору відносно бази становить 0,005...0,03 мм.

**Внутрішнє планетарне шліфування** використовують для опорядження отворів діаметром більше 150 мм. Існують також координатні планетарно-шліфувальні верстати, що дозволяють обробляти в корпусних деталях отвори діаметром від 10 мм і вище. Планетарне шліфування забезпечує отримання отворів за 6-м, 7-м квалітетами, похибка геометричної форми отворів не більше 0,004 мм і параметр шорсткості  $Ra=0,32...0,16$  мкм. Координатні планетарно-шліфувальні верстати дозволяють отримати положення осі отвору відносно бази і міжцентрову відстань з точністю до 0,01 мм. Недолік – невисока продуктивність.

**Хонінгування** використовують для опорядження наскрізних гладких отворів діаметром 25...500 мм в корпусних деталях, головним чином з чавуна і сталі.

За допомогою хонінгування отримують точність діаметральних розмірів отворів за 6-м квалітетом, точність геометричної форми отворів діаметром до 250 мм (овальність і конусоподібність) в межах 0,003...0,004 мм, параметр шорсткості поверхні  $Ra=0,16...0,004$  мкм. Але цей процес не дозволяє виправити положення осі отвору відносно бази. Хонінгування виконують на спеціальних одношпindelних або багатошпindelних верстатах з вертикальною або горизонтальною компоновкою.

Хонінгування доцільно виконувати після операції розточування, в результаті якої забезпечується потрібне відносне положення осі отвору. Для найбільш відповідальних корпусів хонінгування виконують після тонкого розточування. Хонінгування особливо ефективно при необхідності обробки високоточних довгих отворів порівняно великого діаметру.

В машинобудуванні хонінгування використовують при обробці отворів в блоках циліндрів різних двигунів і компресорів, при обробці отворів під пінолі і висувні шпинделі в циліндрах і корпусах.

**Розкочування отворів** – метод опорядження, що ґрунтується на пластичному деформуванні оброблюваної поверхні. Розкочування виконують на свердлильних, токарних або спеціальних верстатах. Інструментом є різні за конструкцією багатороликові розкатки, які обертаються відносно осі отвору. Ролики виготовляють з якісних інструментальних сталей, їх твердість після гартування  $HRC\leq 62...64$ .

Розкочування виконують після чистового розточування, точність отвору під розкочування – 0,01...0,015 мм.

Розкочування не виправляє положення осі отвору, розкатка самоустановлюється по отвору, тому точність положення отвору відносно бази забезпечується на розточувальній операції. Розкочування використовують для опорядження наскрізних і глухих отворів в корпусах з різних матеріалів, що можуть пластично деформуватись в холодному стані. Твердість таких матеріалів не перевищує  $HRC\leq 35...40$ .

Розкочування забезпечує точність отвору за 6...9-м квалітетами, параметр шорсткості  $Ra=0,016...0,008$  мкм, похибка геометричної форми для отворів діаметром до 120 мм становить 0,005...0,008 мм. Поверхневий шар після розкочування має твердість, що збільшується на 20%.

Метод продуктивніше хонінгування і використовується для опорядження довгих отворів в сталевих корпусних деталях типу корпусів гідроциліндрів, пінолів, поршневих і гвинтових насосів, гідравлічних стояків і ін.

В одиничному і малосерійному виробництві для отримання високої точності розмірів і геометричної форми отворів малих і середніх діаметрів використовують **притирку**, яку виконують з використанням абразивних порошоків і паст по сполученій деталі або з використанням спеціальних

притирів. Операцію можна виконувати на свердлильних, токарних верста-  
тах або вручну.

### 1.2.3 Технологічний процес виготовлення корпусних деталей

*Обробка корпусу призматичного типу з плоскою основою і основ-  
ним отвором з віссю, паралельною основі*

А 005 Заготівельна

Відливка або зварена конструкція

***Підготівельні операції***

А 010 Термічна (відпал низькотемпературний для зменшення внут-  
рішніх напруг)

А 015 Обрубка та очищення заготовки

А 020 Малярна

А 025 Контрольна

О Перевірка корпусу на герметичність. Проводиться для корпусів,  
що заповнюються при роботі маслом

А 030 Контрольна

О Перевірка корпусу під тиском (тільки в одиничному і малосерій-  
ному виробництвах)

А 035 Розмічальна (тільки в одиничному і малосерійному виробниц-  
твах)

***Операції механічної обробки***

А 040 Фрезерна, стругальна (Протяжна)

Б Вертикально-фрезерний, поздовжньо-фрезерний, поздовжньо-  
стругальний (одиничне, серійне виробництво); барабанно- і карусельно-  
фрезерний, протяжний, агрегатно-фрезерний (великосерійне і масове ви-  
робництво) верстати

О Фрезерувати (стругати) або протягнути площину основи поперед-  
ньо і остаточно або з припуском під шліфування (якщо необхідно)

Технологічна база – необроблена площина, паралельна оброблюваній  
поверхні

А 045 Свердлильна

Б Радіально-свердлильний, свердлильний з ЧПК (одиничне, серійне  
виробництво), багатошпindelний свердлильний або агрегатний (велико-  
серійне і масове виробництво) верстати

О Свердлити і зенкерувати (при необхідності) отвори в площині ос-  
нови. Розвернути два отвори

Технологічна база – площина основи

А 050 Фрезерна

Б Вертикально-фрезерний, поздовжньо-фрезерний, поздовжньо-  
стругальний (одиничне, серійне виробництво); барабанно- і карусельно-

фрезерний, протяжний, агрегатно-фрезерний (великосерійне і масове виробництво) верстати

О Фрезерувати (стругати) або протягнути поверхню, паралельну базовій (при їх наявності)

Технологічна база – площа основи

А 055 Фрезерна

Б Горизонтально-фрезерний, поздовжньо-фрезерний або горизонтально-розточувальний верстат

О Фрезерувати поверхні, перпендикулярні базовій (торці основних поверхонь)

Технологічна база – площа основи і два точних отвори

А 060 Розточувальна

Б Горизонтально-розточувальний (одиничне виробництво), верстат з ЧПК розточувально-фрезерної групи і багатоопераційний (типу «обробний центр») (серійне виробництво), агрегатний багатошпindelний (великосерійне, масове виробництво) верстати

О Розточити основні отвори попередньо та остаточно або з припуском під тонке розточування

Технологічна база – площа основи і два точних отвори

А 065 Свердлильна

Б Радіально-свердлильний (одиничне виробництво), свердлильний з ЧПК, багатоопераційний (серійне виробництво), свердлильний багатошпindelний і агрегатний (великосерійне і масове виробництво) верстати

О Свердлити (зенкерувати при необхідності), нарізати різьбу.

Технологічна база – площа основи і два точних отвори

А 070 Плоскошліфувальна

Б Плоскошліфувальний верстат

О Шліфувати (при необхідності) площину основи

Технологічна база – поверхня (вісь) основного отвору або оброблена поверхня, паралельна базовій (в залежності від потрібної точності відстані від базової площини до осі основного отвору).

А 075 Алмазно-розточувальна

Б Алмазно-розточувальний верстат

О Розточити основний отвір (тонке розточування)

Технологічна база – базова площа і два отвори

Для витримування принципу постійності баз більшість операцій (050, 055, 060, 065) за виключенням операцій підготовки технологічних баз (040, 045) та опорядження основних поверхонь (070, 075) часто концентрують в одну операцію, що виконується на горизонтально-розточувальному (одиничне виробництво), багатоопераційному (серійне виробництво) або агрегатному (масове виробництво) верстатах.

## ***Особливості обробки рознімних корпусів***

В маршрут обробки рознімних корпусів додатково до вищеприведених операцій включають:

- обробку поверхні роз'єму у корпуса (фрезерна);
- обробку поверхні роз'єму у кришки (фрезерна);
- обробку отворів кріплення на поверхні роз'єму корпусу (свердлильна);
- обробку отворів кріплення на поверхні роз'єму кришки (свердлильна);
- складання корпуса проміжне (слюсарно-складальна операція);
- обробку двох точних отворів (свердлінням і розвертанням) під циліндричні або конічні штифти в площині роз'єму складеного корпусу).

### **1.2.4 Контроль корпусних деталей**

При контролі корпусних деталей контролюють точність розмірів і відносного положення плоских поверхонь і головних отворів, точність геометричної форми і шорсткість базуючих поверхонь деталі, правильність відносного положення різьбових і інших дрібних отворів.

В одиничному і малосерійному виробництві контроль виконують універсальними засобами. Точність розмірів, відносних поворотів і геометричної форми плоских поверхонь контролюють за допомогою лінійок, кутиків, рівнів, кінцевих мір, індикаторів і різних шаблонів. Для контролю точності розмірів, відносного положення і геометричної форми отворів додатково використовують мікрометричні і індикаторні прилади – штихмаси, пасиметри, мікрометри, штангенінструменти – штангенциркулі, штангенрейсмуси, штангенглибиноміри, контрольні оправки і граничні калібри-пробки.

В великосерійному і масовому виробництві контроль геометричної точності корпусних деталей виконують на спеціальних приладах, що забезпечують автоматичне вимірювання одночасно декількох параметрів точності деталі.

Погрішності форми отворів в поперечному перерізі (овальність, огранка) визначаються вимірюванням в різних радіальних напрямках. Погрішності форми отворів в поздовжньому перерізі (конусоподібність, бочкоподібність) визначаються за результатами вимірювань в різних поперечних перерізах.

Для контролю точності відносного положення отворів використовують контрольні оправки. Оправки є загартованими сталевими стрижнями твердістю HRC<sub>э</sub> 52...54 і точністю діаметрів по IT5, IT6, шорсткістю поверхні Ra=0,32...0,16 мкм.

При контролі невеликих отворів (діаметром до 50 мм) оправки установлюють безпосередньо в отвори, а при великих діаметрах отворів – через контрольні втулки (рисунок 1.16,а).

Співвісність отворів перевіряють контрольними оправками (рисунок 1.16,а) або, якщо деталь і оправка жорсткі, індикаторними пристроями (рисунок 1.16,б). Для перевірки співвісності використовують також оптичні, пневматичні і інші методи контролю.

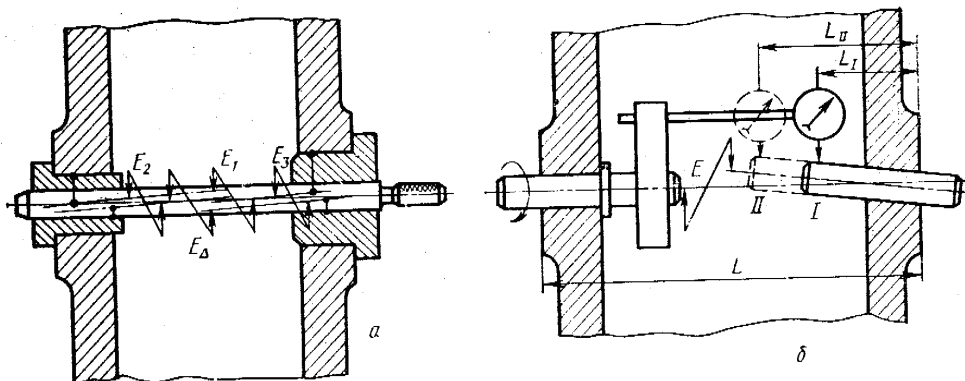


Рисунок 1.16 – Контроль співвісності двох отворів:  
а – за допомогою прохідних оправок; б – за допомогою індикатора

Перевірка оправками не виявляє характеру неспіввісності (паралельне зміщення, відносний поворот або схрещування осей в просторі) і величини погрешностей.

При перевірці неспіввісності індикаторними пристосуваннями визначають радіальне биття, що дорівнює подвоєній неспіввісності. Якщо осі отворів непаралельні, перевірку треба виконувати в різних поперечних перерізах, тому що при одноразовій перевірці, коли точка перетину осей буде знаходитись в площині обертання індикатора, похибка може бути не визначена.

Для забезпечення якості деталі необхідно, щоб максимальна неспіввісність (максимальна відстань між осями в межах габаритних розмірів деталі) знаходилась в межах допуску. Максимальну неспіввісність можна визначити розрахунком, знаючи неспіввісності в окремих перерізах, розміри деталі і місце перетину осей. Відхилення від співвісності при вимірюванні в двох поперечних перерізах, що знаходяться на визначеній відстані один від одного, не повинна перевищувати допуску.

Вимірювання точності повороту осі отвору відносно базової площини і точності відстані від отвору до площини виконують на контрольній плиті з використанням контрольної оправки і індикатору на стійці (рисунок 1.17).

За допомогою набору кінцевих мір індикатор попередньо виставляють на потрібний розмір  $B = A + \frac{d}{2}$ . Потім послідовно в позиціях I і II фіксують відхилення  $U_I$  і  $U_{II}$ , що показує індикатор при торканні твірної оправки (рисунок 1.17,а).

Відхилення від паралельності осі отвору площини (рисунок 1.17,б) визначають за формулою



$$\Delta_{\lambda} = (U_I - U_{II}) / L,$$

де  $L$  – відстань між позиціями  $I$  і  $II$ .

Відхилення відстані від осі отвору до площини

$$\Delta_A = (U_I + U_{II}) / 2.$$

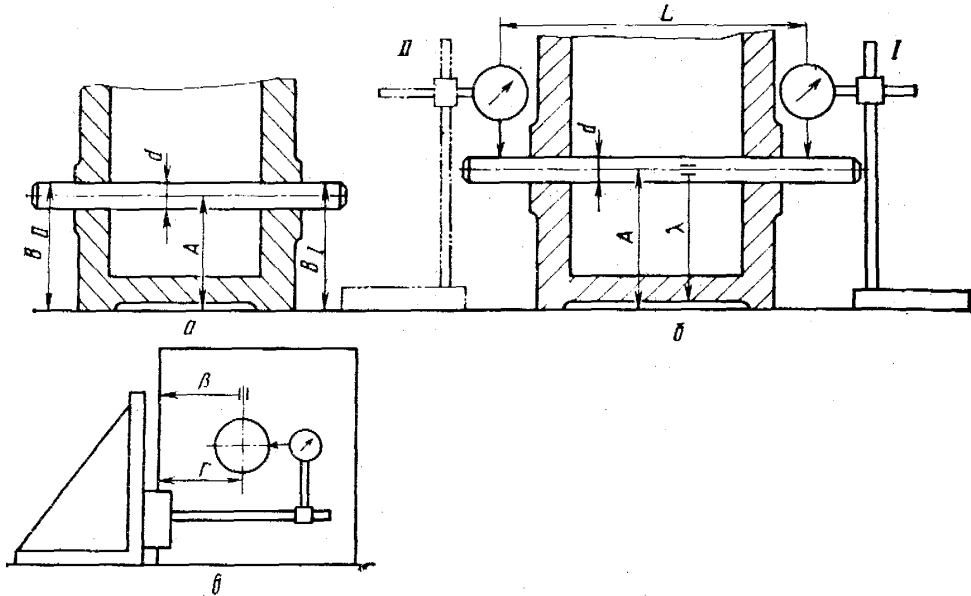


Рисунок 1.17 – Схема контролю точності повороту осі отвору відносно бази і точності відстані від осі отвору до площини

Відстань (середня) від осі отвору до площини розраховують за формулою

$$A_{сеп} = (B_I - B_{II}) / 2 - d / 2,$$

де  $d$  – діаметр контрольної оправки.

Контроль точності відносно повороту і відстані  $\Gamma$  осі отвору до базової площини в горизонтальному напрямку виконують аналогічно з використанням кутника (рисунок 1.18,в). Для визначення відстані від твірної контрольної оправки до базової площини, крім індикатору, можна також використовувати штангенрейсмус, штихмас, мірні плити.

Схеми вимірювання точності положення осей отворів в заданій площині за допомогою рівня 4 та контрольних оправок, кутників 2 або спеціальних пристроїв 3 показані на рисунку 11.

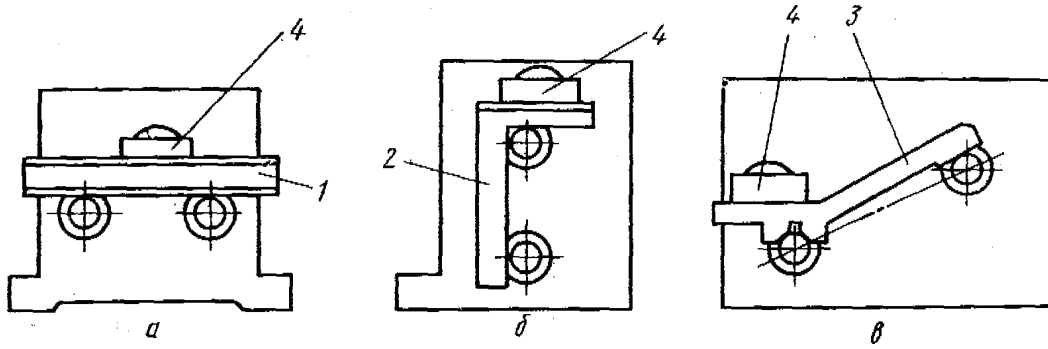


Рисунок 1.18 – Контроль положення осей отворів в заданій площині:  
 а – в горизонтальній; б – в вертикальній; в – в площині, розташованій  
 під визначеним кутом

Точність міжцентрової відстані і паралельність осей отворів контролюють за схемою, представленою на рисунку 1.19.

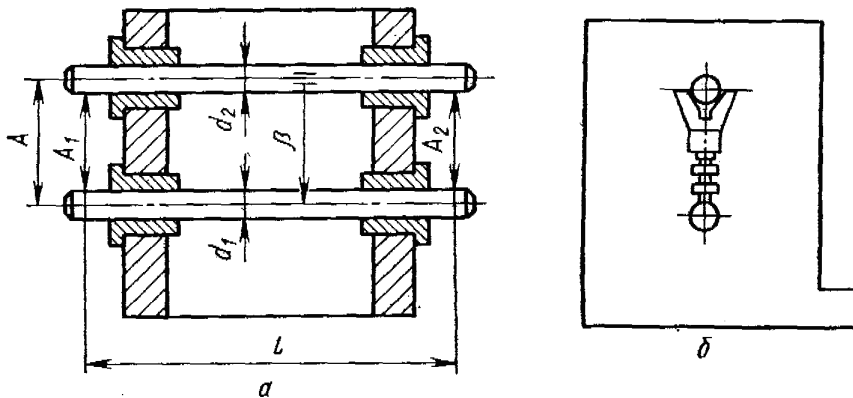


Рисунок 1.19 – Схема контролю точності міжцентрової відстані

Відстань між твірними двох контрольних оправок можна виміряти: по зовнішній стороні – мікрометром або штангенциркулем (рисунок 1.19, а), по внутрішній стороні – штихмасом (рисунок 1.19, б), індикаторним нутроміром або набором кінцевих мір.

Міжцентрова відстань розраховується за формулою

$$A = 0,5[(A_1 + A_2) + (d_1 + d_2)].$$

Відхилення від паралельності одного отвору до іншого

$$\Delta_{\beta} = \frac{(A_1 - A_2)}{L}.$$

Відхилення від перпендикулярності одного отвору до осі іншого можна перевірити за допомогою індикатора на оправці (рисунок 1.20, а) або калібру (рисунок 1.20, б).

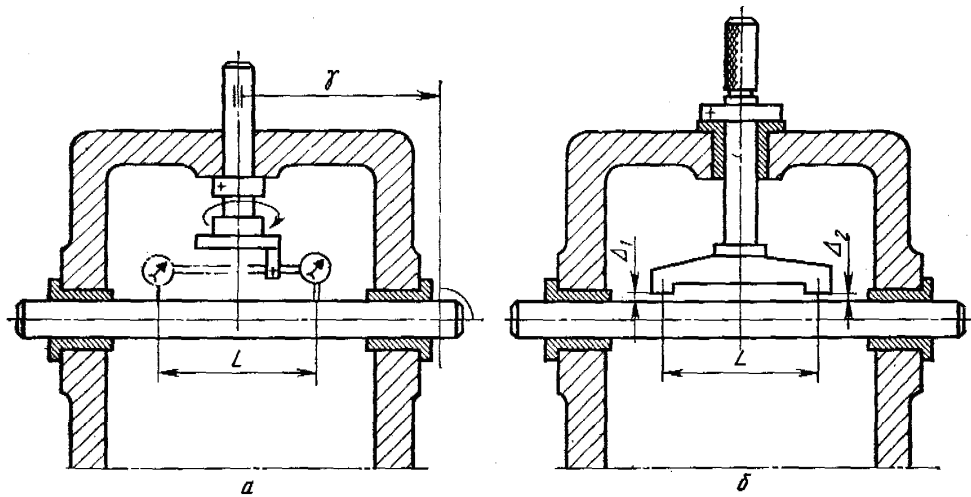


Рисунок 1.20 – Контроль перпендикулярності одного отвору до іншого

В обох випадках фіксують два відхилення  $\Delta_1$  і  $\Delta_2$  на базовій довжині  $L$ . Відхилення від перпендикулярності  $\Delta_\gamma$  визначають як відношення різниці ( $\Delta_1 - \Delta_2$ ) до базової довжини  $L$  або

$$\Delta_\gamma = \frac{(\Delta_1 - \Delta_2)}{L}$$

Відхилення від перпендикулярності торцевої площини до осі отвору перевіряють за допомогою калібру (рисунок 1.21, а) або індикатору, встановленого в спеціальній оправці (рисунок 1.21, б).

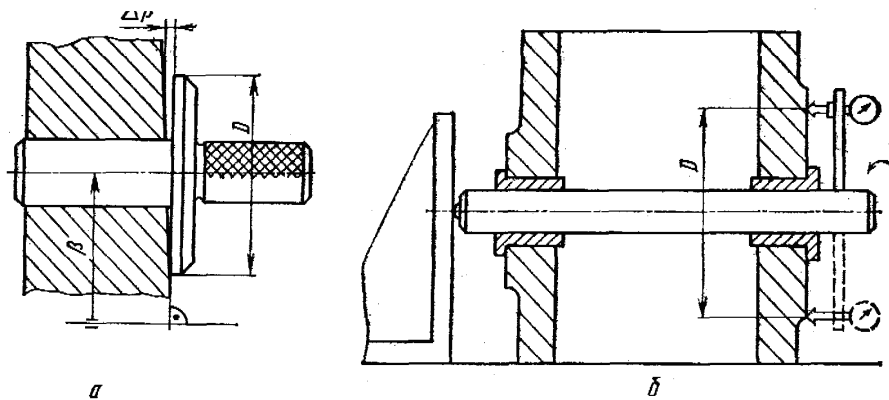


Рисунок 1.21 – Контроль перпендикулярності торцевої площини до осі отвору

В першому випадку відхилення визначають щупом, вимірюючи зазор в двох протилежних точках на базі  $D$ , а у другому – по показникам індикатору в положеннях  $I$  і  $II$ . Відхилення від перпендикулярності торцевої площини до осі отвору визначають як різницю показників, віднесену до базової довжини  $D$ .

## Тема 2 Технологія виготовлення деталей типу «тіл обертання»

### 2.1 Технологія виготовлення ступінчастих валів

2.1.1 Службове призначення, виготовлення заготовок для ступінчастих валів

2.1.2 Виготовлення основних конструктивних елементів на валах

2.1.2.1 Обробка торців, центрових отворів та зовнішніх циліндричних поверхонь

2.1.2.2 Обробка шліців та шпонкових пазів на валах

2.1.2.3 Нарізання різьби на валах

2.1.3 Технологічний процес обробки ступінчастих валів

#### 2.1.1 Службове призначення, виготовлення заготовок для ступінчастих валів

Вали призначені для передачі крутних моментів та монтажу на них різних деталей і механізмів. Конструктивно ступінчасті вали поділяють на гладкі, фланцеві і вали-шестерні. В загальному випадку вони є сполученням гладких посадочних та непосадочних, шліцьових, шпонкових, різьбових і перехідних поверхонь. Для зменшення маси валів їх часто виконують пустотілими.

##### *Технічні вимоги до валів.*

Діаметральні розміри посадочних шийок виконують за IT7, IT6, рідше за IT5, інших шийок за IT10, IT11, допуски на довжину ступіні вала призначають в межах 0,1...0,4 мм.

Допуски форми – відхилення, від круглоти, циліндричності і прямолінійності – як правило складають частину допуску  $T_j$  на виконуваний діаметральний розмір (до 0,3  $T_j$ ).

Допуски розташування – відхилення від паралельності шпонкових канавок та шліцьових поверхонь відносно осі – не перевищують 0,1 мкм на 1 мм довжини, відхилення від перпендикулярності для опорних за плечиків під підшипники та привалочних фланцевих поверхонь валів виконують з точністю  $< 0,1$  мкм, співвісність поверхонь в межах 0,01...0,03 мм. Нерівномірність кроку шліцьових поверхонь, їх зміщення відносно вісі повинно бути не більше 0,02 мм.

Допустимі биття посадочних шийок відносно базових поверхонь не повинні перевищувати 0,01...0,03 мм, а непосадочних 0,05...0,10 мм. Шорсткість посадочних шийок  $Ra=0,08...0,63$  мкм, непосадочних  $Ra=3,2...10$  мкм.

Ступінчасті вали виготовляють зі сталей 25, 35, 40, 45, 35X, 40X, 40XH, 45XHM, 38X2ЮА, 38X2МЮА і інших, що підлягають для підвищення зносостійкості та фізико-механічних властивостей матеріалу різним видам термообробки. Вали з маловуглецевої сталі 25 цементують на глибину 0,7...1,2 мм, забезпечуючи твердість після гартування та відпуску в

межах HRCэ 55...58. Середньовуглецеві сталі підлягають покращенню, нормалізації або поверхневому гартуванню. Вали з високолегованих сталей 38Х2ЮА, 38Х2МЮА азотують на глибину 0,3...0,4 мм, забезпечуючи твердість HV1000.

В одиничному та серійному виробництві заготовками для ступінчатих валів при невеликих перепадах діаметрів ступіней є прокат. При значних перепадах діаметрів ступіней заготовки виготовляють куванням на молотах або пресах.

В великосерійному та масовому виробництвах заготовки ступінчастих валів виготовляють штампуванням з прокату, висадкою на горизонтально-кувальних машинах, обтисненням на радіально-кувальних машинах, поперечно-клиновою прокаткою.

Після пластичного деформування заготовка підлягає термічній обробці для зняття залишкових напруг та забезпечення необхідної структури металу.

## **2.1.2 Виготовлення основних конструктивних елементів на валах**

### **2.1.2.1 Обробка торців, центрових отворів та зовнішніх циліндричних поверхонь**

В залежності від типу виробництва *обробку торців та центрових отворів* виконують на різному обладнанні: центрувальних, центрувально-підрізних, фрезерно-центрувальних, фрезерних, свердлильних, токарних, горизонтально-розточувальних (для великогабаритних валів) верстатах. До центрових отворів висуваються вимоги до співвісності, постійності глибини, діаметру і конусності.

Обробляти можна з послідовним або паралельно-послідовним виконанням переходів. Суміщення переходів і використання верстатів для комплексної обробки в багатьох випадках раціонально навіть при невеликому завантаженні верстатів (10% і більше). Крім того, двосторонні верстати забезпечують більш високу точність розташування торців і центрових отворів.

В одиничному виробництві зазначені переходи виконують на універсальних токарних верстатах, а для великогабаритних валів – на горизонтально-розточувальних верстатах. В серійному виробництві обробку виконують на фрезерно-центрувальних верстатах з установкою деталі по зовнішньому діаметру в призмах і осьовому напрямку по упору (рисунки 2.1).

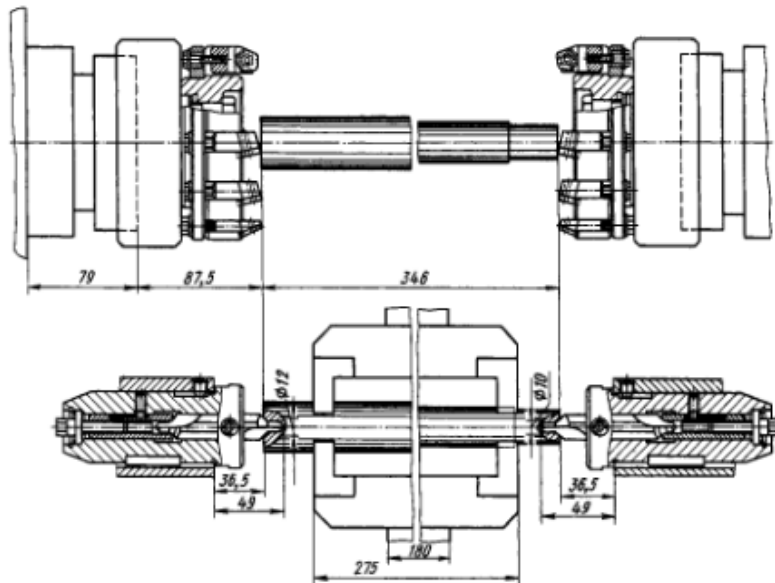


Рисунок 2.1 – Налаштування фрезерно-центрувального верстата

Якщо деталь обробляється на токарному верстаті з ЧПК, то технологічні бази доцільно обробляти на центрувально-підрізних верстатах. В цьому випадку не потрібно додаткового підрізування торцю на токарному верстаті (після фрезерування торців підрізування на токарному верстаті обов'язкове).

Після термічної обробки валів вимоги до точності центрових отворів підвищуються. Шліфування центрових отворів невеликих валів на спеціальних верстатах (3922E, 3922P, MB-119 і ін.) забезпечує відхилення від круглості 1-3 мкм, від прямолінійності 4-6 мкм, параметр шорсткості поверхні до  $Ra=0,63$  мкм.

Обробка зовнішніх циліндричних поверхонь **точінням** виконується в залежності від типу виробництва на різному обладнанні. В дрібно- і середньосерійному виробництві використовують універсальні токарні верстати, верстати з ЧПК, токарні гідрокопіювальні напівавтомати, токарні верстати, обладнані гідрокопіювальними супортами. В великосерійному та масовому виробництві використовують токарні одно- та багатопіндельні вертикальні напівавтомати і автомати, горизонтальні багаторіздцеві верстати, гідрокопіювальні напівавтомати (рисунок 2.2).

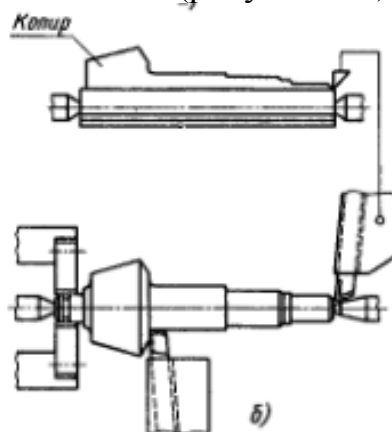


Рисунок 2.2 – Обробка на токарному гідрокопіювальному напівавтоматі

**Шліфування валів** виконують на круглошліфувальних та безцентрово-шліфувальних верстатах, забезпечуючи 6-й квалітет точності. Шийки валів в цьому випадку шліфують за дві операції (або два переходи): попереднє і остаточне шліфування. Як технологічні бази використовують центрові отвори і торець заготовки.

Найбільш поширеними є два методи шліфування: з *поздовжньою подачею* (рисунок 2.3, а) для валів значної довжини та *врізне* (рисунок 2.3, б) для обробки коротких шийок.

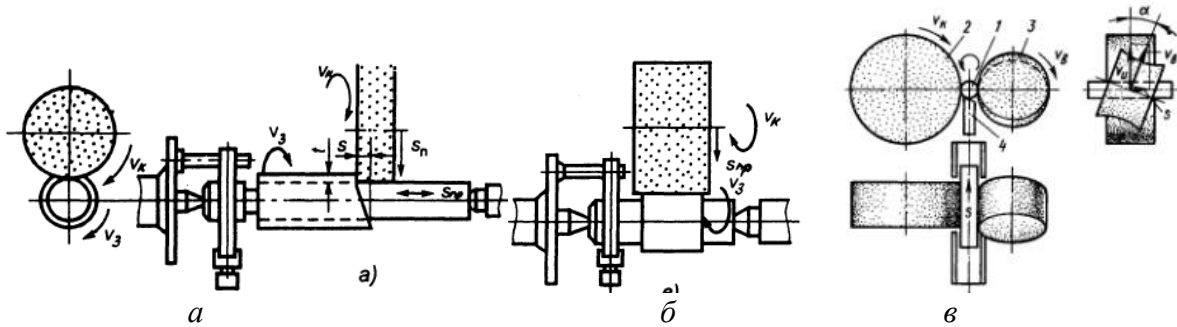


Рисунок 2.3 – Шліфування валів

*Безцентрове шліфування* (рисунок 2.3, в) використовують для обробки невеликих валів, при цьому забезпечується точність по 6-8-му квалітетам. Гладкі вали шліфують з поздовжньою подачею, а ступінчаті – з поздовжньою подачею до упору.

Для забезпечення малих параметрів шорсткості використовують *суперфінішування* (рисунок 2.4). Абразивні бруски отримують зворотно -

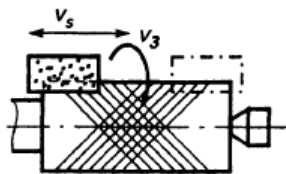


Рисунок 2.4 – Схема суперфінішування

поступальний рух зі швидкістю  $V_s$ , а заготовка – обертання зі швидкістю  $V_3$ . Співвідношення швидкостей дозволяє отримати перехресну сітку траєкторію абразивних зерен.

Як опоряджувальні та зміцнювальні методи обробки валів використовують алмазне вигладжування та обкатування роликками (для незагартованих валів)

### 2.1.2.2 Обробка шліців та шпонкових пазів на валах

За конструкцією шліці можуть бути прямобічними та евольвентними. Шліцьове з'єднання з прямобічними шліцами можна виконати з центруванням втулки по внутрішньому та зовнішньому діаметрам вала, а з'єднання з евольвентними шліцами центрують за профілем.

Шліці нарізають фрезеруванням, струганням, протягуванням та холодним накатуванням (в основному евольвентні шліці). Технологічний процес обробки шліців залежить від методу центрування шліцьового з'єднання та термічної обробки.

В малосерійному та серійному виробництвах шліци нарізають на шліцефрезерних або зубофрезерних верстатах черв'ячною фрезою методом обкатування. В залежності від точності шліци нарізають за один або два робочих ходи.

Для нарізання шліців на валах з короткими опорними шийками використовують для установки вала оправку зі зворотнім конусом (рисунок 2.5).

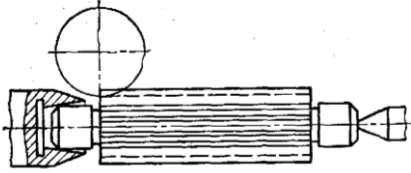


Рисунок 2.5 – Схема наскрізного фрезерування шліців з використанням оправки зі зворотнім конусом

У валів, що піддаються гартуванню, рекомендується фрезерувати шліци після попереднього шліфування, а у валів, що не піддаються гартуванню – після чистового шліфування зовнішньої поверхні.

Шліци валів, що піддаються гартуванню, та центруються по зовнішній поверхні обробляють в такій послідовності:

- фрезерування шліців з припуском під шліфування бокових поверхонь;
- чистове шліфування бокових поверхонь шліців після термічної обробки та чистового зовнішнього шліфування.

Обробка шліців таких же валів, але тих що не піддаються гартуванню, обмежується тільки чистовим фрезеруванням після чистового шліфування зовнішньої поверхні.

Шліци валів, що центруються по поверхні внутрішнього діаметру, обробляють в такій послідовності:

- фрезерування шліців з припуском під шліфування;
- фрезерування канавок для виходу круга при шліфуванні центруючої поверхні по внутрішньому діаметру (в випадку, якщо канавки не оброблені на першій операції фрезою разом із шліцами);
- чистове шліфування бокових поверхонь та центруючої поверхні по внутрішньому діаметру після термічної обробки.

Нарізання прямобічних шліців виконується попереднім фрезеруванням фасонними дисковими фрезами і чистовим фрезеруванням бокових поверхонь шліців торцевими фрезами, оснащеними пластинами з твердого сплаву (рисунок 2.6).



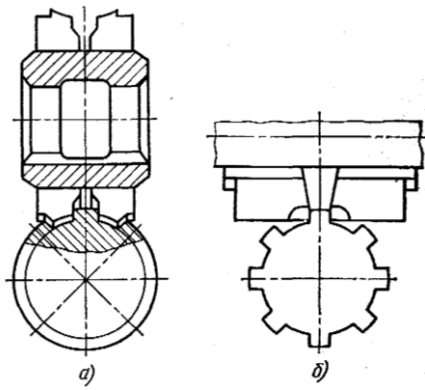


Рисунок 2.6 – Схема фрезерування шліців фасонними фрезами:  
*a* – попередня обробка; *б* – чистова обробка бокових поверхонь шліців

Режими різання при обробці валів з середньовуглецевої сталі: для попереднього фрезерування  $v=30...35$  м/хв,  $s=190$  мм/хв, для чистового фрезерування  $v=180$  м/хв,  $s=0,55$  мм/зуб. Обробку виконують на горизонтальних поздовжньо-фрезерних верстатах з використанням ділильних пристосувань. Метод у 3÷4 рази продуктивніший, чим обробка на шліцефрезерних верстатах.

**Контурне шліцестругання** на валах виконують набором фасонних різців, зібраних в головці, що може використовуватись в великосерійному та масовому виробництві. Кількість різців та профіль відповідає кількості шліців та профілю западин між шліцами вала (рисунок 2.7). Кількість подвійних ходів головки визначається глибиною шліцевої канавки та прийнятої глибини різання за один робочий хід. За кожний подвійний хід різці сходяться радіально на задану величину подачі.

Даним методом можна обробляти як наскрізні, так і ненаскрізні шліци. В останньому випадку передбачають канавку шириною 6...8 мм для виходу різців та прискорене відведення різців від заготовки.

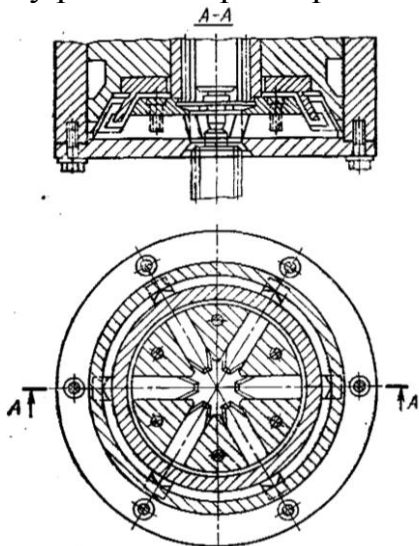


Рисунок 2.7 – Різцева головка шліцестругального верстата

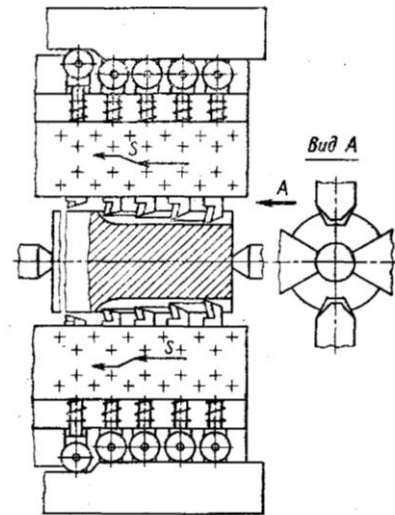


Рисунок 2.8 – Схема протягування шліців на валах

Шліцестругання виконують на верстаті МА4, призначеному для обробки валів діаметром 20...50 мм, довжиною до 435 мм, з довжиною оброблюваної частини 70...370 мм. Параметр шорсткості поверхні  $Ra=2,5...1,25$  мкм.

**Шліцепротягування** виконують двома блочними протяжками (рисунк 2.8) одночасно двох діаметрально протилежних западин на валу з наступним поворотом вала на визначений кут після кожного ходу протяжки. Блок протяжки має набір різців-зубців, які можуть незалежно переміщуватись в радіальному напрямку.

Цей метод дозволяє обробляти наскрізні та ненаскрізні шліци. За продуктивністю шліцестругання та шліцепротягування продуктивніше шліцефрезерування приблизно в 5÷8 разів (в залежності від розмірів шліців).

**Накатування шліців** виконується в холодному стані заготовки роликми, рейками та багатороликовими профільними головками (рисунок 2.9).

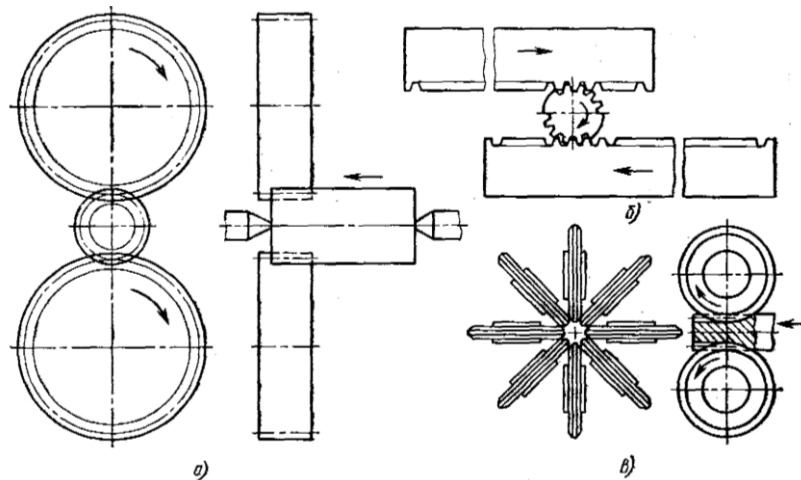


Рисунок 2.9 – Схеми накатування шліців:  
а – круглими роликми; б – рейками; в – багатороликовою головкою

В ряді випадків холодне накатування дозволяє не виконувати термічну обробку валів та подальшу механічну обробку. Холодним накатуванням в основному отримують евольвентні шліци, тому що для прямобічних шліців значно ускладнюється профіль робочих поверхонь накатних роликів, що потребує спеціального обладнання для їх виготовлення.

Шліци евольвентного профілю з модулем до 2,5 мм отримують холодним накатуванням двома або трьома роликми. Діаметр заготовки при накатуванні менше зовнішнього діаметру деталі і точність діаметру під накатування значно вище діаметру під шліцефрезерування.

Ролики виготовляють з високолегованих сталей. Одним і тим же роликком визначеного модуля можна обробляти вали з різною кількістю шліців. Накатуванню підлягають вали з твердістю не більше HB220. Шорсткість поверхні  $Ra=0,63\dots0,32$  мкм.

Холодне накатування шліців можна виконувати і рейками. Накатування шліців рейками за один робочий хід на всю довжину продуктивніше, чим накатування роликми, але через великі сили, що виникають при накатуванні, воно не рекомендується для накатування шліців довжиною більше 80...100 мм.

Формування профілю евольвентних шліців на валах *планетарним методом* (рисунок 2.10, а) виконується двома роликковими головками, що мають зустрічне обертання.

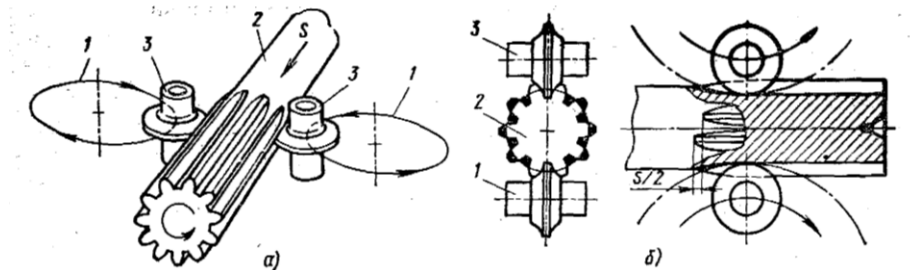


Рисунок 2.10 – Схема накатування шліців планетарним методом:  
а – схема руху роликів і заготовки; б – схема формування шліців при накатці; 1 – траєкторія руху роликів; 2 – заготовка; 3 – ролики

Головки, оснащені накатним інструментом, розташовують зустрічно і приводять в дію двома двигунами. Профільні ролики 3 одночасно і синхронно занурюються у заготовку 2, що обертається навколо своєї осі. При цьому частоти обертання накатних головок і заготовки погоджують один з одним з урахуванням кількості виготовлюваних зубів (рисунок 2.10, б). Одночасно заготовка отримує безперервну подачу в осьовому напрямку.

Накатний ролик виготовляють з високолегованої швидкоріжучої сталі з твердістю робочої частини HRCэ 63...65.

Усі термічно оброблені шліцьові вали, а також вали, що центруються по внутрішньому діаметру, після нарізання шліців піддають механічній обробці.

Поверхні, що утворюють профіль шліців на валах, які центруються по внутрішньому діаметрі, шліфують профільним кругом за один установ; за два установи шліфують спочатку бокові поверхні шліців, а потім поверхню по внутрішньому центруючому діаметру (рисунок 2.11). Точність і продуктивність вище у шліфування шліців одним профільним кругом.

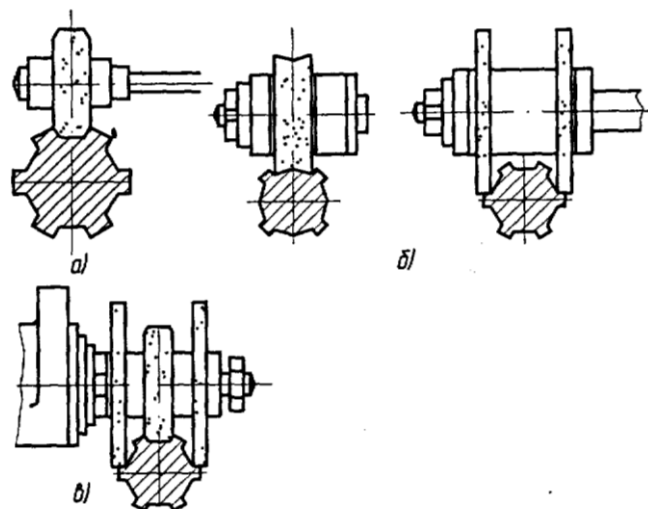


Рисунок 2.11 – Схема шліфування шліців на валах:  
а – фасонним кругом; б – в дві операції одним і двома кругами; в – трьома кругами

У термічно оброблених шліцьових валів з центруванням по зовнішньому діаметру шліфують цю поверхню та бокові поверхні шліцьових шпонок. Продуктивність цих операцій вище, чим при шліфуванні профільним кругом, тому обробка шліцьових валів з центруванням по зовнішньому діаметру простіша та економічніша обробки валів з центруванням по внутрішньому діаметру.

**Шпонкові пази під призматичні шпонки** обробляють кінцевими або дисковими фрезами. Їх обробляють на звичайних горизонтально-або вертикально-фрезерних, або на спеціальних (шпонково-фрезерних) верстаках, що працюють за маятниковим методом шпонковими фрезами. Цим методом отримують шпонкові канавки високої точності (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Обробка шпонкових пазів свердлопазовою фрезою Walter (ФРН) та шпонкового паза під сегментну шпонку дисковою фрезою

Найбільш продуктивним є метод фрезерування наскрізної шпонкової канавки за допомогою дискової фрези на прохід. Шпонкові канавки під сегментні шпонки обробляють також дисковими фрезами.

### 2.1.2.3 Нарізання різьби на валах

Номінальні розміри зовнішніх та внутрішніх гострокутних різьб кріплення визначені в ГОСТ 9150-81 та ГОСТ 24705-81.

Внутрішню різьбу на валах обробляють як правило машинними мітчиками на різьбонарізних, свердлильних, револьверних, а також агрегатних верстатах – напівавтоматах і автоматах в залежності від типу виробництва.

Зовнішні гострокутні різьби на валах в залежності від технічних вимог, типу виробництва та наявного обладнання нарізають плашками, різьбонарізними головками, різьбовими різцями, гребінками та груповими різьбовими фрезами (гребінчастими фрезами).

Круглими плашками нарізають різьби невисокого ступеню точності (8g). Плашками з доведеними ріжучими кромками можна калібрувати різьби більш високого ступеню точності (6g, 4h).

Найбільш продуктивним порівняно з нарізанням круглими плашками є нарізання різьб за допомогою різьбонарізних головок. Забезпечується точність різьби 6g, 4h (якщо нитки плашки шліфовані); допускається регулювання діаметру нарізуваної різьби в визначених межах шляхом переміщення плоских або круглих гребінчастих плашок в різьбонарізній головці.

Для нарізання коротких гострокутових різьб на валах використовують гребінчасті групові фрези. Забезпечується точність різьби не вище 8g, 6g. Головним недоліком методу є переривчасте різання, при якому підвищується шорсткість поверхні. Обробку груповими гребінчастими фрезами виконують на спеціальних різьбофрезерних верстатах (рисунок 2.13).

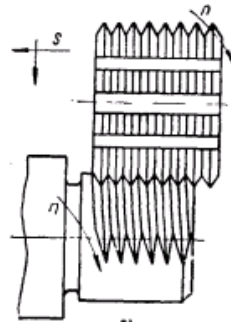


Рисунок 2.13 – Обробка різьби гребінчастою фрезою

### 2.1.3 Технологічний процес обробки ступінчастих валів

А 005 Заготівельна

Прокат (різка на пресі або на фрезерно-відрізному верстаті), штамповка або поковка

А 010 Слюсарна (для прокату)

Б Прес

О Виправити прокат

А 015 Токарна (горизонтально-розточувальна, фрезерно-центрувальна)

Б Токарно-гвинторізний (горизонтально-розточувальний, фрезерно-центрувальний) верстат

О Точити (підрізати) (фрезерувати) торці та свердлити центрові отвори

Технологічна база – зовнішні поверхні, торець

Для нежорстких валів виконують обробку шийок під люнети (окрема токарна операція)

А 020 Токарна

Б Токарно-гвинторізний (одиничне виробництво), токарний гідрокіювальний, токарно-револьверний, токарний з ЧПК (серійне виробництво), багатошпindelний багаторізцевий напівавтомат (великосерійне та масове виробництво)

О Точити зовнішні поверхні з переустановкою попередньо (IT12, Ra=6,3 мкм)

Технологічна база – поверхні центрових отворів, торець

А 025 Термічна (нормалізація)

Виконується, якщо необхідно за технічними умовами

А 030 Токарна

Б Див. опер. 020

О Точити зовнішні поверхні з переустановкою остаточно (IT10, IT11, Ra=3,2 мкм)

Технологічна база – поверхні центрових отворів, торець

А 035, 040 Фрезерна (шпонково-фрезерна) та Шліцефрезерна (зубофрезерна)

Б Вертикально-, горизонтально- або шпонково-фрезерний верстат (для 035) та Шліцефрезерний або зубофрезерний (для 040)

О Фрезерувати шпонкові пази (035) або Фрезерувати шліци (040)

Технологічна база – зовнішні циліндричні поверхні, торець (035); поверхні центрових отворів (040)

Якщо обробляється два шпонкові пази, то необхідно перед операцією виконати розмічальну операцію.

А 045 Токарно-гвинторізна або різьбофрезерна

Б Токарно-гвинторізний верстат (одиничне і серійне виробництво), різьбофрезерний (великосерійне і масове виробництво) верстат

О Нарізати (фрезерувати) різьбу

Технологічна база – поверхні центрових отворів, торець

Якщо гартування немає, то операцію виконують після круглошліфувальної операції

А 050 Термічна (гартування)

А 055 Круглошліфувальна (безцентрово-шліфувальна)

Б Круглошліфувальний (безцентрово-шліфувальний) верстат

О Шліфувати шийки остаточно (IT7, IT6, Ra=2,5, Ra=1,6 мкм)

(Якщо необхідно, то шліфується зовнішня поверхня шліців)

Технологічна база – поверхні центрових отворів або зовнішня поверхня валу (для безцентрово-шліфувальної операції)

А 060 Шліцешліфувальна

Б Шліцешліфувальний напівавтомат

О Шліфувати бокові поверхні шліців та внутрішніх поверхонь по діаметру (при центруванні по поверхні внутрішнього діаметру) або тільки бокових поверхонь шліців (при центруванні по зовнішній поверхні)

Технологічна база – поверхні центрових отворів

Операція виконується, якщо необхідно за технічними умовами.

А 065 Мийна

А 070 Контрольна

А 075 Нанесення антикорозійного покриття (якщо необхідно)

## **Контроль валів**

Діаметральні розміри, довжини ступіней, розміри різьб, шліців, шпонкових пазів перевіряють або за допомогою універсальних вимірювальних пристроїв або граничними скобами, різьбовими та шліцьовими кільцями.

Для перевірки відхилення від співвісності шийок ступінчатий вал установлюють базовими шийками на призми контрольного пристосування та щупом індикатора торкаються контрольованої поверхні. Вал повертають навколо осі та за різницею показань індикатора визначають биття шийок вала.

Відхилення від паралельності шліців або шпонкового паза осі вала визначають за різницею показань індикатора в двох крайніх положеннях, установивши вал на призмах або в центрах.

Шорсткість поверхні визначають профілометром або порівнюючи з еталонами.

## **2.2 Технологія виготовлення шпинделів**

2.2.1 Службове призначення шпинделів, технічні вимоги до них. Виготовлення заготовок для шпинделів

2.2.2 Технологічний процес обробки шпинделів

2.2.3 Балансування та контроль шпинделів

### **2.2.1 Службове призначення шпинделів, технічні вимоги до них. Виготовлення заготовок для шпинделів**

Основне службове призначення шпинделя верстата – надання оброблюваній заготовці або ріжучому інструменту обертального руху з відповідними кутовою швидкістю і крутним моментом.

Як опори шпинделів верстатів використовують підшипники кочення і підшипники ковзання. Шпиндель, що несе на собі оброблювану заготовку або ріжучий інструмент, багатьма своїми розмірами входить в розмірні ланцюги системи верстат-пристосування-інструмент-заготовка, безпосередньо впливаючи на точність деталі, що виготовляється (рисунок 2.14).

Для забезпечення стабільності положення осі обертання шпинделя необхідно в першу чергу забезпечити рівність радіусів в кожному з перерізів його опорних шийок, правильність геометричної форми шийок, їх відносного положення, співвісність і потрібний параметр шорсткості поверхні. Для збереження незмінності положення шпинделя в осьовому напрямку під час роботи верстата треба забезпечити перпендикулярність основних опорних базуючих поверхонь відносно вісі обертання шпинделя та співвісність до останньої різьби установочних притискних гайок.

Для забезпечення точності установлення деталі або ріжучого інструмента відносно осі обертання шпинделя установлюються вимоги до точності виконавчих поверхонь – конічних або циліндричних поверхонь центрального отвору шпинделя або центруючих конусів, або циліндричних поясів з опорним фланцем для установлення патронів.





Установлюються відповідно до службового призначення шпинделя технічні вимоги до нього – точність геометричної форми та розмірів посадочних поверхонь, а також допуск співвісності виконавчих поверхонь шпинделя з опорними шийками.

За точністю виготовлення шпинделів верстатів поділяються на п'ять груп – Н, П, В, А, С.

Для шпинделів верстатів нормальної точності (Н) в передню опору установлюють підшипник 4-го класу точності, а в задню опору - підшипник 5-го класу точності. Для верстатів класів В і А використовують підшипники 2-го класу точності. Відповідно з цим установлюють вимоги до геометричної точності опорних шийок.

Допуски овальності і конусоподібності для верстатів нормальної точності не повинні перевищувати 50% допуску діаметральних розмірів шийок, для верстатів підвищеної точності – 25% допуску, для прецизійних –  $5 \div 10\%$  допуску діаметральних розмірів шийок.

Торцеве биття опорних фланців відносно осі обертання шпинделя в залежності від їх діаметра для верстатів нормальної точності не перевищує 0,006...0,008 мм, для прецизійних верстатів – 0,002...0,003 мм і менше.

Для шпинделів, що мають різьбу для установочних опорних кілець, допустимі відхилення від співвісності різьби з опорними шийками підшипників складають 0,025 мм (для верстатів нормальної точності).

В залежності від класу точності верстата параметри шорсткості становлять: для поверхонь опорних шийок  $Ra=0,32 \dots 0,04$  мкм; для виконавчих поверхонь (поверхні конусного отвору і посадочні поверхні під патрон)  $Ra=0,63 \dots 0,04$  мкм.

Для виготовлення шпинделів токарних верстатів, що працюють в нормальних умовах, використовують високоміцний (магнієвий) чавун. Для виготовлення порожнистих шпинделів деяких важких верстатів використовують відливки з сірого чавуна СЧ15, СЧ21 і модифікованого чавуна (значно рідше сталеві відливки).

В залежності від серійності як заготовки для шпинделів використовують поковки, рідше сталеві відливки, прокат і труби. Заготовки чавунних порожнистих шпинделів отримують відцентровим литтям в металеві форми.

В одиничному та малосерійному виробництві виготовляють заготовки для шпинделів з прокату або з поковок, що отримані вільним куванням.

В великосерійному виробництві заготовки сталевих шпинделів виготовляють гарячою висадкою на горизонтально-ковальських машинах або куванням на ротаційно-ковальських машинах.

## 2.2.2 Технологічний процес обробки шпинделів

Перед механічною обробкою заготовки, виготовлені куванням або штампуванням, піддають термічній обробці (нормалізації, покращенню).

А 005 Фрезерно-центрувальна

Б Фрезерно-центрувальний напівавтомат

О Фрезерувати торці та центрувати з двох боків

Технологічна база – зовнішні поверхні найбільш віддалених шийок, торець фланця

А 010 Токарна

Б Токарний гідрокопіювальний верстат, токарний з ЧПК

О Точити зовнішні поверхні до фланця попередньо, підрізати торець фланця попередньо

Технологічна база – поверхні центрових отворів

А 015 Токарна

Б Токарний гідрокопіювальний верстат, токарний з ЧПК

О Точити зовнішні поверхні до фланця з припуском під термічну обробку; проточити канавки, фаски, підрізати торець

Технологічна база – поверхні центрових отворів

А 020 Токарна

Б Токарно-гвинторізний верстат з гідравлічним супортом, токарний з ЧПК

О Точити фланець з припуском, торець фланця, торець шпинделя (з боку фланця), канавку, фаски

Технологічна база – поверхні центрових отворів

А 025 Глибокосвердлильна

Б Глибокосвердлильний верстат

О Свердлити отвір наскрізний з переустановкою

Технологічна база – поверхні найбільш віддалених шийок

А 030 Термічна (стабілізуючий відпуск в вертикальному положенні;  $t=350^{\circ}\text{C}$ , витримка 3 години, охолодження на повітрі)

А 035 Свердлильна

Б Вертикально-свердлильний верстат

О Зенкувати отвір під конус Морзе 6 (з боку фланця)

Технологічна база – поверхні найбільш віддалених шийок

А 040 Токарна

Б Токарний верстат

О Підрізати торець (з боку фланця), розточити конус Морзе 6 під шліфування, розточити технологічний конус Морзе 6 зі зворотного боку з припуском 0,5 мм на діаметр; підрізати торець, точити фаски

Технологічна база – поверхні шийок

А 045 Агрегатна або горизонтально-розточувальна

Б Агрегатно-свердлильний або горизонтально-розточувальний верстат

О Свердли 4 отвори, свердли та нарізати різьбу, свердли та розвернути отвори (у фланці)  
Технологічна база – поверхні шийок  
А 050 Токарна  
Б Токарно-копіювальний напівавтомат, токарний з ЧПК  
О Точити всі шийки до фланця з припуском  $0,7^{+0,1}$  на діаметр  
Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя  
А 055 Шліцефрезерна  
Б Шліцефрезерний верстат  
О Фрезерувати шліци з припуском 0,25 мм на сторону по ширині шліца  
Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя  
А 060 Слюсарна  
О Зачистити задирки, промити  
А 065 Термічна (СВЧ h1,2...2,2 HRC 45...55)  
(Гартувати шийки шпинделя, шліци, зовнішній та внутрішній конус, торець фланця)  
А 070 Круглошліфувальна  
Б Круглошліфувальний верстат  
О Шліфувати конус (з боку фланця) на пробках попередньо з припуском 0,1 мм на діаметр, торець фланця з припуском 0,1 мм; биття торця і конуса відносно осі 0,01 мм  
Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя  
А 075 Токарна  
Б Токарний, токарний з ЧПК  
О Точити поверхні шийок (за 9÷12-м квалітетами) остаточно, інші шийки до фланця – з припуском 0,3...0,02, підрізати торець, точити канавки, фаски; нарізати прямокутну різьбу  
Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя  
А 080 Внутрішньошліфувальна  
Б Внутрішньошліфувальний верстат  
О Шліфувати технологічний конус Морзе 6 остаточно  
Технологічна база – поверхні опорних шийок  
А 085 Внутрішньошліфувальна  
Б Внутрішньошліфувальний верстат  
О Шліфувати технологічний конус Морзе 6 з головної частини (фланця) попередньо за калібром, торець шпинделя  
Технологічна база – поверхні опорних шийок  
А 090 Токарна  
Б Токарний, токарний з ЧПК

О Точити фаску на конусі  $7^{\circ}07'30''$ ; правити канавки, зачистити гострі кромки по нитках різьб, зачистити верх різьби

Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя

А 100 Шліцешліфувальна

Б Шліцешліфувальний верстат

О Шліфувати шліци

Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя

А 105 Круглошліфувальна

Б Круглошліфувальний верстат

О Шліфувати поверхні шийок остаточно

Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя

А 110 Круглошліфувальна

Б Круглошліфувальний верстат

О Шліфувати конус  $7^{\circ}07'30''$  і торець фланця остаточно

Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя

А 115 Круглошліфувальна

Б Круглошліфувальний верстат

О Шліфувати торець шийок шпинделя, внутрішній торець фланця

Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя

А 120 Круглошліфувальна

Б Круглошліфувальний верстат

О Шліфувати зовнішню поверхню шліців (D) остаточно (биття не більше 0,005 мм).

Технологічна база – поверхні центрових отворів пробок, встановлених в конусні отвори шпинделя

А 125 Внутрішньошліфувальна

Б Внутрішньошліфувальний верстат

О Шліфувати конус Морзе 6 попередньо і остаточно; конусоподібність перевірити по фарбі, шар не більше 0,0015 мм; довжина нестертих ділянок зафарбованої поверхні не більше 10 мм

Технологічна база – опорні шийки шпинделя

А 130 Слюсарна

О Калібрувати, перевірити різьби, протерти

А 135 Контрольна

Обробка шпинделів прецизійних верстатів потребує використання верстатів підвищеної точності на остаточних операціях, додатковими термічними операціями для зняття внутрішніх напруг. Якщо шорсткість опорних шийок шпинделя  $Ra \leq 0,16$  мкм, то можна використовувати тонке

шліфування, доведення (притирку), суперфінішування. Як правило, операції остаточного шліфування або суперфінішування треба виконувати в термоконстантних приміщеннях.

### 2.2.3 Балансування та контроль шпинделів

Усі шпинделі верстатів проходять *балансування* в складеному вигляді. Погрішності виготовлення і монтажу шпинделя, а також неоднакова щільність металу, з якого він виготовлений, викликають неврівноваженість шпинделя, що при експлуатації верстата може викликати вібрації.

Вони знижують стійкість ріжучого інструменту, якість обробленої поверхні, викликають зношування опор шпинделя і в ряді випадків виникає потреба знижувати режими різання, що зменшує продуктивність, або примушує зупинити роботу.

Неврівноваженість може бути статичною, коли не співпадає центр ваги деталі з віссю обертання (вона викликає лише відцентрову силу), і динамічною, коли дія неврівноважених мас викликає появу пари сил і відцентрових моментів інерції, що не дорівнюють нулю. Для усунення неврівноваженості деталі проходять балансування. Відповідно до двох видів неврівноваженості існують два види балансування – статичне і динамічне.

*Статичне балансування* використовують для деталей, у яких співвідношення  $L/D$  невелике (маховики, диски, зубчасті колеса). Балансування виконують на оправці з надягнутою на неї деталлю, що вільно переміщується на двох паралельних ножах або роликах під дією статичного моменту. Таким чином визначається радіальний напрям прикладення зрівноважуючого вантажу.

У шпинделя верстатів  $L/D \gg 1$ . Через те, що на шпиндель монтують декілька деталей (зубчасті колеса, кільця-гайки, підшипники, втулки, фланці), то для нього притаманні обидва види неврівноваженості.

*Динамічне балансування* виконується на спеціальних балансувальних верстатах. Неврівноваженість шпинделя визначається зміною амплітуди і фази коливань опор. Неврівноваженість усувають висвердлюванням металу в заданих місцях деталі, або вузла, що балансується за допомогою двох спеціальних свердлильних головок, що має балансувальний верстат.

**Контроль шпинделів.** Точність виготовлення шпинделя: спочатку перевіряють правильність форми поверхонь, потім їх геометричні розміри та їх положення.

Вимірювальними базами при перевірці шпинделя є поверхні його опорних шийок. Шпиндель установлюють опорними шийками з упором в один торець на призми контрольної плити або спеціальних контрольних пристроїв. Одна з призм – регульована по висоті.

Правильність геометричної форми визначають в декількох перерізах, перпендикулярних до осі шпинделя: овальність і конусоподібність – за до-

помогою скоб з відліковим пристроєм (типу СР за ГОСТ 11098-75), а круглість – за допомогою кругломіру (за ГОСТ 17353-80).

Відхилення твірної циліндричної поверхні від прямолінійності перевіряють індикатором. Прямолінійність твірної конуса перевіряють за допомогою пристрою БВ-7320.

Діаметральні розміри в залежності від ступеню точності і їх значення перевіряють скобами з відліковим пристроєм СР, а також мікрометром (ціна поділки 0,01 мм), пасаметром (ціна поділки 0,002 мм) або мікропастом (ціна поділки 0,001 мм).

Потім контролюють правильність положення поверхонь відносно осі обертання шпинделя. Відхилення від співвісності контрольованої поверхні з віссю обертання шпинделя перевіряють індикаторами, обертаючи шпиндель навколо осі. Таку перевірку виконують в двох крайніх перерізах контрольованої поверхні.

Якщо шпиндель має конічний центральний отвір, то биття конусної поверхні відносно осі обертання шпинделя перевіряється за допомогою циліндричної оправки, яку установлюють в отвір точним конусним хвостовиком.

Також можна використовувати спеціальний стенд для перевірки відхилень від співвісності, радіального та торцевого биття (рисунок 2.15).

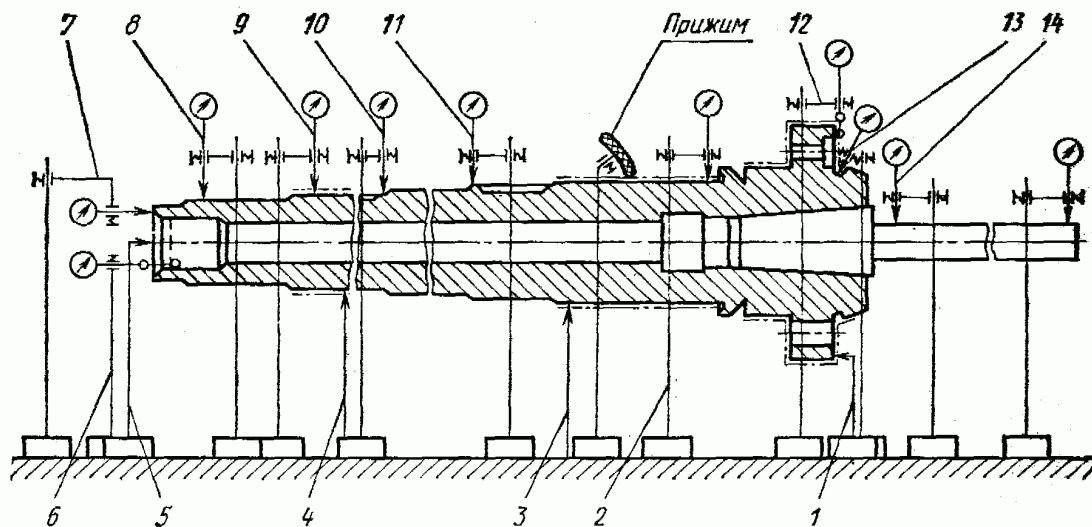


Рисунок 2.15 – Стенд спеціальний для контролю відхилень від співвісності, радіального і торцевого биття шпинделя:

1, 5 – упор (торцевий – I варіант, центральний – II варіант); 2, 9 – контроль співвісності; 3, 4 – ножеподібні призми; 6, 8, 10, 11, 13, 14, 15 – контроль радіального биття; 7, 12 – контроль торцевого биття

## 2.3 Технологія виготовлення ходових гвинтів

2.3.1 Службове призначення та матеріал ходових гвинтів

2.3.2 Нарізання різьби на ходових гвинтах

2.3.3 Технологічний процес виготовлення ходових гвинтів

### 2.3.1 Службове призначення та матеріал ходових гвинтів

Ходові гвинти служать для перетворення обертального руху в поступальне прямолінійне переміщення за допомогою сполученої з ним гайки різних деталей та вузлів верстата (супортів, кареток, фартухів і ін.).

Ходові гвинти в залежності від ступеню точності переміщення, яку вони забезпечують, та групи точності верстатів поділяють на 5 класів: 0, 1, 2, 3 і 4. В металорізальних верстатах в залежності від їх точності в основному використовують ходові гвинти 0÷2-го класів точності.

Профіль різьби ходових гвинтів може бути трапецієподібним, прямокутним та трикутним. Ходові гвинти з трапецієподібною різьбою мають найбільше застосування через їх більшу міцність порівняно з прямокутною різьбою, та можливістю за допомогою розрізної гайки регулювати осьові зазори. Крім того, їх нарізання та шліфування значно простіше, чим нарізання та шліфування прямокутної різьби.

На верстатах з ЧПК використовують гвинтові пари кочення, що складаються з ходового гвинта та гайки, сполучення між якими створюється за допомогою кульок. Така гвинтова пара не є самогальмівною і може використовуватись як для перетворення обертального руху в поступальний, так і навпаки.

Профіль гвинтових канавок та гайок може бути напівкруглий та арочний (рисунок 2.16).

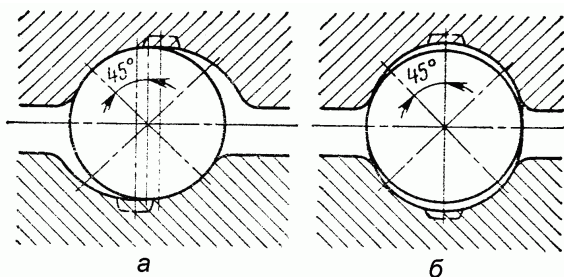


Рисунок 2.16 – Профіль гвинтових канавок: а – напівкруглий; б – арочний

В першому випадку (рисунок 2.16, а) профіль різьби подібний профілю бігової доріжки шарикопідшипників і при роботі в парі з гайкою створює двохточковий контакт шариків. Недолік такого профілю - невизначеність кута контакту. Арочний профіль (рисунок 2.16, б) створює чотириточковий контакт шариків, що забезпечує постійність кута контакту.

Технічні вимоги до ходових гвинтів пар кочення в основному такі ж самі, що й до ходових гвинтів ковзання.

Ходові гвинти ковзання 0÷2-го класів точності без термічного зміцнення виготовляють зі сталей А40Г за ГОСТ 1414-78 і У10А за ГОСТ

1435-78. Ходові гвинти ковзання 0÷2-го класів точності із зміцнюючим об'ємним гартуванням (в основному прецизійних верстатів) виготовляють зі сталей ХВГ, 7ХГ2ВМ, 40ХФА і ін.

Ходові гвинти пар кочення виготовляють з легованої сталі ХВГ або азотованої сталі 30Х3ВА та підлягають термічній обробці до HRC<sub>э</sub> 59...63.

Як заготовка для ходових гвинтів використовується сортовий прокат.

### 2.3.2 Нарізання різьби на ходових гвинтах

Різьбу на ходових гвинтах нарізають декількома методами: фрезеруванням, вихровим нарізанням і за допомогою різця на токарно-гвинторізному верстаті. Перші два методи використовують як чорнові операції.

Ходові гвинти нарізають на токарних та різьбонарізних верстатах прорізними та профільними різцями. При цьому використовують два способи установки площини профілю різця відносно осі нарізуваного ходового гвинта.

При першому способі площину профілю різця суміщають з площиною, що проходить через вісь ходового гвинта (рисунок 2.17, а).

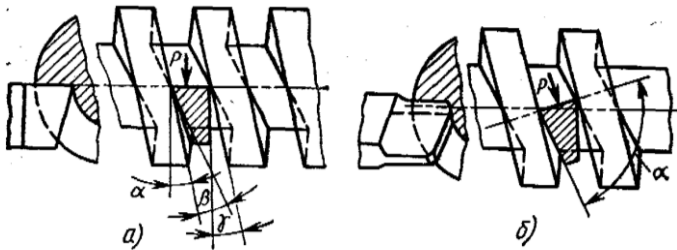


Рисунок 2.17 – Схеми установки різців при нарізанні різьби

Всі ріжучі кромки різця є прямолінійними. Це значно полегшує його заточку по профілю і забезпечує геометрично правильний профіль різьби ходового гвинта.

Недолік методу – при великому куті підйому гвинтової лінії нарізуваних гвинтів у однієї кромки різця утворюється тупий кут різання, внаслідок чого вона скребе, а не ріже метал, у іншій кромки утворюється гострий кут, що послаблює ріжучу кромку. Також виникає можливість вривання різця в метал під впливом сил, що виникають внаслідок тертя однієї з граней різця по стінці канавки.

При другому способі установки площини профілю різця відносно осі ходового гвинта (рисунок 2.17, б) кути різання у обох ріжучих кромках різця однакові і складова сили різання спрямована перпендикулярно до площини профілю різця. Цим пояснюється відсутність недоліків, що притаманні першому способу. Але для отримання прямобічного профілю різьби правильної геометричної форми необхідно, щоб усі три кромки різця були виконані криволінійними, що значно ускладнює та здорожує виготовлення і заточування таких різців.

Перший спосіб установки різців використовують для чистового нарізання ходових гвинтів з невеликим кутом підйому різьби, а другий – для чорнової обробки. Чистове нарізання ходових гвинтів з великим кутом пі-



дйому різьби рекомендується вести трьома окремими різцями, при цьому їх різучі кромки виконують прямолінійними і площину профілю різця установлюють в площині, що проходить через вісь ходового гвинта.

**Фрезерування різьби** на різьбофрезерних верстатах дисковою фрезою з прямолінійними різучими кромками використовують для чорнової обробки. Дискову фрезу установлюють так, щоб вісь її обертання розташовувалась на висоті центрів перпендикулярно до середньої гвинтової лінії різьби гвинта. Така установка фрези викликає викривлення профілю нарізуваної різьби, тому його виправляють на наступних операціях калібруванням різцями. Іншим недоліком такого способу є нерівномірність різання, що підвищує шорсткість оброблюваної поверхні та прискорює затуплення фрези.

Різьбу нарізають на різьбофрезерних верстатах фрезами з швидкорізучої сталі при швидкості різання 40...50 м/хв., подачі 0,4÷0,6 мм/зуб. При використанні фрези з твердосплавними пластинами швидкість різання зростає до 180÷200 м/хв.

**Вихрове нарізання різьби** полягає в тому, що при обертанні оброблюваної заготовки та паралельному русі різцевої головки вздовж її вісі з визначеним кроком за один оберт заготовки відбувається результуючий рух по гвинтовій лінії. Вісь різцевої головки зміщена паралельно осі оброблюваної заготовки на величину  $e$ , тому процес нарізання є переривчастим (рисунок 2.18).

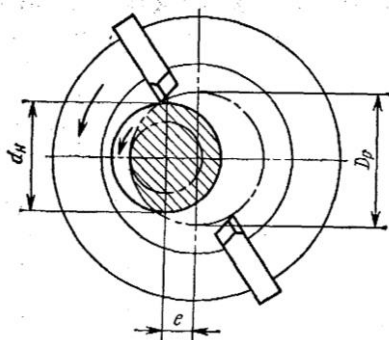


Рисунок 2.18 – Схема вихрового нарізання зовнішньої різьби

Різцева головка є дисковою фрезою внутрішнього торкання з установленими в неї двома, чотирма або шістьма різцями, профіль яких відповідає профілю нарізуваної різьби. Вихрове нарізання можна виконувати як на спеціальних верстатах, так і на звичайних токарних, оснащених спеціальними різцевими головками з окремим приводом.

Вершини різців установлюють в інструментальній головці по окружності діаметром  $D_p$ , більшим, чим діаметр нарізуваної різьби  $d_n$ ; при  $d_n = 30...40$  мм  $D_p = d_n + (6...8)$  мм; при  $d_n = 41...60$  мм  $D_p = d_n + (8...10)$  мм.

Зміщення осі обертання інструментальної головки відносно вісі обертання заготовки визначається за формулою  $e = D_p - \frac{d_n}{2} + t$ , де  $t$  – глибина профілю різьби.

Порівняно з фрезеруванням вихрове нарізання різьби з твердосплавними пластинами з використанням охолодження більш продуктивніше, дає малу шорсткість поверхні і знижує деформації різьби. Зменшити шорсткість та підвищити точність різьби можна збільшенням кількості різців в

інструментальній головці і спеціальним розподілом між ними елементів обробки різьби.

Вихрове нарізання використовують для нарізання гвинтів 3-го і 4-го класів точності або як попередню операцію для нарізання гвинтів більш високих класів точності.

### 2.3.3 Технологічний процес виготовлення ходових гвинтів

*Обробка ходового гвинту ковзання 2-го класу точності, сталь А40Г без термічного зміцнення з різьбою трапецієподібного профілю, верстат 16К20 (серійне виробництво)*

Заготовка – прокат

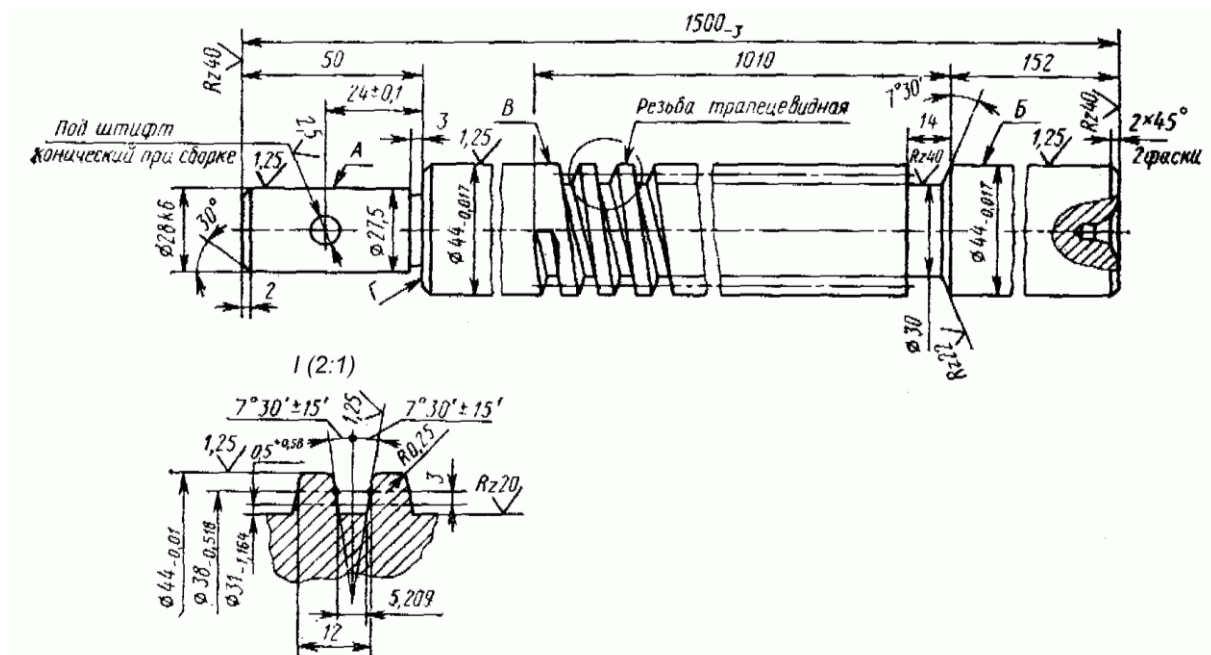


Рисунок 2.19 – Ходовий гвинт токарного верстата 16К20

А 005 Токарно-гвинторізна

Б токарно-гвинторізний верстат

О Підрізати торці, центрувати з двох торців, зняти фаски з переустановленням

Технологічна база – зовнішня поверхня заготовки

А 010 Токарно-гвинторізна

Б Токарно-гвинторізний верстат

О Точити зовнішні поверхні попередньо, торці, канавки, фаски

Технологічна база – поверхні центрових отворів

А 015 Токарно-гвинторізна

Б Токарно-гвинторізний верстат

О Точити канавку, зняти гострі кромки

Технологічна база – поверхні центрових отворів

А 020 Круглошліфувальна

- Б Круглошліфувальний верстат
- О Шліфувати поверхні опорних шийок
- Технологічна база – поверхні центрових отворів
- А 025 Токарно-гвинторізна або Різьбофрезерна
- Б Токарно-гвинторізний або різьбофрезерний верстат
- О Нарізати різьбу попередньо (припуск 0,5 мм на сторону) (вихрове нарізання) або Фрезерувати різьбу
- Технологічна база – поверхні центрових отворів
- А 030 Токарно-гвинторізна
- Б Токарно-гвинторізний верстат
- О Прорізати поверхню по внутрішньому діаметру різьби остаточно, прорізати бокові сторони різьби попередньо (припуск 0,12 мм на сторону), зняти фаску, зачистити заходи різьби
- Технологічна база – поверхні центрових отворів
- А 035 Вертикально-свердлильна
- Б Вертикально-свердлильний верстат
- О Свердлити отвір під конічний штифт
- Технологічна база – зовнішня поверхня
- А 040 Круглошліфувальна
- Б Круглошліфувальний верстат
- О Шліфувати поверхні опорних шийок остаточно; притерти центри попередньо та виставити люнети.
- Технологічна база – поверхні центрових отворів
- Починаючи з цієї операції гвинти зберігати в вертикальному положенні.**
- А 045 Токарно-гвинторізна
- Б Токарно-гвинторізний верстат
- О Правити гвинт до 0,05 мм; проточити бокові сторони різьби з припуском 0,05 мм на сторону; зняти фаски по нитках різьби. Контролювати різьбу: по середньому діаметру – індикаторним пристроєм; її профіль – шаблоном
- Технологічна база – поверхні центрових отворів
- А 050 Токарно-гвинторізна
- Б Токарно-гвинторізний верстат
- О Нарізати різьбу остаточно  $P=12$  мм. Контроль на верстаті нарізаної різьби
- Технологічна база – поверхні центрових отворів
- А 055 Круглошліфувальна
- Б Круглошліфувальний верстат
- О Шліфувати поверхні опорних шийок остаточно
- Технологічна база – поверхні центрових отворів
- А 060 Нанесення антикорозійного покриття

Ходові гвинти підвищеної точності в залежності від класу точності передбачають одноразову або багаторазову термічну обробку, для зняття

внутрішніх напруг. Після термообробки центрові отвори шліфують. Міжопераційне зберігання гвинтів виконують в вертикальному положенні, а окремі операції (особливо опоряджувальні) виконують в термokonстантних приміщеннях.

### **Контроль ходових гвинтів**

Параметри точності ходових гвинтів (зовнішній, середній і внутрішній діаметри, відхилення від круглоти і від профілю поздовжнього перерізу поверхонь, кут профілю, крок різьби) контролюють в залежності від класу точності ходових гвинтів різними вимірювальними засобами: скобами з відліковим пристроєм, спеціальними і універсальними машинами, профільними шаблонами і спеціальними вимірювальними мікроскопами, приладами для контролю погрішності кроку.

Вимірювання кроку у гвинтів невисокого (4-го) класу точності доцільно виконувати за допомогою крокомірів з одного боку профілю на окремих його ділянках (довжиною 50 і 300 мм).

Для гвинтів більш високого класу точності крок вимірюють на спеціальних вимірювальних пристроях з використанням зразкових гвинтів високої точності.

Профіль різьби можна вимірювати також спеціальним оптичним компаратором.

## Тема 3 Технологія виготовлення деталей зубчатих передач

### 3.1 Технологія виготовлення деталей циліндричних зубчатих передач

3.1.1 Службове призначення, технічні вимоги до циліндричних зубчатих коліс

3.1.2 Методи обробки та контролю циліндричних зубчатих коліс

3.1.3 Технологічні процеси обробки циліндричних зубчатих коліс

#### 3.1.1 Службове призначення, технічні вимоги до циліндричних зубчатих коліс

Циліндричні зубчаті колеса призначені для передачі обертового руху між валами з паралельними та перехрещуваними (гвинтові циліндричні передачі) осями.

Розрізняють: силові зубчаті передачі, що призначені для передачі крутного моменту зі зміною частоти обертання валів; кінематичні передачі, призначені для точної передачі обертального руху між валами при відносно невеликих значеннях крутного моменту.

Циліндричні зубчаті колеса виготовляють з прямими та косими зубами, рідше – з шевронними.

Основні механізми, в яких використовують циліндричні зубчаті колеса: коробки передач тракторів та автомобілів, редуктори, передні бабки вертатів, коробки передач і ін.

В залежності від службового призначення використовують наступні типи зубчатих коліс (рисунок 3.1):

I – одновінцеві колеса ( $l/d > 1$ )

II – багатовінцеві колеса ( $l/d > 1$ )

III – одновінцеві колеса типу дисків ( $l/d < 1$ )

IV – вінці, які після обробки насажуються та закріплюються на маточину колеса

V – зубчаті колеса-вали.

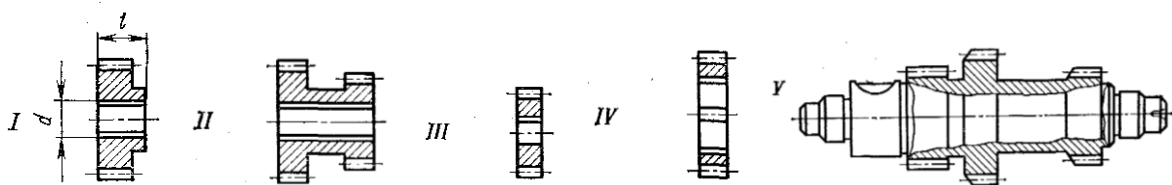


Рисунок 3.1 – Типи циліндричних зубчатих коліс

За ГОСТ 1643-81 встановлено 12 ступенів точності зубчатих передач: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Для кожної ступені точності передбачаються наступні норми:

- кінематичної точності колеса, що визначають повну похибку кута повороту зубчатих коліс за один оберт;

- плавності роботи коліс, що визначають складову повної погрішності кута повороту зубчатого колеса, що багаторазово повторюється за оберт колеса;

- контакту зубів, що визначають відхилення відносних розмірів плями контакту сполучених зубів в передачі.

Незалежно від ступеню точності коліс установлені норми бокового зазору (види сполучених зубчатих коліс). Існує 6 видів сполучення зубчатих коліс в передачі, які в порядку зменшення навантаження бокового зазору позначаються буквами *A, B, C, D, E, H* та 8 видів допуску (*Tjn*) та боковий зазор: *x, y, z, a, b, c, d, h*.

В залежності від службового призначення зубчаті колеса виготовляють з вуглецевих, легованих сталей (40X, 12ХН3А, 45), чавуна, пластичних мас.

Леговані сталі забезпечують більш глибоке гартування та меншу деформацію порівняно з вуглецевими сталями.

Матеріал зубчатих коліс повинен мати однорідну структуру, що забезпечує стабільність розмірів після термічної обробки, особливо по розміру отворів та кроку коліс.

Нестабільність виникає після цементації та гартування, коли в заготовці збурігається остаточний аустеніт, вона може виникнути також в результаті наклепу і при механічній обробці.

Визначено, що найбільше жолоблення дає цементація і менше - гартування, тому часто виправлення жолоблення та підвищення точності шевінгуванням виконують не до цементації, а між цементацією та гартуванням.

При виготовленні високоточних коліс рекомендується чередувати механічну обробку з операціями термічної стабілізації розмірів для зняття внутрішніх напруг.

Розрізняють основні види заготовок зубчатих коліс при різних конструкціях і серійності випуску: заготовка з прокату; поковка, що виконана вільним куванням на кувальному молоті; штампована заготовка в підкладних штампах, що виконана на молотах або пресах; штампована заготовка в закріплених штампах, виконаних на молотах, пресах і горизонтально-ковальських машинах.



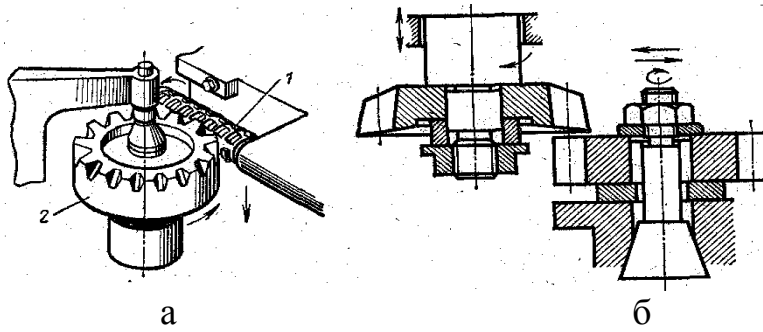


Рисунок 3.4 – Нарізання зубчатих коліс черв'ячною фрезою та зуборізним довбачем

На зубофрезерних верстатах виконують зубонарізання черв'ячними фрезами. Верстати можуть мати вертикальну або горизонтальну вісі обертання деталі. Продуктивність обробки збільшують за рахунок збільшення діаметра фрези (підвищується стійкість інструмента), жорсткості її установки, використання спеціальних інструментальних матеріалів, застосування багатозаходних черв'ячних фрез та збільшення кількості одночасно нарізуваних коліс (рисунок 3.4, а).

На зубодовбальних верстатах виконують зубонарізання зуборізними довбачами (рисунок 3.4, б). Обробка коліс з  $m=1...2$  мм відбувається за один робочий хід; з  $2 < m < 4$  – за два робочих хода; з  $m > 4$  – за три робочих хода.

Зубодовбання є єдиним методом для нарізання коліс з внутрішнім зачепленням (при середніх та малих діаметрах), а також при обробці зубчатих вінців в блочних шестернях.

Зубостругання – це метод, що побудований на зачепленні колеса і рейки, що відтворюється інструментом – гребінкою (рисунок 3.5). Обробка виконується на верстатах з вертикальною або горизонтальною віссю заготовки. Продуктивність методу менше, чим у зубофрезерування черв'ячною фрезою та зубодовбання.

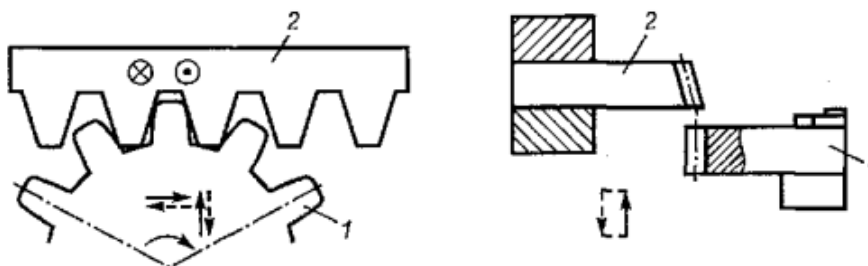


Рисунок 3.5 – Обробка великомодульних коліс зубчатыми гребінками:  
1 – колесо, що обробляється; 2 – зубчата гребінка

### Накатування зубчатих коліс

Накатування зубчатих поверхонь має великі переваги перед способами обробки різанням: підвищується продуктивність в 5...30 разів; збі-



льшується зносостійкість і міцність зубів; значно зменшуються відходи металу і ін.

Гаряче накатування використовують для профілів з модулем більше 2 мм; холодне накатування рекомендується для дрібномодульних коліс з модулем до 1,5...2 мм. Гаряче накатування виконують як з радіальною, так і з поздовжньою подачею (рисунок 3.6, 3.7).

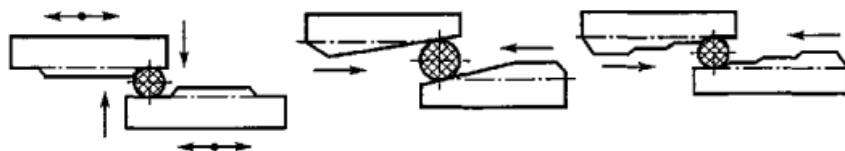


Рисунок 3.6 – Обробка зубів рейковими накатниками

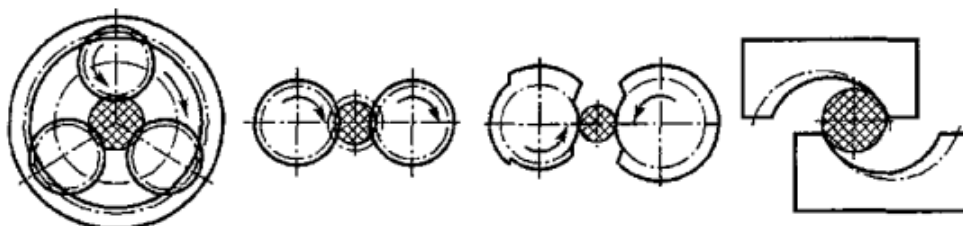


Рисунок 3.7 – Обробка зубів циліндричними накатниками

### **Опоряджувальна обробка зубів зубчатих коліс**

**Шевінгування** – чистова обробка зубів незагартованих циліндричних зубчатих коліс (твердість не більше HRC<sub>э</sub> 40), що виконується шевером на зубошевінгувальних верстатах (рисунок 3.8). При шевінгуванні точність зубчатих коліс підвищується на одну ступінь, рідше – на дві.

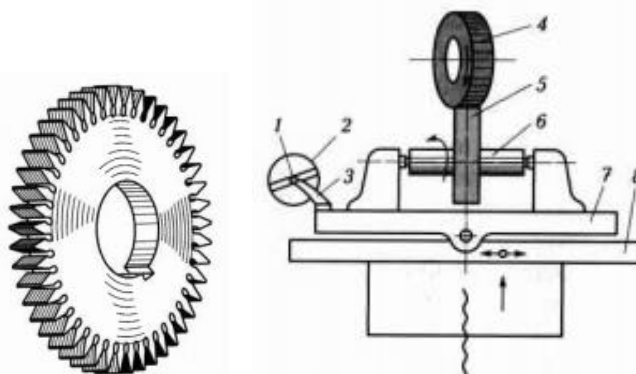


Рисунок 3.8 – Схема зубошевінгування

**Шліфування зубів зубчатих коліс** – метод опоряджувальної обробки, як правило загартованих зубчатих коліс. Шліфування виконують на зубошліфувальних верстатах як методом копіювання, так і методом обкатування (рисунок 3.9). При шліфуванні за методом копіювання використовують профільні круги.

Шліфування за методом обкатування може виконуватись на зубошліфувальних верстатах двома дисковими кругами; дисковим кругом; черв'ячним кругом і ін.

Найбільш продуктивним є шліфування двома дисковими кругами і особливо шліфування черв'ячними кругами, що забезпечують точність до 5-ї ступені і параметр шорсткості  $Ra \leq 0,32 \text{ мкм}$ .

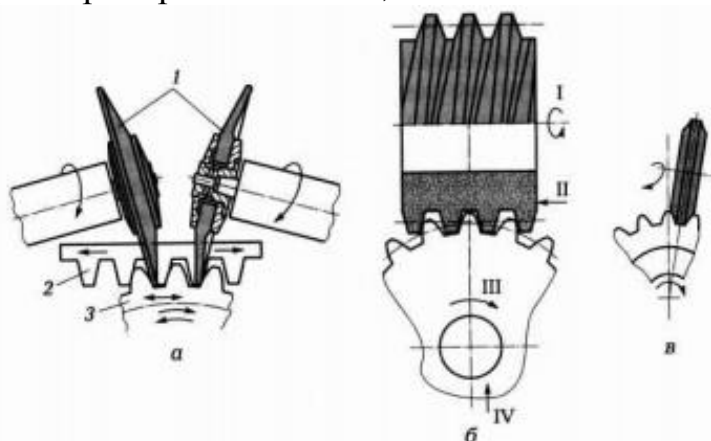


Рисунок 3.9 – Схеми зубошліфування:

а) двома тарілчастими кругами (методом обкатки); б) абразивним черв'яком (методом обкатки); в) профільним кругом (методом копіювання)

**Хонінгування** використовують при чистовому опоряджуванні зубів, як правило, загартованих циліндричних коліс зовнішнього та внутрішнього зачеплень (рисунок 3.10). Процес виконується на зубохонінгувальних верстатах за допомогою зубчатого абразивного інструмента – хона. Хонінгування дозволяє зменшити шорсткість і підвищити довговічність зубчатої передачі.

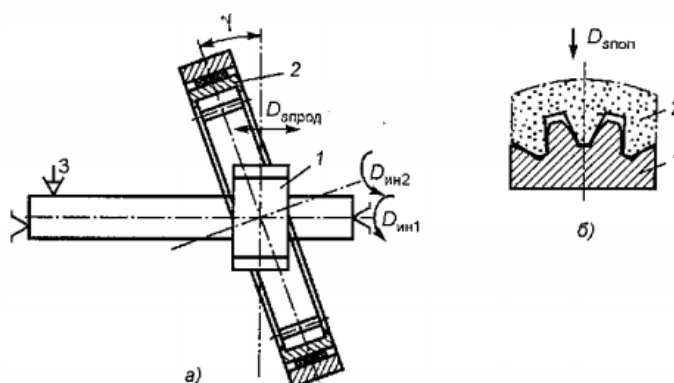


Рисунок 3.10 – Схема зубохонінгування:

а) розташування зубчатого вінця хону та колеса, що обробляється;  
б) зачеплення зубів хону і колеса; 1 – колесо, що обробляється;  
2 – зубчатий вінець хону

До опоряджувальних методів належать також: обкатування зубів та прикатування (зачеплення з еталонним колесом); притирка (штучне зношування робочої поверхні зубів притирами з використанням абразивної пасти) (рисунок 3.11); приборіток (притирання пари зубчатих коліс без притиру) і ін.

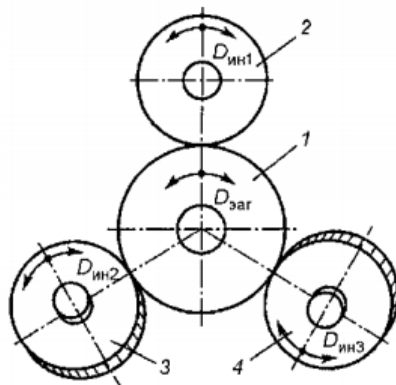


Рисунок 3.11 – Схема обробки зубів колеса трьома притирами:  
1 – колесо, що обробляється; 2, 3, 4 - притири

### Контроль зубчатих коліс

Виконується в 2 етапи: при виготовленні коліс до зубообробки; після зубообробки.

Оброблювана поверхня	Вид обробки	Параметри, що перевіряються	Засоби пристосування
До обробки зубів			
Торці та циліндричні поверхні	Чистова обробка точінням або шліфуванням	Биття торців, биття по зовнішнім циліндричним поверхням	Індикаторні пристосування
Шліцевий отвір з посадкою по малому діаметру шліців	Протягування шліців	Ширина шліцевого паза	Шаблон граничний
		Великий діаметр шліців Малий діаметр шліців	Пробка гранична
	Калібрування шліців	Ширина шліцевого паза	Шаблон граничний
		Відносне розташування шліців	Шліцевий комплексний калібр
Чистова обробка отвору за малим діаметром шліців шліфуванням	Діаметр малого отвору	Пробка гранична або прилад для виміру отворів	
Шліцевий отвір з посадкою по малому діаметру шліців	Калібрування шліців після термічної обробки	Ширина шліцевого паза	Шаблон граничний
		Відносне розташування шліців	Шліцевий комплексний калібр

При обробці зубів				
Обробка коліс	зубів	Чистове фрезерування або довбання зубів	Коливання вимірювальної міжцентрової відстані: за один оберт колеса  на одному зубі Довжина загальної нормалі	Прилад для дво-хкомплексної профільної перевірки зубчатих коліс Скоба гранична Мікрометр для виміру довжини загальної нормалі
		Шевінгування або шліфування зубів	Коливання вимірювальної міжцентрової відстані: за один оберт колеса на одному зубі	Прилад для комплексної перевірки зубчатих коліс
	Довжина загальної нормалі		Нормалемір, мікрометр для вимірювання довжини загальної нормалі, скоба індикаторна	
	Коливання довжини загальної нормалі		Прилад для контролю кутового кроку	
	Похибка напрямку зуба		Прилад для контролю евольвенти та напрямку зуба	
	Радіальне биття зубчатого вінця		Прилад для контролю радіального биття зубчатого вінця	

### 3.1.3 Технологічні процеси обробки циліндричних зубчатих коліс

#### *Обробка зубчатих коліс з маточиною 7-го ступеню точності (тип I, II)*

005 Заготівельна

Різка прокату або штамповка (поковка)

010 Термічна

Нормалізація, відпуск (для зняття внутрішніх напруг)

015 Токарна

Обладнання – токарно-гвинторізний (одиничне виробництво), токарно-револьверний, токарний з ЧПК (серійне виробництво), одно- або багатопшпindelний токарний напівавтомат (масове виробництво).

Точити торець обода або торець маточини з одного боку попередньо, точити зовнішню поверхню обода до кулачків патрону попередньо, розточити попередньо на прохід отвір (або свердлити та розточити), точити зовнішню поверхню маточини попередньо, точити фаски.

Технологічна база – зовнішня поверхня обода та торець, протилежний маточині.

020 Токарна

Обладнання – те ж (див. операцію 015).

Точити базовий торець обода (протилежний маточині) попередньо, точити зовнішню поверхню обода, що залишилась необробленою на опер. 015, попередньо, розточити отвір під протягування (шліфування), точити фаски.

Технологічна база – оброблені поверхні обода та більшого торцю (з боку маточини).

025 Протяжна (довбальна)

Обладнання – горизонтально-протяжний або довбальний.

Протягнути (довбати в одиничному виробництві) шпонковий паз або шліцевий отвір.

Технологічна база – отвір та базовий торець

Використовують варіанти чистового протягування отвору на даній операції замість чистового розточування на попередній операції.

030 Токарна

Обладнання – токарно-гвинторізний (одиничне виробництво), токарний з ЧПК (серійне) або токарний багаторізцевий напівавтомат (масове).

Точити базовий та протилежний торці, зовнішню поверхню вінця остаточно.

Технологічна база – поверхня отвору

035 Зубофрезерна

Обладнання – Зубофрезерний напівавтомат

Фрезерувати зуби попередньо (забезпечується 8-а ступінь точності).

Технологічна база – отвір та базовий торець.

040 Зубофрезерна

Обладнання – зубофрезерний напівавтомат

Фрезерувати зуби остаточно (забезпечується 7-а ступінь точності).

Технологічна база – отвір та базовий торець.

045 Зубошевінгувальна

Обладнання – зубошевінгувальний верстат

Шевінгувати зуби.

Технологічна база – отвір та базовий торець.

050 Термічна

055 Внутрішньошліфувальна

Обладнання – внутрішньошліфувальний верстат

Шліфувати отвір і базовий торець

Технологічна база – робочі евольвентні поверхні зубів (початкова окружність колеса) та торець, протилежний базовому.

У випадку базування колеса за зовнішню поверхню вінця для забезпечення співвісності поверхонь обертання необхідно виконати перед та після термообробки круглошліфувальну операцію для шліфування зовнішньої поверхні вінця та торцю, протилежного базовому.

Обладнання – круглошліфувальний або торцекруглошліфувальний верстат

Технологічна база – отвір та базовий торець.

060 Плоскошліфувальна

Обладнання – плоскошліфувальний верстат

Шліфувати торець, протилежний базовому (якщо необхідно за кресленням).

Технологічна база – базовий торець.

065 Зубошліфувальна

Обладнання – зубошліфувальний напівавтомат

Шліфувати зуби.

Технологічна база – отвір та базовий торець.

При малому жолобленні зубів після термообробки (наприклад, при азотуванні замість цементації) операція зубошліфування може бути замінена зубохонінгуванням або бути відсутньою.

070 Мийна

075 Контрольна

080 Нанесення антикорозійного покриття.

### ***Обробка плоских зубчатих коліс 7-го ступеню точності (тип III, IV)***

005 Заготівельна

Різка прокату або штамповка (поковка)

010 Термічна

Нормалізація, відпуск (для зняття внутрішніх напруг)

015 Токарна

Обладнання – (подібно 015 операції обробки колеса з маточиною).

Точити торець з одного боку, зовнішню поверхню до кулачків, розточити отвір попередньо.

Технологічна база – зовнішня поверхня і торець.

020 Токарна

Обладнання – те ж

Точити другий торець, зовнішню поверхню, що залишилась, попередньо та розточити отвір під тонке розточування або протягування.

Технологічна база – оброблена частина зовнішньої поверхні і торець.

025 Плоскошліфувальна

Обладнання – плоскошліфувальний верстат

Шліфувати торці послідовно з двох боків.

Технологічна база – торець

030 Алмазно-розточна (вертикально-протяжна)

Обладнання – токарно-гвинторізний верстат, токарний одношпindelний напівавтомат або алмазно-розточний варіант; при протягуванні - вертикально-протяжний верстат.

Розточити (протягнути) отвір під шліфування.

Технологічна база – торець та зовнішня поверхня (алмазно-розточна операція), торець і отвір (протяжна операція).

035 Токарна

Обладнання – токарно-гвинторізний верстат або одношпindelний токарний напівавтомат

Точити зовнішню поверхню остаточно. Обробляють декілька заготовок, установлених на оправці.

Технологічна база – торець та отвір.

040 Зубофрезерна

Обладнання – зубофрезерний напівавтомат

Фрезерувати зуби попередньо та остаточно. (може виконуватись за дві операції в серійному і масовому виробництвах).

Технологічна база – та ж (див. опер. 035).

045 Протяжна (довбальна)

Обладнання – вертикально-протяжний або довбальний верстат

Протягнути (довбати) шпонковий паз або шліци

Технологічна база – торець та отвір

050 Зубошевінгувальна

Обладнання, зміст операції та технологічна база подібні операції 045 маршруту обробки колеса з маточиною.

055 Термічна

060 Круглошліфувальна

Обладнання – круглошліфувальний або торцекруглошліфувальний верстат

Шліфувати зовнішню поверхню та один торець.

Технологічна база – отвір та другий торець (оправка)

(Може виключатись, якщо при шліфуванні отвору (065) базою є евольвентна поверхня зубів).

065 Внутрішньошліфувальна  
Обладнання – див. опер. 055 маршруту обробки колеса з маточиною.  
Шліфувати протилежний торець та отвір за один установ.  
Технологічна база – евольвентна поверхня зубів і торець (див. (055) маршруту обробки колеса з маточиною).

070 Зубошліфувальна  
Обладнання – див. опер. 070 маршруту обробки колеса з маточиною.  
Шліфувати зуби.  
Технологічна база – торець та отвір.

075 Мийна

080 Контрольна

085 Нанесення антикорозійного покриття

### ***Обробка плоских зубчатих коліс-валів 7-го ступеню точності (тип V)***

005 Заготівельна  
Різка прокату або штамповка (поковка)

010 Фрезерно-центрувальна (горизонтально-розточувальна)  
Обладнання – фрезерно-центрувальний (горизонтально-розточувальний) верстат  
Фрезерувати та центрувати торці з двох боків.  
Технологічна база – поверхні зовнішніх ступіней заготовки та один з торців

015 Токарна  
Обладнання – токарно-гвинторізний, токарно-револьверний, токарний з ЧПК  
Точити зовнішні поверхні заготовки попередньо з одного боку  
Технологічна база – поверхні центрових отворів, торець

020 Токарна  
Обладнання – те ж (див. опер. 015)  
Точити зовнішні поверхні попередньо з іншого боку  
Технологічна база – поверхні центрових отворів, торець

025, 030 Токарна  
Обладнання – те ж (див. опер. 020)  
Точити зовнішні поверхні остаточно (опер.015, 020)  
Технологічна база – те ж, що й на опер. 015, 020

035 Фрезерна  
Обладнання – вертикально-фрезерний, шпонково-фрезерний, поздовжньо-фрезерний верстат  
Фрезерувати шпонкову канавку  
Технологічна база – поверхня шийок, торець

040 Зубофрезерна  
Обладнання – зубофрезерний напівавтомат  
Фрезерувати зуби крайнього вінця



Технологічна база – поверхні центрових отворів  
045 Зубофрезерна  
Обладнання – зубофрезерний напівавтомат  
Фрезерувати зуби середнього великого вінця  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
050 Зубодовбальна  
Обладнання – зубодовбальний верстат  
Довбати зуби крайнього вінця  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
055 Зубозакруглювальна  
Обладнання – зубозакруглювальний верстат  
Закруглити зуби крайнього вінця  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
060 Зубозакруглювальна  
Обладнання – зубозакруглювальний верстат  
Закруглити зуби середнього великого вінця  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
065, 070, 075 Зубошевінгувальна  
Обладнання – зубошевінгувальний верстат  
Шевінгувати зуби крайнього вінця (опер. 065), середнього вінця  
(опер. 070), вінця з іншого боку вала (опер. 075).  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
080 Термічна  
085 Круглошліфувальна  
Обладнання – круглошліфувальний верстат  
Шліфувати ступіні вала з одного боку  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
090 Круглошліфувальна  
Обладнання – круглошліфувальний верстат  
Шліфувати ступіні вала з другого боку  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
095, 100, 105 Зубопритиральна  
Обладнання – зубопритиральний верстат  
Притерти зуби малого вінця (опер. 095), середнього великого вінця  
(опер. 100), крайнього вінця (опер. 105).  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
110 Мийна  
115 Контрольна

## 3.2 Технологія виготовлення деталей конічних зубчатих передач

3.2.1 Службове призначення, технічні вимоги до конічних зубчатих коліс

3.2.2 Методи нарізання та контролю конічних зубчатих коліс

3.2.3 Технологічні процеси обробки конічних зубчатих коліс

### 3.2.1 Службове призначення, технічні вимоги до конічних зубчатих коліс

Конічні зубчаті колеса призначені для передачі обертального руху між валами з осями, що перехрещуються. Їх виготовляють з прямими, косими та круговими зубами.

На конічні передачі ГОСТ 1758-81 встановлено 12 ступенів точності. Для 1÷3-ї ступенів точності граничні відхилення та допуски на норми точності не передбачені.

В кінематичних ланцюгах прецизійних верстатів та верстатів підвищеної точності використовують колеса 5÷6-ї ступеней, в коробках швидкостей та подач верстатів нормальної точності – колеса 7-ї ступені, а в кінематичних ланцюгах більш грубих механізмів – колеса 8-ї ступені точності.

За конструкцією конічні колеса можна поділити на 3 основних типи: колеса з маточиною, у яких співвідношення  $l/d > 1$  (рисунок 3.12, а); колеса вінцевого типу (рисунок 3.12, б), колеса-вали (рисунок 3.12, в).

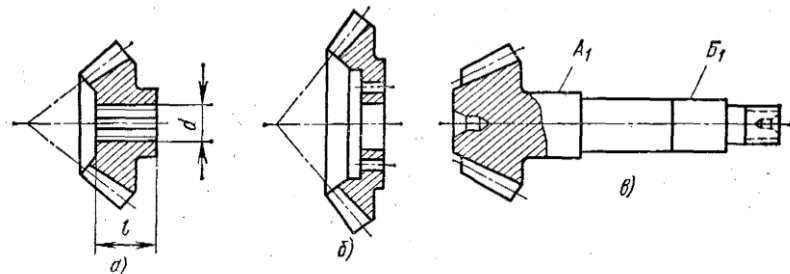


Рисунок 3.12 – Конструктивне виконання конічних зубчатих коліс

Кожному ступеню точності зубчатих коліс і передач відповідають визначені норми кінематичної точності, норми плавності роботи і норми контакту зубчатих коліс. Норми плавності не можуть бути більш ніж на два ступені точніше або на один ступінь менш точніше, чим норми кінематичної точності. А норми контакту зубів не можуть бути менш точними, чим норми плавності.

Існує 6 видів сполучень зубчатих коліс в передачі, які в порядку зменшення гарантованого бокового зазору  $j_{\min}$  позначаються буквами А, В, С, D, Е, Н.

Між видом сполучення зубчатих коліс та ступенем точності на норми плавності роботи передачі має місце наступна залежність:

Вид сполучення	А	В	С	Д	Е	Н
Ступінь точності	4...12	4...11	4...9	4...8	4...7	4...7

Норми контакту зубів в передачі, що характеризуються відносними розмірами сумарної плями контакту по довжині та висоті зуба:

Ступінь точності 4÷5-а	70 % від довжини зуба, 75% від середини глибини заходу
Ступінь точності 6÷7-а	60 % від довжини зуба, 65% від середини глибини заходу
Ступінь точності 8÷9-а	50 % від довжини зуба, 55% від середини глибини заходу
Ступінь точності 10÷12-а	40 % від довжини зуба, 45% від середини глибини заходу

Умовне позначення зубчатої передачі 8-7-6-С (ГОСТ 1758-81):  
 8-а ступінь за кінематичною точністю,  
 7-а ступінь за нормами плавності,  
 6-а ступінь за нормами контакту зубів,  
 С – вид сполучення.

Конічні колеса з круговими зубами забезпечують плавну та безшумну роботу при передачі великих навантажень на великих колових швидкостях. Використовують колеса з круговими зубами трьох типів.

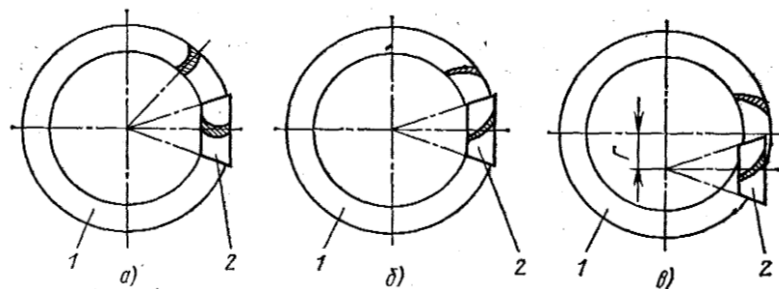


Рисунок 3.13 – Конічні колеса з круговими зубами:  
 а – типу Зерол (нульові); б – спіральні конічні; в – геліодні колеса

1. У коліс типу Зерол (нульові) кут нахилу спіралі в середині вінця дорівнює нулю (рисунок 3.13,а). Їх можна використовувати замість конічних коліс з прямими зубами, не змінюючи монтажних розмірів передачі.

2. У спіральні-конічних коліс кут спіралі в середині вінця не дорівнює нулю (рисунок 3.13, б). Такі колеса завжди мають в зачепленні не менше двох зубів, що дозволяє передавати потужність на 30 % більше потужності, що передається колесом Зерол. Такі колеса використовують в авіації, верстатобудуванні та автотракторній промисловості.

3. У гепоїдних коліс вісь ведучої шестерні зміщена відносно осі веденого колеса (рисунок 3.13,в). Вони мають більшу міцність та дозволяють отримати більшу плавність та безшумність роботи, чим інші колеса.

Гепоїдні зубчаті передачі використовують в автомобілебудуванні, верстатобудуванні.

Конічні зубчаті колеса виготовляють з вуглецевих сталей: сталь 40, сталь 45 (піддаються гартуванню), сталь 15, сталь 20 (піддаються цементації), або легованих сталей: сталь 40Х (піддається гартуванню), 20Х (піддається цементації), хромонікелевих (18ХГТ, 20ХНМ).

Заготовками в залежності від типу виробництва є штамповки, поковки або круглий прокат.

### 3.2.2 Методи нарізання та контролю конічних зубчатих коліс

#### *Нарізання конічних зубчатих коліс*

Конічні зубчаті колеса з прямими, тангенційними та криволінійними зубами можуть бути нарізані різними методами. Фрезерування дисковими і пальцевими модульними фрезами за методом копіювання виконують на спеціальних або універсально-фрезерних верстатах.

Дискові фрези використовують для чорнового нарізання прямозубих коліс в умовах великосерійного виробництва та для чистового нарізання невеликих коліс невисокої точності в одиничному виробництві (рисунок 3.14).

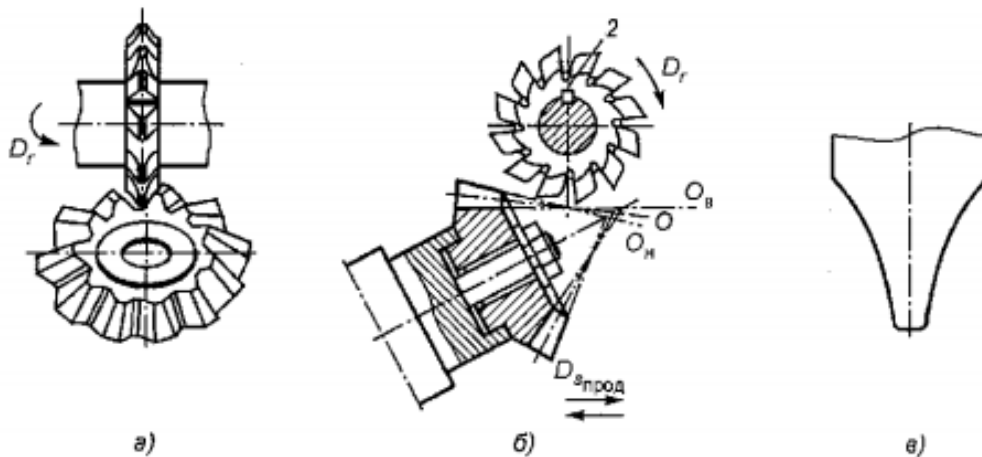


Рисунок 3.14 – Схема нарізання прямозубого конічного колеса дисковою модульною фрезою в один чистовий робочий хід

Пальцеві фрези використовують для нарізання великих коліс (діаметр 3000...5000 мм,  $m \leq 50$  мм) невеликої точності з прямими і криволінійними зубами. Фрезерування дисковими або пальцевими модульними фрезами дозволяє отримати 9÷10-у ступені точності і параметр шорсткості бокової поверхні зубів  $Ra=10...5$  мкм.

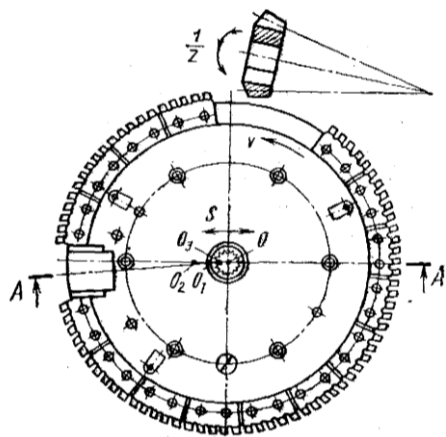


Рисунок 3.15 – Схема нарізання конічних коліс круговою протяжкою

Нарізання зубів круговою протяжкою є найбільш продуктивним методом виготовлення прямозубих конічних коліс невеликого діаметра (рисунок 3.15).

В процесі циклу протяжка обертається та поступально переміщується від точки  $O_1$  до точки  $O_2$  і назад (рух подачі). Таким чином нарізають конічні колеса в масовому виробництві на спеціальних автоматах і напівавтоматах.

Стругання двома різцями за методом обкатування використовують для нарізання конічних коліс (діаметром 50...1000 мм,  $m \leq 20$  мм) з прямими і косими зубами.

Нарізання зубів виконують на спеціальних зубостругальних верстатах в умовах одиничного та серійного виробництва (рисунок 3.16).

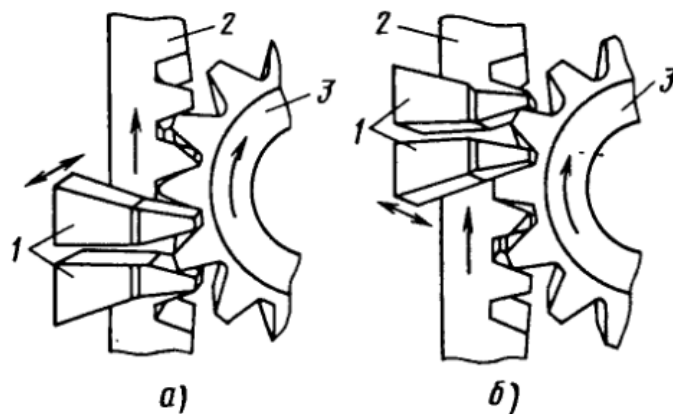


Рисунок 3.16 – Схема нарізання конічних зубчатих коліс з прямими зубами двома зубостругальними різцями методом обкатування

Колеса з  $m > 3,5$  мм нарізають за декілька робочих ходів. Для коліс з  $m > 5$  мм попереднє нарізання зубів доцільно виконувати фрезеруванням дисковими фрезами, а остаточне – струганням.

Стругання двома різцями за методом обкатування забезпечує 7÷8-у ступені точності і параметр шорсткості бокової поверхні зубів  $Ra=1,25...2,5$  мкм.

Прямі зуби конічних коліс можуть бути нарізані також струганням одним або двома різцями за копиром на зубостругальних верстатах. Цей метод дозволяє нарізати колеса великого діаметра (2000...4500 мм) з  $m \leq 30$  мм. Нарізання великомодульних коліс здійснюється за 4÷5 робочих ходів. Досягається 8÷9-а ступені точності, параметр шорсткості бокової поверхні зубів  $Ra=5...2,5$  мкм. Метод використовують в важкому машинобудуванні в одиничному та малосерійному виробництвах.

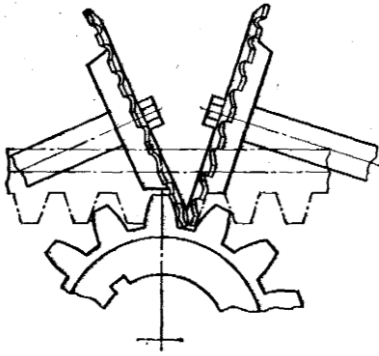


Рисунок 3.17 – Схема фрезерування двома дисковими фрезами за методом обкатування

Фрезерування двома дисковими фрезами за методом обкатування (рисунок 3.17) виконують на спеціальних зубофрезерних верстатах в умовах великосерійного виробництва. Нарізають як прямозубі так і конічні колеса (діаметром до 320 мм,  $m < 8$  мм) з прямим або бочкоподібним профілем зуба в поздовжньому перерізі. Метод значно продуктивніше зубостругання.

Фрезерування торцевими різцевими головками використовують для нарізання конічних коліс з криволінійними зубами. Обробку виконують на спеціальних верстатах за методом копіювання (врізання) або обкатування. Конічні колеса з  $m \leq 2,5$  мм нарізають за один робочий хід. Для коліс з  $m > 2,5$  мм використовують чорнову та чистову обробку.

При методі копіювання заготовка колеса залишається нерухомою, а різцева головка обертається, переміщується уздовж осі і прорізає западину зуба. При методі обкатування (рисунок 3.18) заготовка шестерні 1 та колиска 2 з різцевою головкою 3 виконують погоджене обертання.

В процесі обертання ріжучі кромки різців послідовно займають визначені положення, створюючи кругові зуби уявлюваного плоского колеса 4, з яким знаходиться в зачепленні заготовка шестерні.

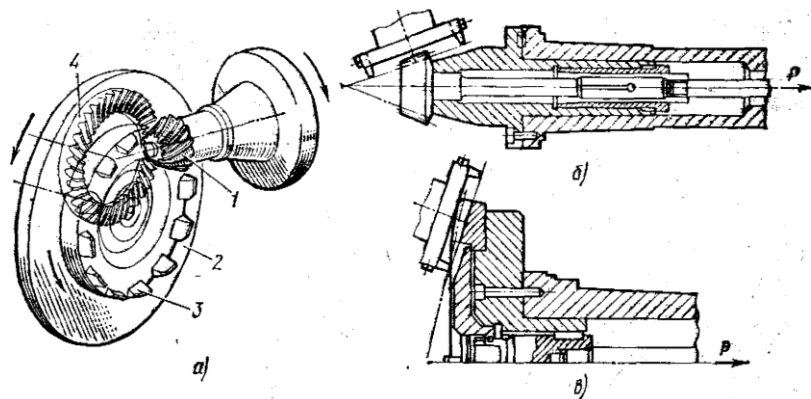


Рисунок 3.18 – Схема нарізання кругових зубів конічних коліс за методом обкатування різцевими головками, розташування заготовки та схема нарізання різцевої головки (а), схема нарізання колеса – вала (б), схема нарізання плоского колеса (в)

При чорновій обробці метод копіювання використовують головним чином для нарізання зубів колеса, а метод обкатування – для чорнового нарізання зубів шестерні.

## ***Опорядження конічних зубчатих коліс***

В великосерійному і масовому виробництвах опорядження конічних коліс виконують по наступній технологічній схемі. Після зубонарізання виконують обкатування коліс під навантаженням (нагартування). Потім гартування та остаточну притирку зубів.

Обкатування виконують на обкатних верстатах при безззорному зачепленні заготовки в парі з загартованим колесом, в зону контакту подається машинне мастило. Після термообробки виконують підбір пар зубчатих коліс за сумарною плямою контакту та шуму, а потім притирку коліс. Конічні колеса в підбраній парі притирають на притирочних верстатах. Притирка зменшує шорсткість поверхні зубів, покращує форму сумарної плями контакту та геометрію зачеплення. Рівень шуму передач зменшується на 4...6 дБ.

Опорядження загартованих конічних коліс досягається шліфуванням на спеціальних зубошліфувальних верстатах з метою підвищення точності та зменшення шорсткості поверхні.

В залежності від конструкції верстата при шліфуванні конічних коліс можлива обробка одним кругом окремо кожного боку зуба або двома кругами одночасно двох бокових поверхонь зуба. Шліфування виконують дисковими або тарілчастими кругами.

Для шліфування зубів прямозубих конічних коліс використовують також спеціальний зубошліфувальний пристрій, який установлюється на зубостругальні верстати. При цьому потрібна точність досягається методом обкатування, коли зуби плоского похідного колеса створюються кромками шліфувальних кругів.

Для зубошліфування конічних коліс з криволінійною формою зуба,  $m = 2,5 \dots 15$  мм використовують, наприклад, спеціальні зубошліфувальні верстати 5871, 5872. За кінематичною структурою ці верстати подібні верстатам для нарізання кругових зубів. Але привід інструмента має більшу частоту обертання, чим різцевої головки. Номінальний діаметр шліфувального круга дорівнює діаметру різцевої головки.

## ***Контроль конічних зубчатих коліс***

Конічні зубчаті колеса перевіряють в більшості випадків на тих же приладах, що і циліндричні.

Відхилення окружного кроку та накопичену похибку окружного кроку перевіряють на універсальному зубошліфувальному приладі з кутовим лімбом, відхилення окружного кроку вимірюють за допомогою крокоміру.

Радіальне биття зубчатого вінця перевіряють за допомогою конічного ролика та індикатора на приладі для конічних та циліндричних коліс. Товщину зуба контролюють штангензубоміром.

Коливання вимірювального міжосьового кута та коливання бокового зазору в передачі контролюють в двохпрофільному зачепленні з еталонним колесом на приладі для комплексної двохпрофільної перевірки або на контрольно-обкатному верстаті.

Осьове зміщення зубчатого вінця, відхилення відносних розмірів сумарної плями контакту та рівень звукового тиску перевіряють на контрольно-обкатних верстатах.

### **3.2.3 Технологічні процеси обробки конічних зубчатих коліс**

#### ***Обробка конічних коліс 8-го ступеню точності (тип I)***

005 Заготівельна (штамповка)

010 Токарна

Обладнання – токарно-гвинторізний (одиничне виробництво), токарно-револьверний, токарний з ЧПК (серійне виробництво)

Підрізати торець, свердлити, розточити отвір.

Технологічна база – конічна поверхня заготовки, торець

015 Протяжна

Обладнання – горизонтально-протяжний верстат

Протягнути отвір та шліци

Технологічна база – поверхня отвору і торець

020 Токарна

Обладнання – див. опер. 010

Точити зовнішні поверхні заготовки (на оправці) попередньо

Технологічна база – поверхня отвору і торець

025 Токарна

Обладнання – див. опер. 010

Точити зовнішні поверхні заготовки (на оправці) остаточно

Технологічна база – поверхня отвору і торець

030 Зубостругальна (зубофрезерна)

Обладнання – зубостругальний (зубофрезерний) верстат

Нарізати зуби попередньо

Технологічна база – поверхня отвору і торець

035 Зубостругальна (зубофрезерна)

Обладнання – зубостругальний (зубофрезерний) напівавтомат

Нарізати зуби остаточно

Технологічна база – поверхня отвору і торець

040 Контрольна

045 Термічна

050 Внутрішньошліфувальна

Обладнання – внутрішньошліфувальний верстат

Шліфувати отвір і торець

Технологічна база – бокові поверхні трьох западин зубів і торець



055 Мийна  
060 Контрольна  
Обладнання – контрольно-обкатний верстат  
Підібрати зубчату пару  
Технологічна база – поверхня отвору і торець

Якщо необхідно виготовити зубчате колесо 5÷6-го ступеню точності, то в ТП додаються операції калібрування шліцьового отвору після термічної обробки. Також виконують тонке шліфування базових поверхонь (отвору, торцю). Остаточо обробляють зуби шліфуванням (чистовим та опоряджувальним) профілів зубів.

***Обробка конічних коліс-валів 5÷6-го ступенів точності (тип III),  
серійне виробництво***

005 Заготівельна (штамповка)  
010 Фрезерно-центрувальна  
Обладнання – фрезерно-центрувальний верстат  
Фрезерувати торці, зацентрувати  
Технологічна база – зовнішня поверхня шийок, торець

015 Токарна  
Обладнання – токарний гідрокопіювальний напівавтомат, токарний з  
ЧПК

Точити зовнішні поверхні з одного боку заготовки попередньо  
Технологічна база – поверхні центрових отворів

020 Токарна  
Обладнання – токарний гідрокопіювальний напівавтомат, токарний з

ЧПК  
Точити зовнішні поверхні з другого боку заготовки попередньо  
Технологічна база – поверхні центрових отворів

025 Термічна

030 Токарна  
Обладнання – див. опер. 015

Точити зовнішні поверхні з одного боку остаточно  
Технологічна база – поверхні центрових отворів

035 Круглошліфувальна

Обладнання – круглошліфувальний верстат

Шліфувати базову шийку та торець попередньо (створення бази для  
обробки зубчатого вінця)

Технологічна база – поверхні центрових отворів

040 Токарна

Обладнання – токарно-револьверний верстат підвищеної точності

Точити конусні, торцеві поверхні під зубчатий вінець остаточно

Технологічна база – циліндрична поверхня шийок, торець

045 Зубофрезерна

Обладнання – зубофрезерний напівавтомат  
Фрезерувати зуби колеса попередньо  
Технологічна база - циліндрична поверхня шийок, торець  
050 Зубостругальна  
Обладнання – зубостругальний напівавтомат  
Стругати зуби попередньо  
Технологічна база - циліндрична поверхня шийок, торець  
055 Зубостругальна  
Обладнання – зубостругальний напівавтомат  
Стругати зуби остаточно, 6-а ступінь точності (припуск під шліфування 0,2...0,3 мм на товщину зуба)  
Технологічна база - циліндрична поверхня шийок, торець  
060 Мийна  
065 Контрольна (перевірка плями контакту)  
070 Термічна (цементация, гартування до HRC 60, низький відпуск)  
075 Круглошліфувальна  
Обладнання – круглошліфувальний верстат  
Шліфувати базові шийки та торець  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
080 Вертикально-фрезерна  
Обладнання – вертикально-фрезерний верстат  
Фрезерувати шпонкову канавку  
Технологічна база – циліндричні поверхні шийок, торець  
085 Слюсарна  
090 Термічна (штучне старіння)  
100 Круглошліфувальна  
Обладнання – круглошліфувальний верстат підвищеної точності  
Шліфувати базові шийки і торець остаточно ( $R_a=1,25$  мкм, допустиме биття торця і шийок – не більше 0,003...0,005 мм)  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
105 Круглошліфувальна  
Обладнання – див. опер. 100  
Шліфувати конусні, циліндричні, торцеві поверхні зубчатого вінця остаточно  
Технологічна база – поверхні центрових отворів  
110 Зубошліфувальна  
Обладнання – Зубошліфувальний верстат підвищеної точності  
Шліфувати зуби попередньо (під остаточно шліфування залишається 1/3 загального припуску)  
Технологічна база - циліндричні поверхні шийок, торець  
115 Зубошліфувальна  
Обладнання – Зубошліфувальний верстат підвищеної точності  
Шліфувати зуби остаточно ( $R_a=1,25$  мкм)  
Технологічна база – див. опер. 110  
120 Мийна

125 Контрольна

Обладнання – контрольно-обкатний верстат

Підібрати зубчаті колеса в пари за плямою контакту

Технологічна база - поверхні центрових отворів

При обробці зубчатих коліс більшого ступеню точності в технологічному маршруті будуть відсутні окремі опоряджувальні операції.

### **3.3 Технологія виготовлення деталей черв'ячних передач**

3.3.1 Службове призначення, технічні вимоги до черв'яків та черв'ячних коліс

3.3.2 Методи нарізання та контролю черв'яків та черв'ячних коліс

3.3.3 Технологічні процеси обробки черв'яків та черв'ячних коліс

#### **3.3.1 Службове призначення, технічні вимоги до черв'яків та черв'ячних коліс**

За службовим призначенням черв'ячні передачі поділяють на кінематичні та силові. Кінематичні передачі використовують в різних механізмах, ділільних ланцюгах зуборізних і інших металорізальних верстатах для досягнення високої точності відносного повороту.

В кінематичних передачах високої точності на відміну від силових в ряді випадків передбачається регулювання точності відносного положення черв'яка та колеса. Силові черв'ячні передачі використовують в різних редукторах, коробках швидкостей та механізмів для передачі крутного моменту при великому передаточному відношенні.

В ГОСТ 3675-81 передбачено 12 ступенів точності черв'ячних передач: 1, 2, 3 ... 11, 12. Але норми точності наведені для 3÷9-ї ступенів.

Кінематичні передачі відповідають 3÷6-й, а силові черв'ячні передачі 5÷9-й ступеням точності. Кожній ступені точності відповідають норми кінематичної точності, плавності роботи, контакту зубів та витків.

Ступінь точності передачі або пари визначають за одним з елементів – черв'яку, колесу або корпусу, у якого найбільш низькі показники точності. Можливе комбінування різних ступенів на норми кінематичної точності, плавності роботи.

Відповідно до ГОСТ 3675-81 установлено 6 видів сполучення черв'яка з черв'ячним колесом А, В, С, D, Е, Н та 8 видів допуску T<sub>1n</sub> на боковий зазор x, y, z, a, b, c, d, h. Ці позначення в порядку зменшення бокового зазору та допуску на нього.

Між видами сполучень черв'яка з черв'ячним колесом та ступінню точності передач за нормами плавності роботи є наступна відповідність:

Вид сполучення	А	В	С	Д	Е	Н
Ступінь точності за нормами плавності роботи	5...12	5...12	3...9	3...8	2...6	2...6

Черв'ячна передача з різною ступінню точності за усіма трьома нормами має умовне позначення 8-7-6 Ва ГОСТ 3675-81, де 8 – ступінь за нормою кінематичної точності; 7 – ступінь за нормами плавності; 6 – ступінь за нормою контактів зубів; В – вид сполучення; а – вид допуску на боковий зазор.

В машинобудуванні використовують циліндричні та глобоїдні черв'ячні передачі. Циліндричні передачі мають черв'як, осьовий переріз якого є рейкою з прямолінійними або криволінійними боковими сторонами (рисунок 3.19, а).

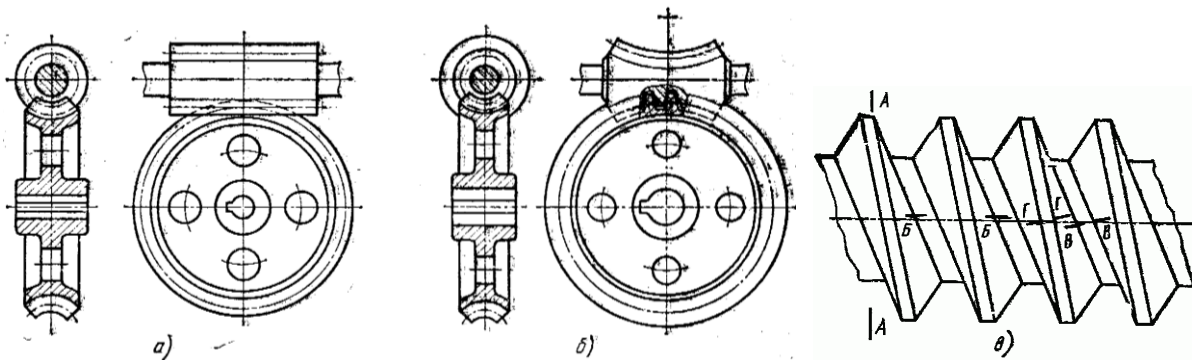


Рисунок 3.19 – Черв'ячні передачі: а – циліндрична; б – глобоїдна; в – перерізи циліндричних черв'яків: А-А – поперечний, Б-Б – осьовий, В-В – перпендикулярний до напрямку западини, Г-Г – перпендикулярний до напрямку витка

Глобоїдні передачі мають черв'як, осьовий переріз якого є круговою рейкою з прямолінійними боковими сторонам (рисунок 3.19, б).

Циліндричні передачі за формою гвинтової поверхні поділяють на 4 види:

1. Архімедова черв'ячна передача має черв'як, у якого профіль бокової поверхні витка в поперечному перерізі А-А (рисунок 3.19, в) є архімедовою спіраллю. В осьовому перерізі Б-Б архімедов черв'як має прямолінійний профіль, а в перерізі Г-Г, перпендикулярному до напрямку витка, – криволінійний.

2. Евольвентна черв'ячна передача має черв'як, у якого профіль бокової поверхні витка в поперечному перерізі А-А має форму евольвенти. В осьовому перерізі Б-Б та перерізі, перпендикулярному до напрямку витка Г-Г, евольвентний черв'як має криволінійний профіль. Прямолінійний профіль витка черв'яка утворюється в перерізі площиною, дотичною до основного циліндру.

3. Конволютна передача має черв'як, у якого профіль бокової поверхні витка в поперечному перерізі А-А є подовженою евольвентою (конволютою). В перерізі, перпендикулярному до напрямку витка Г-Г або запарини В-В, конволютний черв'як має прямолінійний профіль.

4. Нелінійні черв'яки мають в усіх перерізах криволінійний профіль.

Для зменшення тертя та зношення, а також запобігання заїдання черв'ячної пари робоча поверхня витків черв'яка повинна мати високу твердість та малу шорсткість, а матеріал черв'ячного колеса повинен мати хороші антифрикційні властивості.

Черв'яки швидкохідних високонавантажених передач виготовляють з якісних вуглецевих сталей 40, 45 або легованих сталей 40Х, 40ХН і ін. В цьому випадку використовують нагрів поверхні під гартування СВЧ або полум'ям, що забезпечує твердість робочих поверхонь НРС, 48...57. Найкращі результати отримують при використанні цементованих сталей 15Х, 15ХА, 20Х, 20ХНВА, 20ХВ. Черв'яки найменш відповідальних передач, для яких достатня твердість НВ 270, виготовляють з нормалізованих або покращених сталей.

Глободні черв'яки виготовляють зі сталей 35ХНА, 33ХГН. Для виготовлення черв'ячних коліс в відповідальних передачах з великими швидкостями ковзання ( $v > 5$  м/с) використовують бронзи БрОБ10-1, БрОНФ, при менших швидкостях використовують бронзу БрАЖ9-4. Черв'ячні колеса передач з малими швидкостями ( $v < 2$  м/с), до габаритів та ККД яких не пред'являють високі вимоги, виготовляють з чавуна СЧ21, СЧ15.

За конструкцією черв'яки поділяють на черв'яки-вали, насадні черв'яки-втулки. Черв'ячні колеса бувають суцільними та складеними; у останніх маточина – з чавуна або сталі, а вінець – з бронзи.

Заготовки для черв'яків в великосерійному та масовому виробництві штамповані, а в малосерійному та одиничному – круглий прокат. Заготовками для черв'ячних коліс є відливки та прокат. В великосерійному виробництві використовують наступні методи отримання відливок – лиття під тиском, лиття в кокіль, лиття по виплавлених моделях. Для складених коліс невеликого розміру використовують заготовки в вигляді біметалевих відливок.

### 3.3.2 Методи нарізання та контролю черв'яків та черв'ячних коліс

Гвинтова поверхня *циліндричних черв'яків* в залежності від серійності може бути нарізана за допомогою профільних різців на токарно-гвинторізних верстатах або за допомогою дискових фрез – на універсально-фрезерних, різьбофрезерних та спеціальних верстатах.

Досягнення найбільш точного значення кроку модульних черв'яків забезпечується при ходовому гвинті верстата з кроком, що кратний  $\pi$ . Як-

що крок ходового гвинта не кратний  $\pi$ , то використовують набори змінних коліс з передаточним відношенням, що приблизно дорівнює  $\pi$ .

Для зменшення погрішності профілю витка остаточне нарізання гвинтової поверхні рекомендується виконувати різцями з прямолінійною ріжучою кромкою.

Для нарізання архімедова черв'яка різець з прямолінійним профілем установлюють так, щоб його ріжучі кромки лежали в осьовій площині черв'яка (рисунок 3.20, а). Черв'яки з малим кроком підйому гвинтової лінії нарізають двостороннім різцем. При великих кутах підйому гвинтової лінії роздільно обробляють лівий та правий боки витка односторонніми різцями.

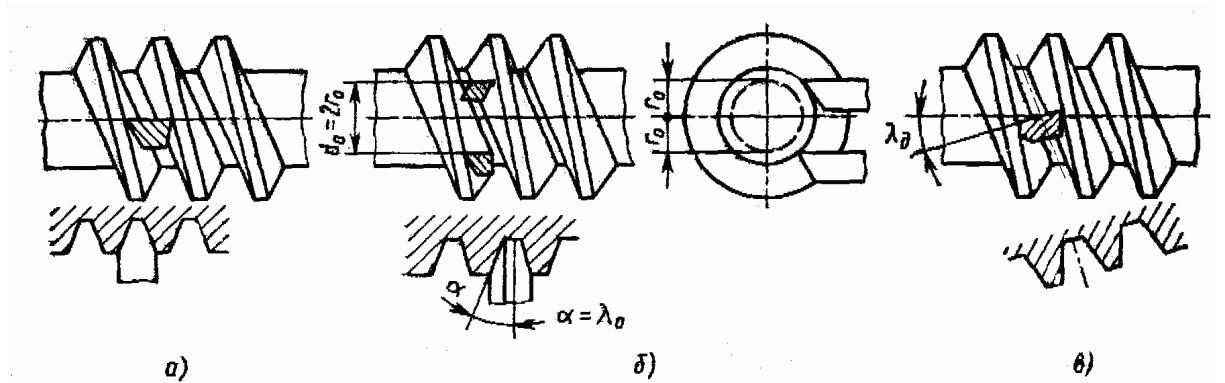


Рисунок 3.20 – Схеми нарізання різцями черв'яків:  
а – архімедового; б – евольвентного; в – конволютного

При нарізанні евольвентного черв'яка різець з прямолінійним профілем установлюють так, щоб його ріжучі кромки розташовувались в площині, дотичної до основного циліндра (рисунок 3.20, б). Зміщення різця від осьової площини визначають за формулою

$$r_o = \frac{z_1 m_{oc}}{2\pi \operatorname{tg} \alpha},$$

де  $r_o$  – радіус основного циліндра;

$z_1$  – кількість заходів;

$m_{oc}$  – модуль в осьовому перерізі;

$\alpha$  – кут профілю різця, що дорівнює куту підйому витка на основному циліндрі.

Для нарізання конволютного черв'яка різець з прямолінійним профілем установлюють так, щоб його ріжучі кромки відповідно потрібним геометричним параметрам черв'яка лежали в площині, нормальній напрямку витка або напрямку западини (рисунок 3.20, в).

Циліндричні черв'яки нарізають дисковими фрезами в серійному та масовому виробництві. Для нарізання фрезу установлюють так, щоб її вісь обертання була нахилена на кут підйому витка черв'яка  $\lambda_d$ , а середня точка А розташовувалась на одній висоті з віссю черв'яка (рисунок 3.21).

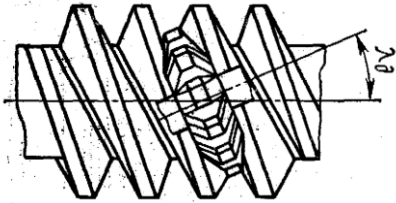


Рисунок 3.21 – Схема нарізання циліндричного черв'яка дисковою фрезою

При такому установленні фрези черв'як профілюється в нормальному перерізі по западині. Тому для нарізання архімедова, евольвентного та нелінійного черв'яків фреза повинна мати криволінійний профіль, а для нарізання конволютного черв'яка – прямолінійний. Черв'яки з  $m \leq 10$  мм фрезерують за один робочий хід, а з  $m > 10$  мм – за два робочих ходи.

Фрезерування дисковими фрезами в основному використовують для чорнового нарізання витків черв'яка. Використовують в основному фрези з прямолінійним профілем.

Пальцеві фрези використовують для нарізання великомодульних черв'яків в малосерійному та одиничному виробництві. Фрезу установлюють так, щоб її вісь обертання перетинала вісь черв'яка під кутом  $90^\circ$ .

Нарізання черв'яків круглим довбачем (рисунок 3.22) в великосерійному та масовому виробництві виконують на спеціальних або універсальних зубофрезерних верстатах, оснащених протяжним супортом.

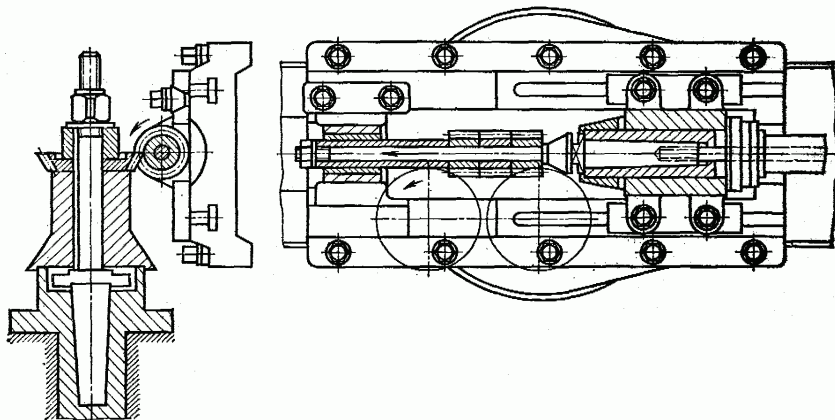


Рисунок 3.22 – Схема нарізання черв'яків довбачем

При обробці черв'як та довбач обертаються (їх вісі перетинаються під кутом  $90^\circ$ ), а одночасно довбач здійснює відносне переміщення вздовж осі черв'яка. Цим методом нарізають архімедові та евольвентні черв'яки.

Для черв'яків з кутом підйому витка менше  $5 \div 6^\circ$  використовують прямозубі довбачі, при куті підйому більше  $6^\circ$  – косозубі. Кут нахилу гвинтової лінії на ділільному циліндрі довбача повинен дорівнювати куту підйому на ділільному циліндрі черв'яка. Тому для нарізання черв'яків з різним кутом нахилу гвинтової лінії потрібні окремі довбачі.

В умовах великосерійного та масового виробництва черв'яки можна нарізати кільцевими різцевими головками на токарних верстатах (вихорове нарізання). Для нарізання архімедових і евольвентних черв'яків в кі-

льцевих різцевих головках використовують різці з криволінійним профілем, а для нарізання конволютних черв'яків – з прямолінійним.

Нарізання черв'яків черв'ячними фрезами за методом обкатування виконують на універсальних зубофрезерних та шліцефрезерних верстатах. Цим методом нарізають евольвентні черв'яки з великим кутом підйому витка, для чого використовують черв'ячні фрези з прямолінійною ріжучою кромкою. Він забезпечує високу продуктивність, тому що усі витки багатозахідних черв'яків нарізають одночасно, але точність ( $8\div 9$ -а ступені) невисока, тому його використовують в основному на попередніх операціях.

Шліфують черв'яки дисковими, чашковими та пальцевими кругами. Дисковими кругами шліфують архімедові, евольвентні і нелінійчасті черв'яки. При двохсторонньому шліфуванні дисковим кругом вісь обертання круга, як і при фрезеруванні, нахилена до осі черв'яка під кутом підйому витка на ділільному діаметрі.

Для шліфування архімедових і евольвентних черв'яків при такій установці круг повинен мати криволінійний профіль, що отримується шляхом правки за шаблонами, профіль яких розраховують таким же чином, як і профіль дискових фрез.

При малих кутах підйому архімедові черв'яки відносно невисокої точності ( $8\div 9$ -а ступені) можна шліфувати прямобічним кругом. При цьому похибка профілю зменшується при зменшенні діаметра круга.

При односторонньому шліфуванні евольвентних черв'яків дисковим кругом з прямолінійним профілем (рисунки 3.23) твірна круга повинна співпадати з твірною черв'яка.

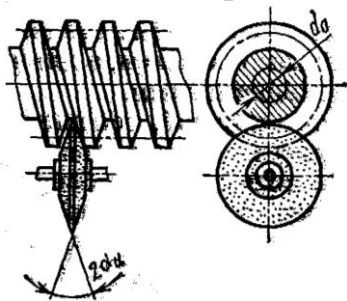


Рисунок 3.23 – Схема шліфування евольвентного черв'яка дисковим кругом

Половина кута профілю круга  $\alpha_u$  визначається за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha_u = \frac{d_o}{m z_1},$$

де  $d_o$  – діаметр основного циліндра;  $m$  – осьовий модуль черв'яка;  $z_1$  – кількість заходів.

Для шліфування евольвентного черв'яка плоским боком дискового круга вісь круга повертають в горизонтальній та вертикальній площинах.

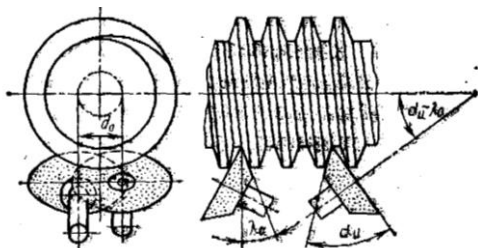


Рисунок 3.24 – Схема шліфування евольвентного черв'яка чашковим кругом

Чашкові конічні круги використовують для одностороннього шліфування евольвентних і архімедових черв'яків (рисунки 3.24). Чашкові круги забезпечують краще наближення до архімедового черв'яка, чим дискові круги того ж діаметра. Точну архімедову поверхню отримують при криволінійному профілі круга.



Пальцеві круги використовують як для одностороннього, так і для двохстороннього шліфування великомодульних черв'яків з  $m \geq 15$  мм.

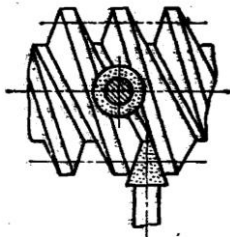


Рисунок 3.25 – Схема шліфування черв'яків пальцевим кругом

Одностороннє шліфування використовують при обробці евольвентних черв'яків. Круг установлюють таким чином, щоб його прямолінійна твірна співпадала з прямолінійною твірною евольвентної гвинтової поверхні. При двохсторонньому шліфуванні архімедових та евольвентних черв'яків пальцевий круг повинен мати криволінійний профіль,

вісь круга повинна перетинати вісь черв'яка під прямим кутом (рисунок 3.25).

**Черв'ячні колеса** нарізають на зубофрезерних верстатах методом обкатування з радіальною, тангенційною або комбінованою подачею. Метод обкатування з радіальною подачею забезпечує найбільшу продуктивність і використовується при чорновому нарізанні зубів циліндричною черв'ячною фрезою (рисунок 3.26, а). Методом обкатування з тангенціальною подачею досягається більша точність, він використовується при чистовому нарізанні зубів конусно-циліндричною черв'ячною фрезою (рисунок 3.26, б). Метод обкатування з комбінованою подачею (рисунок 3.26, в) полягає в тому, що спочатку на чорновому етапі використовується радіальна подача, а на чистовому етапі – тангенційна подача.

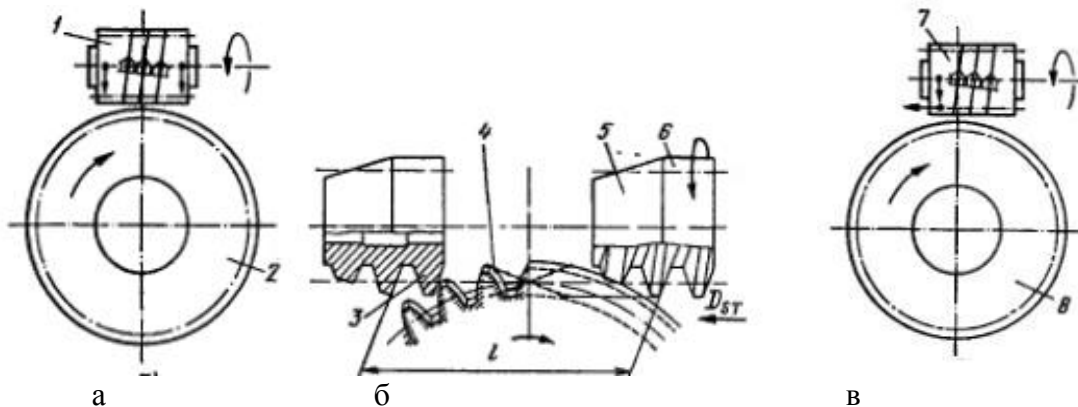


Рисунок 3.26 – Схеми фрезерування зубів черв'ячного колеса черв'ячними модульними фрезами

В умовах малосерійного виробництва та для коліс великого модуля зуби нарізають за допомогою «летючих» різців за методом обкатування з тангенційною подачею (рисунок 3.27, а).

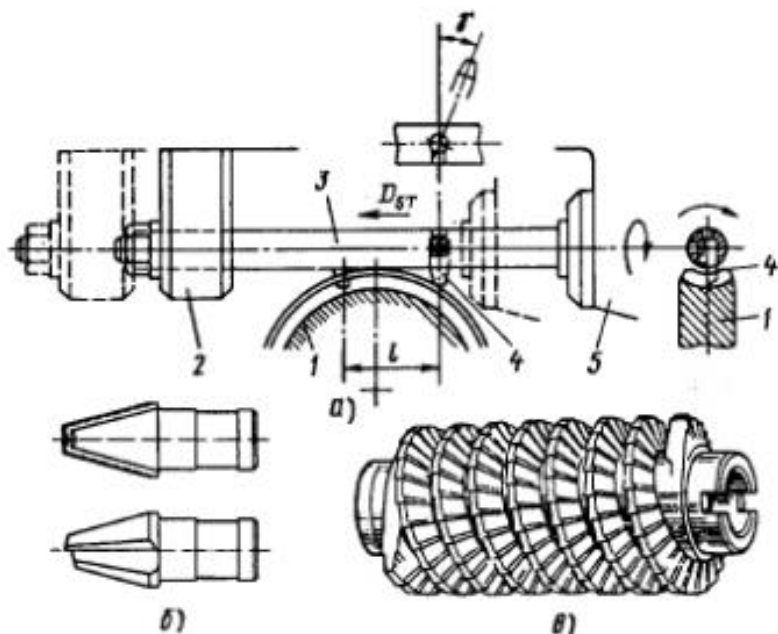


Рисунок 3.27 – Схеми фрезерування зубів черв'ячного колеса фрезою-летучкою (а), черв'ячним швером (в); різці чорновий та чистовий (б) для установки на оправці

Чорнове нарізання коліс можна виконувати також на універсально-фрезерних верстатах з ділильною головкою дисковими фрезами.

Шевінгування використовують для опорядження зубів коліс 6-го ступеня точності і більше. Як інструмент використовують черв'ячні шевери (рисунок 3.27, в). Шевінгування використовують після фрезерування або нарізання різцем-летучкою. Шевінгування виконують методом обкачування з радіальною і окружною подачами.

### **Контроль черв'ячних передач**

**Контроль черв'яків.** Для черв'яків 3÷4-го ступенів точності передбачений контроль погрішності гвинтової лінії як в межах оберту, так і на всій довжині нарізаної частини черв'яка. Використовують для контролю спеціальний прилад. Черв'як обертається, а вимірювальний наконечник приладу, що стикається з боковою поверхнею витка, переміщається паралельно вісі черв'яка відповідно номінальному значенню ходу, що задається еталоном. При наявності відхилення прилад зафіксує його.

У черв'яків 5÷9-го ступенів контролюють не гвинтову лінію, а відхилення осевого кроку, похибку профілю витка і радіальне биття витків.

Відхилення кроку черв'яка перевіряють за допомогою індикатора і двох наконечників. Кут і похибку профілю витка черв'яка перевіряють шаблонами або на спеціальних приладах і приладах для контролю кроку. Перевірку виконують в тому перерізі, де профіль витка номінально прямолінійний (рисунок 3.28).

Радіальне биття витків черв'яка (осі ділильної окружності) відносно опорних шийок перевіряють за допомогою каліброваних роликів і індикатора, інструментальних мікроскопів або проекторів.

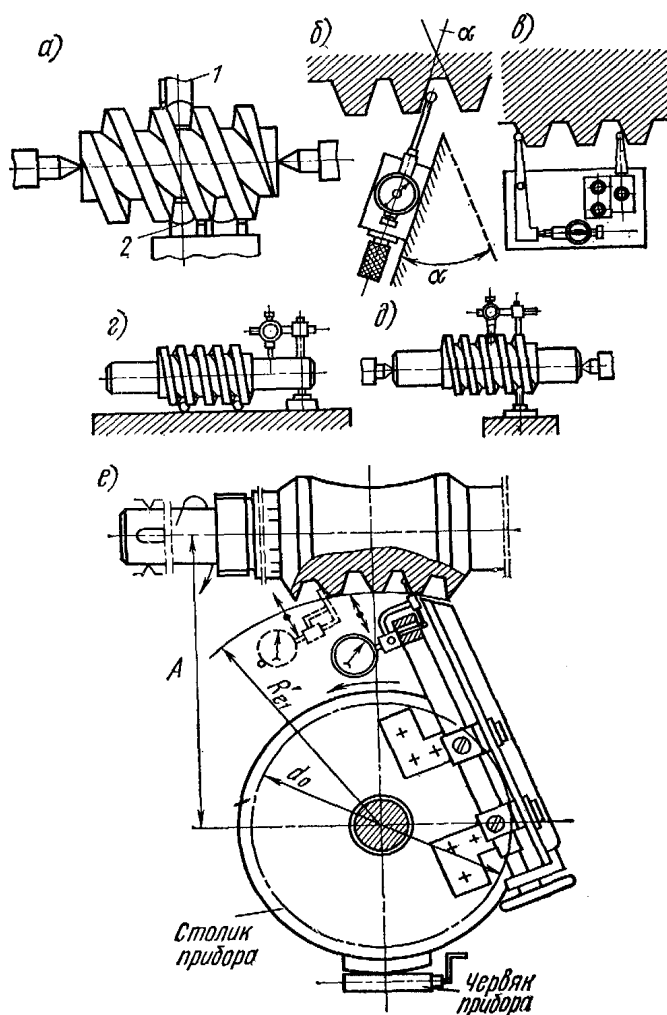


Рисунок 3.28 – Контроль черв'яків: а – середнього діаметра спеціальною скобою; б – кута профілю; в – осевого кроку приладом з індикатором; г та д – концентричності опорних шийок; е – профілю глобоїдного черв'яка

**Контроль черв'ячних коліс.** В залежності від ступеню точності перевіряють такі параметри, як кінематична і циклічна похибка обробки, радіальне биття зубчатого вінця, накопичена похибка окружного кроку, коливання вимірювальної міжосьової відстані.

Методи контролю точності черв'ячних коліс подібні для циліндричних коліс, але параметри зубчатого вінця перевіряють в середній площині і додатково контролюють погрішності похідної поверхні інструмента.

Кінематичну і циклічну погрішності обробки контролюють шляхом вимірювання точності ділильного ланцюга зубофрезерного верстата, що призначений для нарізання черв'ячного колеса. Контроль виконують за допомогою оптичних теодолітів та коліматорів.

Похибка похідної поверхні інструмента визначається як розбіжність гвинтової похідної поверхні шевера або черв'ячної фрези, що використо-

вуються для нарізання колеса та гвинтової лінії сполученого черв'яка. Вимірювання виконують за допомогою приладу для контролю гвинтової лінії черв'яків.

Відхилення окружного кроку визначають крокомірами або на спеціальних приладах. Відхилення вимірювальної міжосьової відстані перевіряють в сполученні з еталонним черв'яком на приладах для комплексної двохпрофільної перевірки.

Правильність сумарної плями контакту черв'ячної передачі перевіряють по фарбі на контрольно-обкатних верстатах або спеціальних пристосуваннях.

### **3.3.3 Технологічні процеси обробки черв'яків та черв'ячних коліс**

*Обробка ділільних черв'яків типу валів (4-а ступінь точності,  $m=3$  мм)*

- А 005 Заготівельна (штамповка)
- А 010 Термічна
- А 015 Фрезерно-центрувальна
- Б Фрезерно-центрувальний напівавтомат
- О Фрезерувати торці та зацентрувати
- Технологічна база – поверхні двох ступіней заготовки і один торець
- А 020 Токарно-гвинторізна
- Б Токарно-гвинторізний верстат
- О Точити поверхні деталі з переустановкою попередньо
- Технологічна база – поверхні центрових отворів, торець
- А 025 Токарно-гвинторізна
- Б Токарно-гвинторізний верстат
- О Нарізати витки черв'яка попередньо (припуск 1,2...1,6 мм на товщину витка)
- Технологічна база – поверхні центрових отворів.
- А 030 Термічна
- А 035 Токарно-гвинторізна
- Б Токарно-гвинторізний верстат
- О Точити поверхні деталі остаточно (припуск 0,4...0,6 мм на шліфування)
- Технологічна база – поверхні центрових отворів, торець.
- А 040 Токарно-гвинторізна
- Б Токарно-гвинторізний верстат підвищеної точності П
- О Нарізати витки черв'яка остаточно (припуск 0,6...0,8 мм на товщину витка)
- Технологічна база – поверхні центрових отворів.
- А 045 Вертикально-фрезерна
- Б Вертикально-фрезерний верстат

О Фрезерувати шпонковий паз  
Технологічна база – поверхні двох шийок, торець однієї ступіні

А 050 Круглошліфувальна

Б Круглошліфувальний верстат

О Шліфувати зовнішні поверхні під цементацію

Технологічна база – поверхні центрових отворів

А 055 Різьбошліфувальна

Б Різьбошліфувальний верстат

О Шліфувати профіль витків черв'яка попередньо під цементацію

Технологічна база - поверхні центрових отворів

А 060 Термічна (цементація, гартування)

А 065 Центрошліфувальна

Б Центрошліфувальний верстат

О Шліфувати центрові отвори;  $Ra=0,32...0,2$  мкм

Технологічна база – поверхні одного центрального отвору і однієї

шийки

А 070 Круглошліфувальна

Б Круглошліфувальний верстат

О Шліфувати зовнішні поверхні та торці попередньо

Технологічна база – поверхні центрових отворів

А 075 Різьбошліфувальна

Б Різьбошліфувальний верстат

О Шліфувати профіль витків черв'яка попередньо

Технологічна база - поверхні центрових отворів

А 080 Термічна

А 085 Круглошліфувальна

Б Круглошліфувальний верстат

О Шліфувати зовнішні поверхні та торці з припуском під остаточне

шліфування

Технологічна база – поверхні центрових отворів

А 090 Різьбошліфувальна

Б Різьбошліфувальний верстат

О Шліфувати профіль витків черв'яка з припуском  $0,1...0,15$  мм на

товщині витка

Технологічна база - поверхні центрових отворів

А 100 Термічна (старіння)

А 105 Центрошліфувальна

Б Центрошліфувальний верстат

О Шліфувати центрові отвори;  $Ra=0,04$  мкм

Технологічна база – поверхні одного центрального отвору і однієї

шийки

А 110 Круглошліфувальна

Б Круглошліфувальний верстат особливо високої точності класу А

О Шліфувати зовнішні поверхні та торці;  $Ra=0,32...0,16$  мкм

Технологічна база – поверхні центрових отворів

А 115 Різьбошліфувальна  
Б Різьбошліфувальний верстат  
О Шліфувати профіль витків черв'яка остаточно;  $Ra=0,25\dots0,16$  мкм  
Технологічна база - поверхні центрових отворів  
А 120 Контрольна

***Обробка черв'ячного ділильного колеса (4-а ступінь точності,  
 $m=2\dots6$  мм,  $D=200\dots800$  мм)***

А 005 Заготівельна (відливка)  
А 010 Токарна  
Б Токарно-гвинторізний або токарно-карусельний верстат  
О Точити торець, зовнішню поверхню, розточити виточку попередньо  
Технологічна база – зовнішня поверхня, торець  
А 015 Токарна  
Б Токарно-гвинторізний або токарно-карусельний верстат  
О Точити торець, зовнішній вінець, розточити отвір, розточити виточку попередньо  
Технологічна база – поверхня виточки, торець  
А 020 Токарна  
Б Токарно-гвинторізний або токарно-карусельний верстат  
О Точити торець, розточити виточку з припуском  $0,5\dots1$  мм,  $Ra=2,5$  мкм  
Технологічна база – зовнішня поверхня, торець  
А 025 Зубофрезерна  
Б Зубофрезерний верстат  
О Фрезерувати зуби попередньо; припуск  $0,6\dots1,5$  мм по товщині зуба  
Технологічна база - поверхня виточки, торець  
А 030 Термічна (штучне старіння)  
А 035 Токарна  
Б Токарно-гвинторізний або токарно-карусельний верстат підвищеної точності  
О Точити торець, розточити виточку остаточно  
Технологічна база – зовнішня поверхня, торець  
А 040 Свердлильна  
Б Вертикально- або радіально-свердлильний верстат  
О Свердлити отвори кріплення та технологічні отвори  
Технологічна база - поверхня виточки, торець  
А 045 Токарна  
Б Токарно-гвинторізний або токарно-карусельний верстат підвищеної точності

О Точити торець, розточити базову виточку (вивірка по зовнішньому діаметру до 0,01...0,03 мм та фіксація на планшайбі через отвори кріплення)

Технологічна база – поверхня виточки, торець

А 050 Слюсарно-складальна

О З'єднати черв'ячне колесо з планшайбою зубофрезерного верстата

А 055 Зубофрезерна

Б Зубофрезерний верстат підвищеної точності

О Фрезерувати радіусну виточку, фрезерувати зуби під шевінгування

Технологічна база – поверхня виточки, торець

А 060 Зубошевінгувальна

Б Зубошевінгувальний верстат

О Шевінгувати зуби колеса

Технологічна база – поверхня виточки, торець

А 065 Слюсарна

О Зачистити задирки

А 070 Контрольна

## Тема 4 Технологія виготовлення складнопрофільних деталей

### 4.1 Технологія виготовлення вилок, важелів та шатунів

#### 4.1.1 Технологія виготовлення важелів

#### 4.1.2 Технологія виготовлення шатунів

#### 4.1.1 Технологія виготовлення важелів

До деталей класу важелів належать власне важелі, тяги, вилки, балансири, шатуни.

Важелі є ланками кінематичних ланцюгів машин, які виконують потрібні переміщення деталей з необхідною швидкістю або фіксують їх положення відносно інших деталей (рисунок 4.1). Деталі даного класу мають два або більше основних отворів, осі яких розташовані паралельно або під різними кутами. Тіло важеля є стрижнем, як правило, некруглого перерізу. В деталях даного класу крім основних отворів можуть бути шпонкові і шліцові канавки, отвори кріплення і прорізи в бобишках.

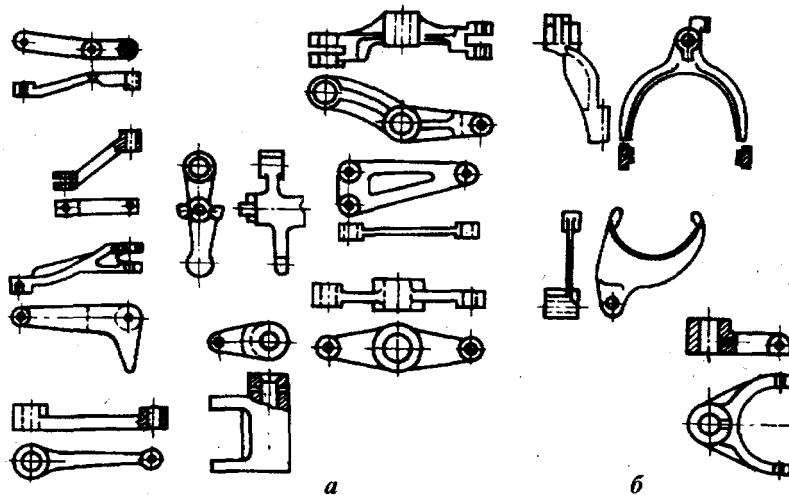


Рисунок 4.1 – Конструктивні різновиди важелів:  
а – важелі; б - вилки

Технічні вимоги для важелів: точність діаметрів основних отворів ІТ7...ІТ9, шатунів – ІТ6...ІТ8; відхилення міжосьової відстані основних отворів 0,05...0,2 мм; точність розміру між торцями бобишок за ІТ10, ІТ11; точність ширини шпонкових пазів за ІТ9, ІТ10; відхилення від паралельності осей основних отворів 0,05...0,25 мм на 100 мм довжини; відхилення від перпендикулярності торцевих поверхонь бобишок, головок шатунів відносно осі основних отворів 0,05...0,3 мм на 100 мм радіуса; відхилення від перпендикулярності торцевих поверхонь лапок вилок відносно осі основних отворів 0,1...0,3 мм на 100 мм довжини; відхилення від співвісності зовнішніх поверхонь головок навантажених важелів, тяг, серг відносно осі отворів 0,5...1 мм (з умов міцності); шорсткість поверхонь основних отворів  $Ra=0,32...2,5$  мкм, торців головок  $Ra=1,25...3,2$  мкм.



Важелі і вилки виготовляють з конструкційних і легованих сталей 20, 35, 45, 35Х, 40Х, 18ХНМА, 18ГН4ВА, а також сірого і ковкого чавуна СЧ10, СЧ15, КЧ37-12 і ін.

В залежності від об'єму випуску, типу виробництва та матеріалу заготовки отримують куванням, штампуванням або литтям.

Для зняття залишкових напруг після штампування та покращення оброблюваності після ковальських операцій заготовки важелів піддають нормалізації. Сталеві важелі і вилки з середньовуглецевих сталей, що працюють при значних навантаженнях, для підвищення міцності піддають термічній обробці (гартування і відпуск).

Заготовки важелів з чавуна отримують литтям в піщані форми. Сталеві відливки важелів складної форми отримують литтям в керамічні форми за виплавленими моделями. Для усунення можливого викривлення важелі зі сталі та ковкого чавуна піддають правці до та в процесі обробки.

Для підвищення точності заготовок використовують плоскостне або об'ємне калібрування.

### *Технологічний процес обробки важелів*

- А 005 Вертикально-фрезерна (горизонтально-фрезерна)
- Б Вертикально-фрезерний (горизонтально-фрезерний) верстат
- О Фрезерувати поверхні торців основних отворів
- Технологічна база – торці і зовнішні поверхні бобишок
- А 010 Вертикально-свердлильна (радіально-свердлильна)
- Б Вертикально-свердлильний (радіально-свердлильний) верстат
- О Свердлити (при відсутності отвору в заготовці), зенкерувати, розвернути основні отвори
- Технологічна база – торці і зовнішні поверхні головок
- А 015 Вертикально-протяжна (довбальна)
- Б Вертикально-протяжний (довбальний) верстат
- О Протягнути (довбати) шпонковий паз або шліци в основних отворах
- Технологічна база – поверхня одного з отворів, торець
- А 020 Вертикально-фрезерна
- Б Вертикально-фрезерний верстат
- О Фрезерувати поверхню стрижня важеля, прорізи, пази
- Технологічна база – поверхня одного з отворів (або поверхні двох отворів), торець
- А 025 Вертикально-свердлильна
- Б Вертикально-свердлильний (з ЧПК в серійному виробництві) верстат
- О Свердлити, зенкерувати допоміжні отвори, нарізати різьбу
- Технологічна база – торець, дві технологічні лиски на малій головці і лиска на великій головці важеля

В великосерійному і масовому виробництві обробка може виконуватись на спеціалізованих багатопозиційних верстатах з об'єднанням декількох операцій в одну.

Контроль важелів в масовому виробництві виконують за допомогою спеціальних контрольних пристосувань, в інших виробництвах за допомогою універсальних вимірювальних засобів: скоб, індикаторів, щупів.

Площинність торцевих бобишок перевіряють на контрольній плиті за допомогою щупа. Відстань між осями отворів перевіряють за допомогою гладких контрольних оправок та мікрометричної скоби.

Паралельність отворів контролюють за допомогою спеціальних валиків. Важіль установлюють в вертикальне положення на призми (рисунок 4.2, а). При похитуваннях важеля на нижній оправці визначають показання індикатора, що відповідає вертикальному положенню важеля. Вимірювання з кожного боку виконують на однаковій відстані від торців бобишок. Різниця показань індикатору указує на відхилення від паралельності осей отворів на довжині  $L$ .

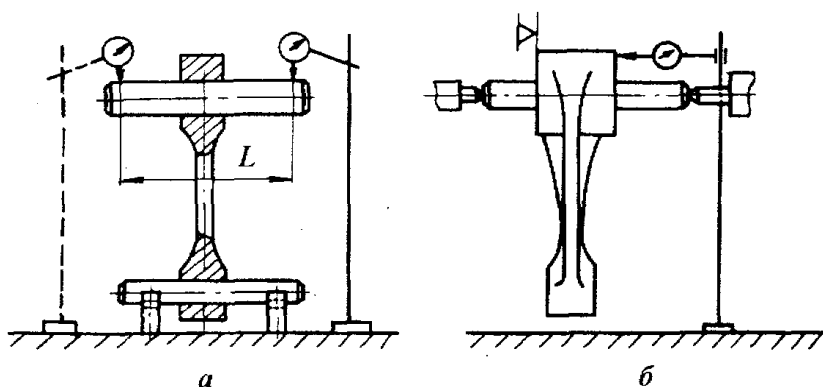


Рисунок 4.2 – Схеми контролю відхилень від паралельності осей основних отворів (а) і від перпендикулярності торців бобишок до осей основних отворів (б)

Перпендикулярність торців бобишок до осей основних отворів перевіряють індикатором при установці важеля на контрольній оправці в центрах (рисунок 4.2, б) або за допомогою щупа, використовуючи контрольний валик з буртом.

#### 4.1.2 Технологія виготовлення шатунів

Шатуни є ланками шатунно-кривошипних механізмів головним чином поршневих двигунів внутрішнього згорання і компресорів, де він слугує для передачі сили від поршня і перетворення зворотно-поступального руху в обертальний рух колінчастого валу двигуна або, навпаки, обертального руху валу в зворотно-поступальний рух поршня компресору, що здійснює стискання повітря для подачі його під тиском. При роботі шатуни піддаються дії значних знакозмінних навантажень і сил інерції, тому вони повинні мати високу міцність, жорсткість і мінімальну масу.

Ці вимоги визначають конструкцію шатунів (рисунок 4.3), що характеризується наявністю великої 1 (кривошипної) і малої 3 (поршневої) головок, з'єднаних стрижнем 2 (тілом шатуна). Більшість шатунів мають різні кривошипні головки, причому у автотракторних двигунів (у яких установка шатунів в картер через циліндр утруднена через значні розміри кривошипних головок) роз'єм виконують під кутом площини симетрії шатуна для зручності його установки.

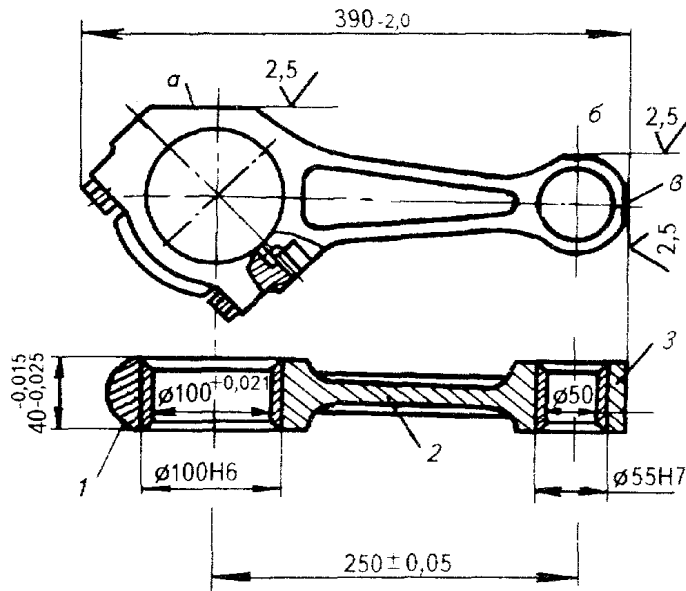


Рисунок 4.3 – Шатун складений

В кривошипні головки шатунів для зниження тертя ковзання установлюють укладки (рос. вкладыши) з антифрикційним покриттям. Мала головка шатуна, як правило, нерознімна, в її отвір запресовують бронзову біметалеву (сталь-бронза) втулку. Тіло (стрижень) шатунів звичайно мають двохтавровий переріз і тільки у великих шатунів в ряді випадків – круглий переріз, причому в середині його може бути маслопровідний отвір, що з'єднує поверхні тертя головок шатуна.

Для забезпечення роботи шатунів в двигуні або компресорі внутрішня поверхня укладок кривошипних головок повинна прилягати до відповідних шатунних шийок колінчастого вала, а втулки або укладки поршневих головок – до пальців поршнів.

Відповідно до ГОСТів установлені технічні умови на шатуни для різних машин. Отвір під запресовану втулку і отвір під поршневий палець двигуна компресора повинні бути виготовлені за IT5...IT7, а отвори під укладки в кривошипних головках шатунів - за IT6, IT7. Допуски циліндричності цих отворів складають 0,5 допуску діаметру отвору для бензинових двигунів, 0,66 допуску діаметру отворів для дизельних двигунів і не більше 0,5 допуску діаметру отвору для компресору. Шорсткість поверхні основних отворів  $Ra=0,32...0,5$  мкм. Допуск паралельності осей отворів малої і великої головок 0,02...0,04 мм на 100 мм довжини отвору. Відхилення від перпендикулярності торцевих поверхонь головок до осей 0,01...0,05 мм на 100 мм радіуса, а площадок під гайки головок призонних болтів до осей для них 0,07...0,1 мм на довжині 100 мм. Точність виготовлення отворів під болти IT9. Відхилення маси шатуна від маси, зазначеної на кресленні, не більше 3%.

Як матеріали для шатунів використовують конструкційні середньо-вуглецеві сталі 40, 45, леговані сталі 45Г2, 18ХНМА, 18ХГН4ВА, високоміцні ковкі чавуни і титанові сплави. В умовах серійного і масового виробництва заготовками для шатунів автомобільних, тракторних двигунів і компресорів є штамповки.

Штамповані заготовки шатунів і кришок автотракторних двигунів часто піддають калібруванню і чеканці. Калібрування підвищує точність форми і розмірів заготовок по всьому профілю і сприяє постійністю їх мас. Це дозволяє зменшити припуски на обробку, а також її трудомісткість. Для зняття залишкових напруг після штамповки, а також для покращення оброблюваності заготовки шатунів піддають нормалізації.

Маршрут обробки шатуна поділяється на три етапи:

- 1) обробка заготовки шатуна до її розрізання: обробка торців, попередня обробка отворів в головках шатуна, протягування технологічних лисок *b*, *v* у малій і *a* у великій головках шатуна;
- 2) роздільна обробка кришки і стрижня шатуна після розрізання: обробка площин роз'єму в кришці і стрижні шатуна, обробка отворів під шатунні болти, а також різьбових і гладких отворів;
- 3) спільна обробка кришки і стрижня шатуна, що складені. Обробляють торці головок і отвори в них.

### ***Технологічний процес обробки шатуна***

(великосерійне виробництво)

А 005 Карусельно-фрезерна

Б Карусельно-фрезерний верстат

О Фрезерувати торці головок з переустановкою

Технологічна база – торці бобишок, зовнішня поверхня бобишок

А 010 Плоскошліфувальна

Б Плоскошліфувальний верстат

О Шліфувати торці головок шатуна попередньо

Технологічна база – торці бобишок

А 015 Агрегатно-свердлильна

Б Агрегатно-свердлильний напівавтомат

О Свердлити, зенкерувати отвір в малій головці шатуна

Технологічна база – торці бобишок, зовнішні поверхні бобишок

А 020 Вертикально-протяжна

Б Вертикально-протяжний верстат

О Протягнути три базові лиски *a...v*

Технологічна база – торці бобишок і отвори в великій і малій головках шатуна

А 025 Горизонтально-фрезерна

Б Горизонтально-фрезерний верстат

О Розрізати велику головку шатуна

Технологічна база – торці і отвори в малій головці, технологічні лиски

А 030 Вертикально-протяжна  
Б Вертикально-протяжний верстат  
О Протягнути площину роз'єму великої головки шатуна  
Технологічна база – торці бобишок  
А 035 Агрегатно-свердлильна (свердлильна з ЧПК)  
Б Агрегатно-свердлильний напівавтомат (великосерійне виробництво), свердлильний з ЧПК (серійне виробництво)  
О Свердлити, зенкерувати, нарізати різьбу в отворах кріплення в площині роз'єму шатуна  
Технологічна база – торці бобишок шатуна, отвір в малій головці шатуна, лиска в великій головці шатуна  
А 040 Слюсарно-складальна  
Б Складальний стенд  
О Скласти стрижень шатуна з кришкою  
А 045 Агрегатно-розточувальна  
Б Агрегатно-розточувальний верстат  
О Зенкерувати отвори в головки шатуна  
Технологічна база – торець бобишки, дві лиски на малій головці, лиска на великій головці шатуна  
А 050 Плоскошліфувальна  
Б Плоскошліфувальний верстат  
О Шліфувати торці головок шатуна остаточно  
Технологічна база – торці бобишок  
А 055 Слюсарно-складальна  
Б Складальний стенд  
О Розібрати шатун  
А 060 Вертикально-фрезерна  
Б Вертикально-фрезерний верстат  
О Фрезерувати паз - замок під укладку в стрижні і в кришці. Фрезерувати паз в малій головці шатуна  
Технологічна база - торець бобишки, дві лиски на малій головці, лиска на великій головці шатуна  
А 065 Слюсарно-складальна  
Б Складальний стенд  
О Скласти шатун з кришкою  
А 070 Агрегатно-розточувальна  
Б Агрегатно-розточувальний верстат  
О Розточити отвір в великій і малій головках шатуна  
Технологічна база – торці головок шатуна, отвори в головках шатуна  
А 075 Слюсарно-складальна  
Б Складальний стенд  
О Запресувати втулки в малу головку шатуна  
А 080 Хонінгувальна

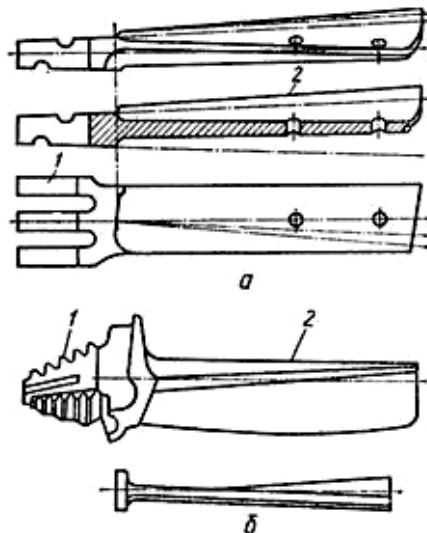
Б Хонінгувальний напівавтомат  
 О Хонінгувати отвір в великій головці шатуна  
 Технологічна база - торці головок шатуна, отвори в головках шатуна  
 А 085 Слюсарно-складальна  
 Б Складальний стенд  
 О Установити укладку в велику головку шатуна  
 А 090 Горизонтально-розточувальна  
 Б Горизонтально-розточувальний верстат підвищеної точності або алмазно-розточувальний напівавтомат  
 О Розточити отвори в великій і малій головках шатуна остаточно  
 Технологічна база - торці головок шатуна, отвори в головках шатуна  
 А 095 Контрольна

Контроль розмірів основних поверхонь виконують калібрами, глибомірами, скобами і штангенциркулями.

Контроль точності розташування поверхонь виконують так само, як і у важелів.

#### 4.2 Технологія виготовлення лопаток парових і газових турбін

Лопатки турбін, кількість яких на одну турбіну складає 1500-3000 штук, є деталями із зниженою жорсткістю з криволінійними точними поверхнями (рисунок 4.4)



*а – парових турбін; б – газових турбін  
Рисунок 4.4 – Лопатки*

Лопатки розділяють на напрямні (нерухомі) і робочі (турбіни, що обертаються з ротором). Головні частини лопаток – замок 1 і робоча частина 2, що називається «пером». Лопатки для парових турбін застосовуються з довжиною пера 200-1000 мм, для газових турбін 30-600 мм. Для невеликих газових турбін застосовують цілісні ротори з фрезерованими або обробленими електрохімічним способом лопатками.

Основні технічні умови на виготовлення робочих лопаток парових турбін: відхилення, що допускаються, по профільних кривих робочої частини 0,05-0,1 мм; відхилення, що допускаються, по профільних кривих спинки 0,15 мм; відхилення, що допускаються, по посадочних місцях профілю хвоста 0,02 мм; шорсткість поверхні зовнішнього і внутрішнього профілю робочої частини  $Ra = 0,32 \dots 0,08$  мкм.

В більшості випадків для парових турбін застосовують леговані жаростійкі сталі марок 1X13, 2X13, X17H2, 15X11MФ, 1X18H9T, 18XHBA, XH35BT і ін., для газових турбін – спеціальні жаростійкі сталі і сплави.

Заготовками лопаток є штампування, що отримуються в закритих штампах, або провальцьовані штампування. Також заготовки отримують витискуванням в гарячому стані в спеціальних матрицях і електроерозійною обробкою. Для направляючих лопаток і цілісних роторів можна застосовувати литво по моделях, що виплавляються.

Технологічний процес обробки лопаток парових турбін.

(Заготовка – штампування)

А 005 Вертикально-фрезерна з ЧПУ

Б Вертикально-фрезерний з ЧПУ

О Фрезерувати зовнішню поверхню і пази замку попередньо

Технологічна база – поверхня робочої частини

А 010 Вертикально-протяжна

Б Вертикально-протяжної

О Протягнути пази

Технологічна база – зовнішня поверхня замку

А 015 Плоскошліфувальна

Б Плоскошліфувальний

О Шліфувати бічні сторони замку і підшву лопатки

Технологічна база – замок і поверхня робочої частини

А 020 Вертикально-фрезерна з ЧПУ

Б Вертикально-фрезерний з ЧПУ

О Фрезерувати спинку лопатки

Технологічна база – замок і поверхня робочої частини

А 025 Вертикально-фрезерна з ЧПУ

Б Вертикально-фрезерний з ЧПУ

О Фрезерувати корито лопатки

Технологічна база – замок і поверхня робочої частини

А 025 Шліфувальна

Б Шліфувальний з ЧПУ

О Шліфувати спинку і корито лопатки

Технологічна база – замок

А 030 Полірувальна

Б Полірувальний з ЧПУ

О Полірувати спинку і корито лопатки

Технологічна база – замок



## **5 ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

- 5.1 Технологічний процес складання та його структура
- 5.2 Послідовність розробки технологічного процесу складання
- 5.3 Точність складання машин і методи її досягнення
- 5.4 Підготовчі операції складального процесу
- 5.5 Особливості складання типових з'єднань і складальних одиниць машини

### **5.1 Технологічний процес складання та його структура**

Технологічний процес складання – це частина виробничого процесу, що передбачає дії по встановленню складових частин виробу і утворення з'єднань з них. Об'єктом вузлового складання є складова частина виробу, загального складання – виріб в цілому. Технологічний процес складається з операцій, переходів, ходів, прийомів, установів, позицій.

### **5.2 Послідовність розробки технологічного процесу складання**

Технологічна підготовка складального виробництва включає в себе вивчення та аналіз вихідної (базової) інформації і безпосередньо технологічне проектування.

Основні етапи проектування технологічного процесу складання:

- 1) вивчення і аналіз вихідної інформації;
- 2) визначення типу виробництва та організаційної форми складання;
- 3) аналіз технологічності конструкції;
- 4) аналіз існуючого технологічного процесу;
- 5) вибір методів досягнення точності при складанні;
- 6) розробка технологічної схеми складання;
- 7) проектування складальних операцій (призначення технологічних баз, вибір обладнання та технологічного оснащення, розрахунок режимів роботи складального обладнання);
- 8) нормування технологічного процесу складання;
- 9) оформлення технологічної документації.

### **5.3 Точність складання машин і методи її досягнення**

**Метод повної взаємозамінності** – метод, при якому необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається у всіх об'єктів шляхом включення в неї складових ланок без вибору, підбору або зміни їх значень. При цьому допуски складових ланок розраховують за методом максимуму-мінімуму.

Використання доцільно в умовах досягнення високої точності при малій кількості ланок розмірного ланцюга ( $m < 6$ ) і при досить великій кі-

лькості виробів, що підлягають складанню. В іншому випадку допуски складових ланок є дуже невеликими, що призводить до збільшення вартості механічної обробки деталей.

**Метод неповної взаємозамінності** – метод, при якому необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається у заздалегідь обумовленої частини об'єктів шляхом включення в неї складових ланок без вибору, підбору або заміни їх значень.

При цьому попередньо встановлюється відсоток ризику, тобто відсоток виробів, у яких може не забезпечуватися точність замикаючої ланки. Розрахунок параметрів складових ланок при цьому виконують теоретико-ймовірнісним методом.

Використання доцільно для досягнення точності в багатоланкових розмірних ланцюгах; допуски на складові ланки при цьому більше, ніж в попередньому методі, що підвищує економічність отримання складальних одиниць; в частині виробів похибка замикаючої ланки може бути за межами допуску на складання, тобто можливий певний ризик незбірності.

**Метод групової взаємозамінності** – метод, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірної ланцюга досягається шляхом включення в розмірний ланцюг складових ланок, що належать до однієї з груп, на які вони попередньо розсортовані.

Суть методу полягає в тому, що деталі виробу, що збирається обробляються по розширеним економічно досяжним допускам і упорядковано відповідно до їх дійсних розмірів по групах таким чином, щоб при складанні деталей, що відносяться до однойменної групи, була забезпечена точність замикаючої ланки, встановлена вимогами складального креслення.

Метод групової взаємозамінності використовується для розмірних ланцюгів, що складаються з невеликої кількості ланок (зазвичай трьох-чотирьох). Він використовується при складанні з'єднань особливо високої точності, яка практично не досяжна методами повної і неповної взаємозамінності (кулькові підшипники, плунжерні пари, нарізні сполучення з натягом і ін.). Складання за методом групової взаємозамінності називають селективним складанням.

Розрахунками визначають групові допуски деталей, кількість груп  $n$ , на які повинні бути розсортовані деталі, що складаються, величини групових допусків і граничних групових розмірів.

Метод групової взаємозамінності дозволяє значно підвищити точність складання без істотного підвищення вимог до точності механічної обробки або розширити допуски на механічну обробку без зниження точності складання. Метод доцільно використовувати у великосерійному і масовому виробництвах.

**Метод регулювання** – метод, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірної ланцюга, досягається зміною розміру або положення компенсуючої ланки без видалення матеріалу з компенсатора. При використанні цього методу в конструкцію виробу вводиться спеціальна де-

галь – компенсатор, яким можуть бути підкладна плита, кільця, втулки і т.д. Деталі, що складаються, в цьому випадку виготовляються з розширеними, економічно доцільними виробничими допусками.

Перевагами методу є можливість виготовлення деталей по розширеним допускам і можливість відновлення точності останньої ланки при обслуговуванні або ремонті виробу шляхом заміни компенсатора.

До недоліків слід віднести збільшення обсягу складальних робіт, так що величина компенсації може бути визначена шляхом вимірювання величини замикаючої ланки в зібраному виробі. Після цього виконується повне або часткове розбирання виробу і установка (заміна) необхідного компенсатора.

Положення компенсатора фіксується гайками, стопорними гвинтами, клинами і т. п. У таких випадках точність замикаючої ланки забезпечується переміщенням компенсатора.

**Метод припасування** – метод, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною розміру компенсуючої ланки шляхом видалення з компенсатора певного шару матеріалу, рівного  $T_{\Delta}$ . Використовується при складанні виробів з великою кількістю ланок; деталі можуть бути виготовлені з економічними допусками, але потрібні додаткові витрати на підгонку компенсатора; економічність залежить від правильного вибору компенсуючої ланки, яка не повинна належати кільком пов'язаним розмірним ланцюгам.

**Складання з компенсаційними матеріалами** – метод, при якому необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається застосуванням компенсуючого матеріалу, який вводиться в зазор між сполученими поверхнями деталей після їх установки в потрібному положенні. Використання найбільш доцільно для з'єднань і вузлів, що базуються на площині (привалочні поверхні станин, рам, корпусів, підшипників, траверс і т.п.); в ремонтній практиці для відновлення працездатності складальних одиниць, для виготовлення оснащення.

#### **5.4 Підготовчі операції складального процесу**

Так як складання виробу є кінцевою стадією машинобудівного виробництва, за якої слід лише випробування і контроль, то деталі, агрегати та інші комплектуючі повинні проходити цілий ряд операцій по їх ретельній підготовці, перш ніж вони займуть своє місце в конструкції машини. До підготовчих операцій, від яких в більшості випадків залежить безвідмовна робота машини, можна віднести наступні роботи, що передують складанню: вхідний контроль деталей і агрегатів; маркування або таврування деталей; очищення і промивка деталей; підбір деталей за різними параметрами.

Вхідний контроль деталей, матеріалів, агрегатів і складальних одиниць, які надходять на складання, проводиться, незважаючи на те, що ці об'єкти вже проходили вихідний (остаточний) контроль. Це пов'язано з

тим, що в процесі консервації, упаковки, транспортування, розпакування і розконсервації ці об'єкти могли отримати ушкодження у вигляді вм'ятин, відколів і ін., що буде виявлено в процесі вхідного контролю зовнішнім оглядом. При безпосередньому впливі якості що надходить на складання матеріалу, наприклад припою на якість виробу, що збирається (якість паяного шва) в обов'язковому порядку перевіряють хімічний склад і властивості цих матеріалів.

Вхідний контроль готових комплектуючих агрегатів і складальних одиниць проводиться з наступними цілями: виявлення зовнішніх дефектів візуальним оглядом; перевірка регульовальних параметрів, наприклад продуктивність і тиск на виході маслonaсосу.

Вхідний контроль деталей і складальних одиниць, які надходять на складання зі складу готових деталей, проводять з метою виявлення зовнішніх дефектів, що виникли при недотриманні правил транспортування або зберігання на складі цих деталей. Починають контроль з перевірки відповідності паспортних даних технічним умовам на поставку виробу. При відсутності на підприємстві служби вхідного контролю його проводять безпосередньо в складальних цехах.

**Маркування і таврування деталей** застосовується в одиничному і дрібносерійному виробництві для вказівки, що складальна одиниця перевірена і відповідає технічним вимогам. Крім того, багато деталей маркують, завдаючи на них знаки, що містять різну інформацію про технічні дані.

Таврування і маркування в складальних цехах здійснюють в основному електричним, хімічним або електроерозійним способом, що виключає пошкодження готових деталей.

Електричний спосіб таврування і маркування застосовують в дрібносерійному виробництві з використанням пристрою, званого електрографом, який складається з понижуючого трансформатора невеликої потужності, первинна обмотка якого підключена до напруги 220 В. До вторинної обмотки трансформатора приєднана латунна або мідна плита і мідний штифт-електрод з оправкою з ізоляційного матеріалу. При виконанні маркування деталей кладуть на мідну плиту і штифтом-електродом, як олівцем, наносять необхідну напис в необхідному місці деталі. Недоліком цього методу є можливість помилок в написи, так як наносять напис вручну.

**Хімічний спосіб таврування і маркування** застосовують для деталей, виготовлених з мідних сплавів і сталей. При цьому для нанесення кожного знака використовують спеціальні гумові штампи і травильні розчини. Місце на поверхні деталі, де дозволено нанести напис, очищається від жирового нальоту. Гумовий штамп притискають до змоченою травильним розчином подушечці, а потім роблять відбиток на поверхні деталі. Після появи на поверхні деталі нанесених знаків з її поверхні видаляють надлишок травильного розчину ретельним промиванням спеціальним розчином, а потім змащують технічним вазеліном, щоб уникнути появи корозії. Ро-

боче місце для хімічного травлення повинно бути обладнане сильною витяжкою, а працівники добре захищені від контакту з травильною рідиною.

**Електроерозійний спосіб таврування і маркування** застосовують в умовах великосерійного і масового виробництва, як найбільш продуктивний метод. Спосіб заснований на електроіскровому ефекті. Нанесення знаків здійснюється або за трафаретом, або спеціальним електродом-інструментом, на торці якого припаяна пластина з латуні у вигляді наноситься знака, що наноситься. Перед нанесенням знака поверхню деталі в місці нанесення знака злегка змочують машинним маслом. При нанесенні знака шпindelь установки, із закріпленням в ньому електродом-інструментом, робить незначні коливання, внаслідок чого між поверхнею деталі і електродом виникає іскріння від електричного розряду, а на поверхні деталі залишається слід у вигляді латунної пластини, припаяної до торцевої поверхні електрода.

**Очищення і промивання деталей.** Практично всі деталі машин забруднюються в процесі їх виготовлення. Види забруднення можуть бути різними: формувальні матеріали у заготовок-виливків; металева стружка; тирса; абразивні матеріали; залишки МОР або масел та ін.

Безумовно, що всі ці забруднення, наявні на готових деталях, не повинні потрапити під час складання машини в з'єднання деталей або в сполучення різних механізмів, а також у внутрішню порожнину складальних одиниць. Тому всі деталі, перш ніж їх приєднують до інших деталей, ретельно очищають і промивають.

*При очищенні* всі забруднення видаляють з поверхонь деталей механічним способом без застосування промивних рідин. При сухому очищенні забруднення видаляють бавовняними серветками, волосяними щітками або вакуумом. Для вилучення стружки або тирси з важкодоступних місць в деталях застосовують пристосування з постійними магнітами. Волога очистка проводиться протиранням зволженими серветками або щітками. Для розпушення перед видаленням нагару та інших забруднень, що погано видаляються, деталь перед очищенням можна занурити в розчин для промивання і витримати деякий час.

*При промиванні* забруднення видаляють з поверхонь деталей промивальними рідинами. Забруднення при цьому розчиняються або розм'якшуються, зчеплення їх з поверхнею деталі слабшає, і вони добре змиваються. Ефективним є поєднання в одну операцію промивки та очистки. Промивні рідини повинні бути: нетоксичними; пожегобезпечними; не викликати корозії деталей, що промиваються; ефективними у використанні; економічно доцільними.

Широке застосування знайшли водні лужні розчини з активувальними добавками.

Промивання зануренням виконують в ваннах відкритого типу. Цей спосіб застосовують для знежирення деталей, розпушення нагару, наявного на поверхнях деталі, видалення забруднень після очищення.

*Струминну промивку* проводять в спеціальних промивних установках, в яких промивна рідина подається на промиваються деталі через форсунки, розташовані з усіх боків деталі.

Для промивання дрібних деталей, що вимагають високого ступеня очищення, застосовують ультразвукові установки. Для реалізації цього методу промивання потрібний ультразвуковий генератор і ультразвукова ванна.

*Електрохімічну промивку* деталей застосовують в тих випадках, коли необхідно очистити поверхні деталі від окалини, оксидних плівок або солей. Деталь на підвісці поміщають у ванну з електролітом і створюють різницю потенціалів між промивною деталлю (анодом) і корпусом ванни (катодом). Після закінчення промивання деталь промивають під теплим душем, видаляючи залишки електроліту, і просушують потоком теплого повітря.

Якість промивки контролюють наступними способами: оглядом із застосуванням оптичних приладів; оглядом фільтруючих елементів промивної установки; хімічним аналізом промивної рідини після промивки; зважуванням домішок, що з'явилися в промивній рідині; спеціальними лічильниками частинок, що містяться в рідині після промивання деталі.

**Підбір деталей** за різними параметрами виробляють в тих випадках, коли без підбору деталей за геометричними або фізичними параметрами, точність заданої точності забезпечити досить важко. Найчастіше деталі підбирають за геометричними параметрами, коли забезпечується заданий зазор або натяг в з'єднанні; масі, коли забезпечується найменший початковий дисбаланс ротора турбіни або компресора і ін.

При підборі деталей за двома і більше параметрами безпосередньо на робочому місці складальника практично неможливо виключити «зайві деталі», яким не знайшлася відповідна суміжна деталь. У цьому випадку використовують ЕОМ і спеціальну програму підбору деталей. Кожній деталі, що бере участь в складанні, присвоюється порядковий номер, у неї вимірюють необхідні параметри, і результати вимірювань заносять в таблицю. Після обробки цієї таблиці на ЕОМ з урахуванням необхідної точності отримують нову таблицю з попарним розподілом деталей і списком «зайвих» деталей, яким не знайшлася сполучається деталь. Ці «зайві» деталі можна включити в наступну партію деталей, які надійшли на складання.

## **5.5 Особливості складання типових з'єднань і складальних одиниць машини**

**Види типових з'єднань.** З'єднання деталей в залежності від їх конструкції підрозділяють на рухомі і нерухомі. У свою чергу, серед цих сполук розрізняють роз'ємні і нероз'ємні з'єднання.

*Рухомими* називають з'єднання, в яких необхідно отримати взаємне переміщення однієї деталі щодо іншої або одній складальній одиниці відносно іншої (такі сполуки мають різні рухомі посадки).

*Нерухомі* з'єднання відрізняються міцністю і стабільністю положення однієї деталі щодо іншої або одної складальної одиниці відносно іншої (такі сполуки виконують з натягом).

*Роз'ємними* називають сполуки, які можуть бути розібрані без труднощів і пошкоджень пов'язаних або кріпильних деталей (такі сполуки виконують з зазором або по перехідним посадкам).

*Нероз'ємними* називають сполуки, розбирання яких при експлуатації не передбачена, вимагає великих зусиль і супроводжується пошкодженням сполучених або кріпильних деталей (такі сполуки виконують зварюванням, пайкою, клепкою, запресовуванням, склеюванням, завальцюванням, заливанням пластмасами і ін.).

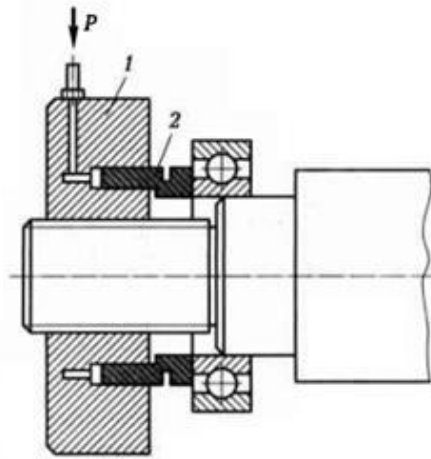
**Складання опор з підшипниками ковзання і кочення.** Вали і шпинделі встановлюють в корпусі на підшипниках кочення і ковзання. Внутрішні кільця підшипників кочення, як правило, з'єднують з валами по посадкам, що забезпечують натяг (натяг валів під підшипники в залежності від режиму роботи виконують з полями допусків k5, k6, m5, m6 і ін.). При легкому режимі роботи зовнішні кільця з корпусом з'єднують по посадкам з зазором, при нормальному – по перехідним посадкам, при важкому – по посадкам з натягом (поля допусків K7 і ін.).

Велика конусність посадочних поверхонь призводить до деформації підшипника ковзання та утворення лінійного контакту, що тягне за собою концентрацію напружень і передчасне зношування підшипника. При монтажі підшипників кочення неприпустимі надмірні відхилення посадочних поверхонь по еліпсності, так як в цьому випадку може відбутися заклинювання тіл обертання.

Посадка підшипників на вали, в отвори корпусних деталей може бути виконана за допомогою ручних, гідравлічних або пневматичних пресів з підігрівом в гарячому маслі при температурі 80 ... 90<sup>0</sup>С або охолодженням твердою вуглекислою при температурі -15 ...-80<sup>0</sup>С.

Для напресування і зняття підшипника можуть бути використані ручні пристосування – монтажні стакани і оправлення. Застосування оправок забезпечує рівномірну посадку підшипника на шийку вала, запобігає перекосу при установці і оберігає підшипник від пошкоджень. Для напресування підшипників на вали, які мають на кінці різьби, часто використовують гайкові та гвинтові пристрої.

У великосерійному виробництві для напресування і розпресовування великих підшипників застосовують гідравлічну гайку (рисунок 5.1), яка складається з корпусу 1 і поршня 2, що переміщається в корпусі гайки під тиском масла.



*Рисунок 5.1 - Гідравлічна гайка для запресовування підшипників*

У упорних шарикопідшипниках кільця мають різні діаметри. Для того щоб підшипник працював нормально, при складанні завжди встановлюють кільце з меншим внутрішнім діаметром на валу, а кільце з великим внутрішнім діаметром – в корпусі. При установці вала в двох радіальних підшипниках один з них закріплюють нерухомо на валу і в корпусі, а другий – тільки на валу, враховуючи температурні деформації вала при роботі вузла. При складанні складальних одиниць з упорними і конічними роликопідшипниками осьовий зазор регулюють прокладками або регулювальним болтом.

Процес складання опор з підшипниками кочення складається з наступних операцій: підготовка деталей до складання; контроль підшипників; попереднє складання опор; перевірка взаємного положення деталей опор; остаточне складання опор; контроль точності складання.

При підготовці деталей до складання зовнішнім оглядом перевіряють чистоту і стан деталей, підшипники розконсервують, промивають і змащують шаром масла.

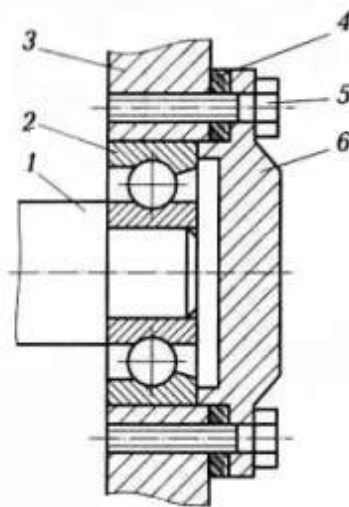
Контроль підшипників перед складанням проводять для виявлення дефектів, що впливають на надійність роботи всієї опори. Основним видом контролю є візуальний огляд з метою виявлення забоїн, тріщин, корозії та інших дефектів. У деяких випадках вимірюють геометричні параметри тіл кочення і посадочних розмірів для отримання більш точного сполучення.

Попереднє складання опор з підшипниками кочення проводиться з метою підбору розмірів компенсувальних елементів, що визначають дійсні зазори в підшипниках, і перевірки дійсних осьових і радіальних зазорів. При складанні опор з радіально-упорними підшипниками осьовий зазор регулюється підбором компенсаторів. В опорі, конструктивна схема якої представлена на рисунку 5.2, компенсатором є кільце 4. Товщину необхідного компенсатора можна визначити шляхом розрахунку розмірного ланцюга або експериментально під час попереднього складання опори.



При експериментальному підборі товщини компенсатора попереднє складання опори проводиться без компенсатора наступним чином. На цапфу вала 1 напресовують внутрішнє кільце підшипника 2. Потім збирають опору, загвинчуючи всі болти 5, притискаючи кришку 6 до моменту зникнення осьового зазору в підшипнику. Вал при цьому буде провертатися досить туго.

Після чого в трьох місцях по колу вимірюють зазор між торцем кришки 6 і торцем корпусу 3 і визначають його середнє значення. Опору розбирають і визначають необхідну товщину компенсатора 4 шляхом додавання до знайденого середнього значення зазору величини необхідного зазору в підшипнику. Підібраний з комплекту компенсатор встановлюють на своє місце, загвинчують всі болти 5 із заданим зусиллям і перевіряють дійсний осьовий зазор в підшипнику.



1 - вал; 2 - підшипник; 3 - корпус; 4 - компенсатор; 5 - болт;  
6 - кришка

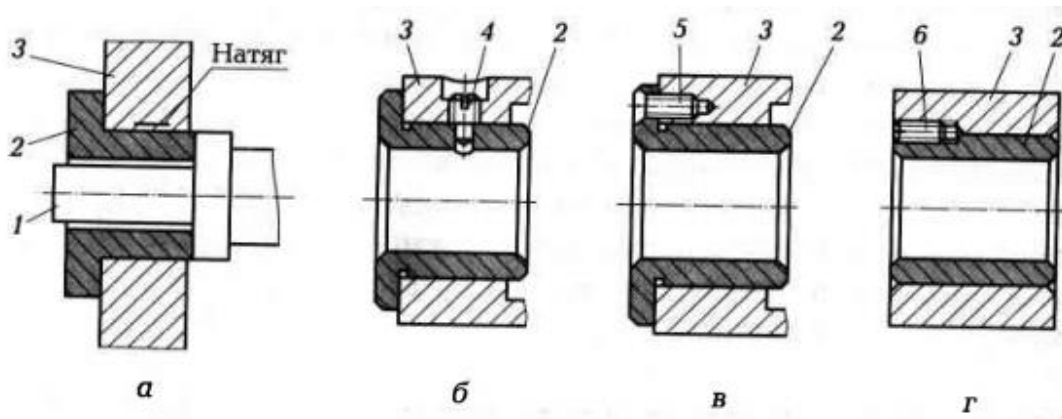
Рисунок 5.2 - Конструктивна схема опори з радіально-упорним підшипником

Підшипники ковзання є втулкою (вкладишем) 2, в яку входить цапфа 1 вала (рисунок 5.3, а). Вкладиш виконують або цілним, або роз'ємним. Виготовляють вкладиші з антифрикційного матеріалу. Цілісний вкладиш у вигляді втулки повинен надійно закріплюватися в корпусі одним із способів: силами тертя (див. рисунок 5.3, а) при установці вкладиша з натягом (запресуванні); стопорним гвинтом 4 (рисунок 5.3, б) при наявності у вкладиші відповідного отвору; гвинтом 5 (рисунок 5.3, в); різьбовим штифтом 6 (рисунок 5.3, г).

Роз'ємний вкладиш підшипника, що складається з двох частин 2 і 3 (рисунок 5.4), на складання подають комплектом. Встановлюються половинки вкладиша в корпус 4 і кришку 1 з невеликим натягом або зазором і фіксуються від можливого зсуву штифтами 6, посадка яких в отвори в ко-

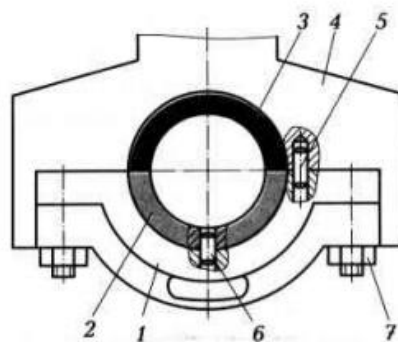
рпусі і в кришці здійснюється з натягом 0,04 ... 0,07 мм, а в отвір вкладиша - з зазором 0,1 ... 0,3 мм. Кришка 4 підшипника також фіксується щодо корпусу штифтами або іншими елементами, посадка на які здійснюється з невеликим зазором.

Основними вимогами на складання підшипників ковзання є забезпечення наступних параметрів: заданого діаметрального зазору між цапфою вала і внутрішнім діаметром вкладиша; заданої посадки вкладиша в корпус і кришку; надійне кріплення вкладишів; заданої посадки фіксуючих штифтів.



*а - закріплення вкладиша силами тертя; б - закріплення вкладиша стопорним гвинтом; в - закріплення вкладиша гвинтом; г - закріплення вкладиша різьбовим штифтом; 1 - цапфа вала; 2 - вкладиш; 3 - корпус; 4 - стопорний гвинт; 5 - гвинт; 6 - різьбовий штифт*

*Рисунок 5.3 - Схеми підшипників ковзання*



*1 - кришка; 2, 3 - частини (половинки) вкладиша; 4 - корпус; 5, 6 - штифти; 7 - гайка*

*Рисунок 5.4 - Конструктивна схема підшипника ковзання з роз'ємним вкладишем*

Складання нероз'ємних підшипників ковзання починають із зовнішнього огляду деталей, які надійшли на складання і підбору їх за розмірами для забезпечення заданих посадок. Після запресовування вкладиша відбувається зменшення внутрішнього діаметру через деформацію самого вкла-

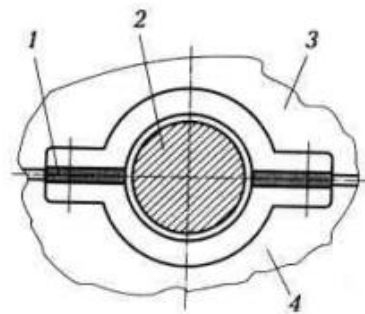
диша. Якщо ця деформація не врахована при виготовленні вкладиша, то після запресовування вкладиша виконують калібрування внутрішнього отвору, наприклад кулькою, з обов'язковим змащуванням.

Складання підшипників ковзання з роз'ємними вкладишами аналогічне складанню підшипників ковзання з нероз'ємними вкладишами. Одну половину вкладиша вставляють в кришку, а іншу – в корпус. Особливу увагу приділяють поєднанню масляних каналів і їх промивання після складання. Використовуваний складальний інструмент повинен бути виготовлений з м'якого матеріалу, а оправлення – з дерева або текстоліту щоб уникнути вм'ятин і забоїв на робочих поверхнях підшипника.

Так як підшипники ковзання підрозділяють на роз'ємні і нероз'ємні, специфіка їх складання різна. Складання рознімного підшипника ковзання має наступні операції: сполучення вкладиша підшипника з корпусом; перевірку співвісності робочих поверхонь підшипників; підгонку прилягання робочих поверхонь вкладишів і вала; регулювання монтажного зазору в підшипнику; установки вала в підшипнику.

Вкладиш підганяють до корпусу по фарбі, при цьому відбитки повинні займати не менше 70% поверхні підшипника.

Одночасно з припасуванням вкладишів вивіряють їх співвісність з корпусом, яка не може перевищувати 0,15 мм. Для цього використовують еталонний вал, контрольну лінійку і шуп або оптичний метод. Після вивірки співвісності осей підшипників приступають до складання і пригону вкладишів підшипника до шийки вала, що здійснюється шабренням нижніх, а потім верхніх вкладишів. Підгонка вважається закінченою, якщо плями контакту розташовуються рівномірно, а їх число становить 9-12 плям на площі 25x25 мм. Зазор регулюють підбором прокладок (рисунок 5.5).



*1 - прокладка; 2 - вал; 3 - верхня частина корпусу;*

*4 - нижня частина корпусу*

*Рисунок 5.5 - Регулювання радіального зазору прокладками*

**Складання зубчастих передач.** У машинобудуванні широке поширення знайшли зубчасті передачі, які служать для передачі крутного моменту від одного вала (ведучого) до іншого вала (веденого).

Передачі з циліндричними зубчастими колесами застосовують для передачі крутного моменту між валами з паралельними осями. Передачі з конічними зубчастими колесами застосовують для передачі крутного моменту між валами, осі яких розташовані перпендикулярно. Черв'ячні передачі застосовують для передачі крутного моменту між валами з перехресними осями.

*Складання передач з циліндричними зубчастими колесами.* До складання циліндричних зубчастих передач висувають такі вимоги: забезпечення заданого бічного зазору в сполученні зубів; посадка зубчастого колеса на вал з необхідним зазором; правильне зачеплення зубів сполучених зубчастих коліс; плавність обертання зубчастих коліс та ін.

На складання зубчасті колеса надходять після проходження підготовчих операцій, таких як комплектування пар зубчастих коліс за параметрами плавності ходу, плямі контакту, боковому зазору і ін.

Як правило, зубчасті колеса з валами з'єднують по перехідним посадкам: з'єднання по посадкам H7/js6 і H7/k6, H7/m6 і H7/h6 здійснюють за допомогою пресів.

При тугих шліцьових з'єднаннях охоплювальну деталь перед запресуванням нагрівають до 80...120 °С. Легкорознімні і рухливі шліцьові з'єднання здійснюють посадкою деталі, що охоплює з прикладенням невеликих зусиль або від руки. Такі сполуки контролюють не тільки на биття, але і на переміщення деталі, що охоплює по шліцах.

Після посадки зубчастих коліс на вали, закріплення і перевірки правильності їх положення на валу ці вироби передають на подальше складання. При установці валів на підшипникові опори в корпусі зубчасті колеса вводяться в зачеплення один з одним. На даній стадії складання перевіряють і забезпечують заданий бічний зазор в зубчастому сполученні. В одних конструкціях для регулювання бічного зазору передбачено зміну міжцентрової відстані пов'язаних зубчастих коліс, в інших конструкціях бічний зазор забезпечують шляхом зміни товщини зуба заміною одного зубчастого колеса (або обох) з іншою товщиною зуба в межах допуску на виготовлення.

Правильність торкання поверхонь зубів сполучених зубчастих коліс перевіряють по плямі контакту (на фарбу). Для цього евольвентну поверхню зубів меншого зубчастого колеса покривають тонким шаром спеціальної фарби і провертають більше зубчасте колесо на один оборот. Після розбирання з'єднання досліджують стан плям фарби (плями контакту) на більшому зубчастому колесі і роблять висновок про правильність зачеплення даної пари зубчастих коліс в конструкції. Норми розмірів і положень плями контакту регламентовані стандартами, наприклад для передачі, зібраної з зубчастих коліс 7-го ступеня точності, розмір плями контакту по висоті зуба повинен бути не менше 45%, а по ширині – не менше 60%.

Форма і місце розташування плями контакту вказують на неточності складання зубчастого сполучення. Якщо пляма контакту розташовується ближче до вершини зуба, то міжцентрову відстань трохи збільшено, а при

експлуатації такого сполучення зуби можуть зламатися завчасно. Форма плями контакту у вигляді клина вказує на те, що вали з насадженими зубчастими колесами трохи непаралельні.

*Складання передач з конічними зубчастими колесами.* Одним з основних умов правильності зачеплення конічної зубчастої передачі є збіг вершин ділительних конусів зубчастих коліс. Допустимі зміщення вершин ділительного конуса колеса (довжина твірної  $R_e$ ) щодо осі другого колеса і вершин ділительного конуса другого колеса щодо осі першого колеса регламентуються ГОСТом (рисунок 5.6)

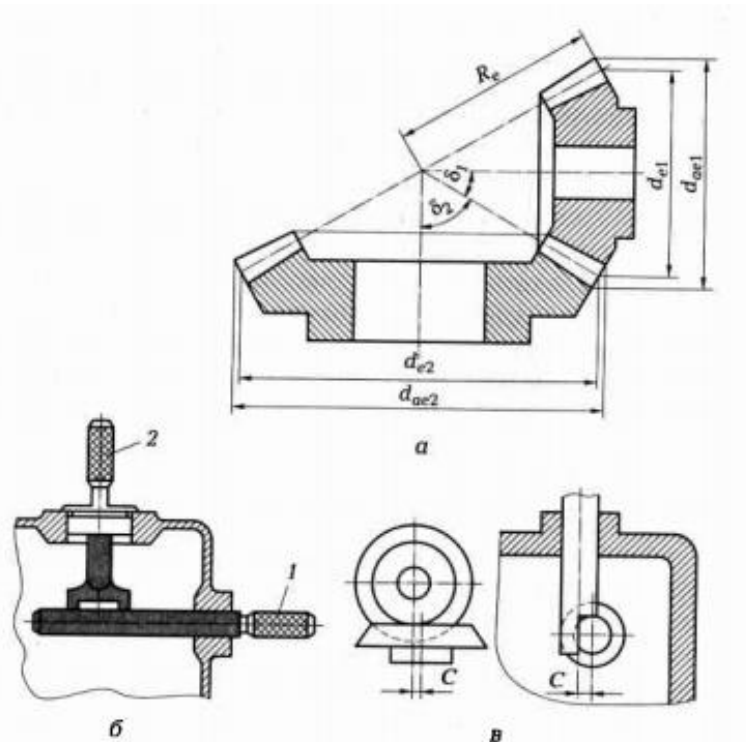


Рисунок 5.6 - Конічна зубчаста передача

Бічний зазор між зубами конічних зубчастих коліс контролюють щупом або свинцевою пластиною. В ідеальному випадку зуби торкаються один одного всієї робочої поверхнею (якщо брати за робочу поверхню вузьку смугу вздовж всієї лінії зуба), в стиканні знаходиться від 1/2 до 3/4 довжини зуба.

Основні розміри конічного зубчастого колеса зазвичай розглядаються в зовнішньому перерізі, де зуб має найбільші розміри на поверхні додаткового конуса (зовнішній ділительний діаметр  $d_e = mz$ , діаметр вершин зубів  $d_{ae} = m(z + 2aS\delta)$ , де  $m$  - модуль колеса;  $z$  - число зубів;  $a$  - коефіцієнт зчеплення;  $S$  - зазор між зубами;  $\delta$  - кут ділительного конуса (кут між віссю конічного колеса і твірною його ділительного конуса, рисунок 5.6, а)). Зуби можуть розглядатися в будь-якому перетині (середньому, внутрішньому і ін.).

Вимоги, що пред'являються до конічних зубчастих передач, прийоми їх складання і встановлення на валу такі ж, як і для циліндричних зубчастих коліс.

Припасування коліс доцільно вести так, щоб зуби стикалися робочою поверхнею ближче до тонких кінців, оскільки тонка сторона швидше припрацьовується і при навантаженні внаслідок деформації тонкого кінця зубів швидше досягається їх прилягання на всій довжині.

Перед установкою зубчастих коліс перевіряють міжосьовий кут і зміщення осей. Перпендикулярність осей перевіряють за допомогою циліндричної рамки 1 (рисунок 5.6, б) і оправки 2, що має два виступи, площини яких перпендикулярні осі. Щупом заміряють зазор між виступами. Поєднання осей перевіряють оправками, аналогічними оправками 1 і 2 зі зрізаними до половини кінцями (рисунок 5.6, в). При суміщенні оправок щупом заміряють зазор  $C$  між ними.

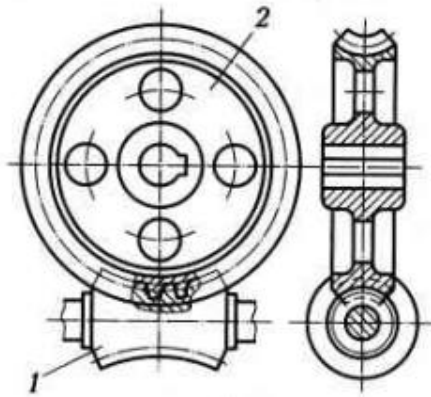
Напресовані колеса перевіряють на биття вінця, монтують передачу і домагаються збігу уявних вершин конусів. Попередню установку здійснюють по торцях коліс. Зачеплення регулюють зміщенням зубчастих коліс в осьовому напрямку, поки не вийдуть однакові бічній  $C_n$  і радіальний  $C_\delta$  зазори по всьому колу. Зміщувати можна або одне колесо, або обидва. Знайдене правильне положення коліс фіксують набором прокладок або регулювальними кільцями, що закладаються між торцем колеса і уступом вала. При наявності радіально-упорних підшипників з регулювальними прокладками зачеплення регулюють зміщенням валу разом з колесом. Щоб не порушити при цьому зазори в підшипниках, для зміщення коліс виймають прокладки з-під одного підшипника і перекладають їх до протилежного підшипника.

Правильність зачеплення коліс перевіряють «на фарбу». На зуби одного колеса наносять фарбу і прокочують колеса. Передачу розбирають і перевіряють, чи правильно встановлені зубчасті колеса на валах і положення осей в корпусі. Необхідну пляма контакту в конічних передачах отримують припрацюванням з абразивними пастами, як і для циліндричних передач.

*Складання черв'ячних передач.* За призначенням черв'ячні передачі підрозділяють на кінематичні і силові передачі. За ГОСТ 3675-81 встановлено 12 ступенів точності черв'ячних передач. Кінематичні передачі, від яких вимагається створення точного передавального відношення, виготовляють 3-6-го ступенів точності, силові передачі - 5-9-го ступенів точності.

Для виконання черв'ячною передачею свого службового призначення при її виготовленні необхідно забезпечити кінематичну точність передачі, заданий бічний зазор в зачепленні черв'яка з черв'ячним колесом, збіг середньої площини черв'ячного колеса з віссю черв'яка, необхідну точність схрещування осей обертання черв'яка і черв'ячного колеса (рисунок 5.7). Іноді передбачено регулювання осьового положення черв'ячного колеса щодо осі черв'яка шляхом зміни товщини однієї з прокладок (використання нерухомого компенсатора при методі регулювання) під кришки.

При складанні черв'ячних передач виникає необхідність регулювати зазор в підшипниках. Необхідний зазор створюється переміщенням зовнішнього кільця підшипника за допомогою кришки і гвинтів. В утворену щілину повинна бути вставлена прокладка відповідної товщини.



*1 – черв'як; 2 – черв'ячні колесо  
Рисунок 5.7 – Черв'ячна передача*

Правильність зачеплення черв'ячного колеса з черв'яком перевіряють «на фарбу». Фарбу наносять на гвинтові поверхню черв'яка і, провертаючи його, отримують відбитки на зубах черв'ячного колеса. При правильному зачепленні черв'яка (контролюється правильна міжосьова відстань і перпендикулярність осей черв'ячного колеса і черв'яка) фарба повинна покривати не менше 50 ... 70% бічної поверхні зуба черв'ячного колеса, а пляма контакту повинна розташовуватися по обидві сторони осі симетрії зуба.

**Складання нарізних з'єднань.** Нарізні з'єднання відносяться до класу нерухомих рознімних з'єднань. Вони складають понад 25% від загального числа з'єднань в конструкції машини. Ці прості в складанні і надійні в роботі з'єднання дозволяють виконувати багаторазове складання і розбирання частин виробу, що з'єднуються без їх пошкодження. Невід'ємною частиною нарізних з'єднань є нарізні кріпильні деталі, до яких відносяться болти, шпильки, гвинти, гайки, шайби і ін.

До нарізних з'єднань висувають такі вимоги: відсутність забруднень нарізних деталей, здатних привести до заїдання, зминання або зриву різьби при їх закручуванні; відсутність на різьбовій поверхні подряпин, задирок, сколів і зірваних витків різьби; певна щільність посадки шпильки в отвір для гвинта корпусної деталі; точна перпендикулярність осі вгвинченої в корпус шпильки прилеглої плоскій поверхні корпусу; різьбові деталі необхідно загвинчувати із заданим зусиллям, щоб стик був при необхідності герметичним, а скріплені деталі не зміщувалися від експлуатаційних навантажень; різьбові деталі не повинні самовідгвинчуватися при експлуатації машини.

*Контроль зусилля затяжки нарізних з'єднань є однією з основних операцій при їх складанні. Загвинчування різьбових деталей із зусиллям менше розрахункового (заданого) зусилля призводить до розкриття стику*

при експлуатації. Загвинчування різьбових деталей із зусиллям більше розрахункового (заданого) зусилля призводить до залишкових деформацій болта або шпильки, що також призведе до розкриття стику з'єднаних деталей при експлуатації.

У практиці машинобудування знайшли широке застосування два методи контролю зусилля затягування різьбових з'єднань: по крутному моменту; за абсолютним подовженню болта або шпильки.

Контроль зусилля затяжки по крутному моменту:

$$M_{KP} \approx 0,2P_3d,$$

де  $M_{KP}$  – крутний момент, що прикладається до гайки при її закручуванні;

$P$  – зусилля затяжки деталей, що скріплюються;

$d$  – зовнішній діаметр різьби.

Отже, вимірявши крутний момент, що прикладається до гайки, можна визначити зусилля затяжки деталей, що з'єднуються.

Контролюють при складанні крутний момент кількома способами: застосуванням стандартних гайкових ключів; застосуванням динамометричних ключів; застосуванням граничних механізмів в поєднанні з гайковим ключем.

*Контроль зусилля затяжки по абсолютному подовженню болта або шпильки* використовують при складанні особливо відповідальних різьбових з'єднань, так як цей метод має високу точність, але вимагає додаткової вимірювальної оснастки. Суть методу полягає в тому, що точним вимірювальним пристроєм вимірюють деформацію – розтягнення болта, що виникає при прикладенні до болта осьового розтягувального зусилля при закручуванні гайки.

**Складання пресових з'єднань.** З'єднання з гарантованим натягом належать до нерозбірних механічних з'єднань, так як при їх розбиранні порушується стан сполучених поверхонь, тобто деталі цього з'єднання пошкоджуються. При перебиранні виробу ці сполуки не підлягають розбиранню.

За способом складання з'єднання з гарантованим натягом умовно діляться на поперечно-пресові і поздовжньо-пресові. При складанні поперечно-пресових з'єднань зближення поверхонь, що сполучаються відбувається у напрямку, перпендикулярному до цих поверхонь. При поздовжньо-пресових з'єднаннях деталі запресовуються під дією сил, спрямованих уздовж поверхонь, що сполучаються.

При складанні *поперечно-пресових з'єднань* виконують нагрівання охоплюючої деталі і (або) охолоджують охоплювану деталь. При достатньому нагріванні-охолодженні деталей, діаметри отвору і вала повинні змінитися настільки, щоб при їх з'єднанні утворився зазор. Тоді деталь-вал



вільно вставляють в отвір деталі, що сполучається до упору у фланець, не зминаючи нерівності на їх поверхнях.

Подальше охолодження призведе до вирівнювання температури деталей. Зазор не тільки зникне, а й утворюється заданий (заздалегідь розрахований конструктором) натяг по поверхнях з'єднаних деталей. Відбувається взаємне проникнення мікронервностей на поверхнях деталей при незначному їх зминанні.

Необхідну температуру  $t_{cб}$  нагріву деталі з отвором (охоплюваної деталі) можна розрахувати за наступною формулою:

$$t_{cб} = \frac{\delta + \Delta}{\alpha d} + t_0,$$

де  $\delta$  – розрахунковий натяг в з'єднанні;  
 $\Delta$  – складальний зазор в з'єднанні;  
 $d$  – діаметр отвору охоплюваної деталі;  
 $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу охоплюючої деталі;  
 $t_0$  – температура навколишнього середовища в процесі складання.

Необхідну температуру охолодження охоплюваної деталі (вала) підраховують за аналогічною формулою. Охолоджують в основному дрібні деталі типу штифтів, втулок, призонних болтів перед установкою їх в великогабаритні деталі.

Для нагріву деталей використовують індуктори, нагрівальні печі, газові пальники, масляні ванни і ін. Охолоджують деталі в рідкому повітрі або в рідкому азоті, сухому льоді (тверда вуглекислота) і ін. Вирівнювання температури виконують в зібраному стані, наприклад, під пресом.

**Поздовжньо-пресові з'єднання** збирають без нагрівання та охолодження методом запресовування. При цьому відбувається зминання нерівностей по поверхнях деталей, що з'єднуються 1 і 2 (рисунок 5.8). Зусилля  $P_{зап}$  запресування доцільно створювати пресом, що забезпечить плавну зміну зусилля від мінімального (в початковій фазі запресування) до максимального (в кінцевій стадії запресування).

Для виключення перекосу деталей використовують різні складальні пристосування. Устаткування для запресовування багато в чому визначається конструкцією виробу, що збирається, і програмою випуску виробів. Невеликі деталі можна запресувати м'яким молотком невеликої маси. Для запресовування більших деталей застосовують преси різної дії, наприклад, гідравлічні, гвинтові або ексцентрикові.

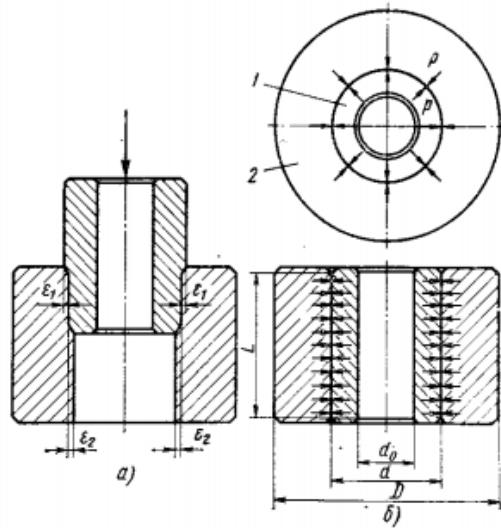


Рисунок 5.8 – Схема поздовжньо-пресового з'єднання

Найбільша сила запресування  $P_3$ , необхідна для складання поздовжньо-пресового з'єднання:

$$P_3 = f\pi d p L,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя при запресуванні;  
 $d$  – номінальний діаметр поверхні сполучення;  
 $L$  – довжина запресування;  
 $p$  – тиск на контактній поверхні.  
 Величину  $p$  розраховують за формулою

$$p = \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2}},$$

де  $\delta$  – розрахунковий натяг;

$$c_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1 \text{ та } c_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2;$$

$E_1$  і  $E_2$  – модулі пружності матеріалів охоплюваної і охоплюючої деталей;

$\mu_1$  і  $\mu_2$  – коефіцієнти Пуассона відповідно для тих же матеріалів;

$d_2$  – діаметр зовнішньої поверхні охоплюючої деталі;

$d_1$  – діаметр центрального отвору охоплюваної деталі. Для вала без отвору  $d_1 = 0$  і  $c_1 = 1 - \mu_1$ .

Коефіцієнти тертя при запресовуванні залежать від матеріалу деталей, що сполучаються, шорсткості поверхні контакту, величини тиску  $p$ , наявності змащувального матеріалу і характеру змазування в сполученні.

Контролюють після запресовування радіальне і торцеве биття, щільність прилягання деталей по торцю та інші геометричні параметри. Міцність запресованого з'єднання перевіряють вибірково в лабораторних умовах доводячи з'єднання до руйнування.

**Складання зварних з'єднань.** З'єднання деталей зварюванням мають такі переваги порівняно з іншими видами з'єднань: знижується маса виробу за рахунок виключення з конструкції фланців і кріпильних деталей; надійніше забезпечується герметичність стику деталей, що з'єднуються; спрощується процес складання; підвищується рівень механізації і автоматизації складального процесу.

Скріплюються деталі звареним швом, який виходить під час зварювання, коли скріплюються деталі нагріваються джерелом теплоти до температури плавлення металу деталей, що з'єднуються. Часто використовують присадний матеріал у вигляді прутка, який плавиться і заповнює простір між деталями, що зварюються. При охолодженні розплавленого металу відбувається взаємопроникна кристалізація, і затверділий метал в місці з'єднання деталей утворює зварний шов, міцність якого близька до міцності вихідного металу.

Широко застосовують такі види зварних з'єднань: стикові, кутові, таврові, внапуск.

До зварних з'єднань можуть пред'являтися такі вимоги: висока міцність; герметичність зварного шва; відсутність тріщин, непроварів, підризів; відсутність викривлення скріплених деталей.

Види зварювання багато в чому визначаються джерелом теплоти для нагріву металу скріплюються деталей. Найбільш широко застосовують такі види зварювання: газове; електродугове; аргондугове; плазмове дугове; електронно-променево; лазерне; точкове; роликкове; зварювання встик з оплавленням.

Для скріплення деталей з низьколегованих сталей застосовують дугове зварювання. Деталі з міді зварюють газовим або дуговим зварюванням. Деталі з латуні зварюють газовим або дуговим зварюванням, застосовуючи вугільні електроди. При зварюванні деталей з магнієвих сплавів найкращий результат виходить при аргондуговому зварюванні зі спеціальними флюсами. Зварювання деталей з жароміцних сплавів і сталей виконують аргондуговим зварюванням.

Якість зварного шва багато в чому визначається ретельністю виконання операцій з підготовки деталей до зварювання і правильним вибором методу зварювання в залежності від марки матеріалів, що скріплюються. Деталі перед зварюванням правлять і вирівнюють, використовуючи оправки, легкі м'які молотки, для забезпечення хорошого взаємного положення кромки деталей, що скріплюються. З поверхонь деталей в місцях зварювання видаляють іржу, масла, вологу, окалину і інші забруднення, які мо-

жуть привести до дефектів зварного шва. Очищення виконують механічними способами або травленням в лугах або кислотах. Для знежирення поверхонь застосовують бензин, ацетон або спирт. Якщо необхідно, то уздовж всієї лінії майбутнього зварного шва виконуються фаски певного розміру.

Безпосередньо перед зварюванням деталі збирають і закріплюють в пристосуванні для зварювання (стапелі), надаючи їм задане кресленням взаємне положення. Точність складання в пристосуванні багато в чому визначається видом зварювання. Наприклад, при аргонодуговому зварюванні встик деталей з листової жароміцної сталі похибка з'єднання заготовок повинна перевищувати 0,1 товщини зварюваного матеріалу.

При дуговому зварюванні електроду надають наступні робочі рухи відносно деталей, що скріплюються: поступальний рух уздовж осі електрода в міру його розплавлення для підтримки постійної міни електричної дуги; поступальний рух уздовж стику деталей, необхідний для утворення зварного шва по всій довжині деталей, що скріплюються; коливальний рух з невеликим розмахом, необхідний для утворення необхідної ширини зварного шва.

Під час зварювання деталей відбувається великий перепад температур через місцевого нагріву, а після їх охолодження з'являються значні внутрішні напруги, які можуть призвести до поломок деталей під час експлуатації. Для зняття цих напруг виконують термообробку зварного з'єднання, наприклад відпал. При зварюванні жароміцних сплавів перед зварюванням виконують відпал окремих деталей, а після зварювання виконують старіння зварного з'єднання.

У зварювальних деталях може з'явитися залишкова деформація після їх охолодження. Усувають ці дефекти правкою. Правка деталі може бути механічною за допомогою удару або статичного навантаження, термічною, яка проводиться шляхом місцевого нагрівання зварного з'єднання в певній послідовності.

Для виявлення дефектів зварного з'єднання застосовують різні методи контролю, які реалізуються в три етапи: попередній контроль підготовлених до зварювання деталей; операційний контроль; контроль готового зварного з'єднання.

Більшість зовнішніх дефектів можна виявити візуальним оглядом. Для виявлення внутрішніх дефектів використовують ультразвукові або рентгенівські дефектоскопи. Герметичність зварного шва перевіряють тещошукачами або випробуваннями на герметичність за допомогою стиснутого повітря або рідини під тиском.

**Балансування деталей машин.** Внаслідок неоднорідності матеріалу деталі, похибок заготовки і механічної обробки, а також похибок складання (в результаті перекосу або зсуву сполучених деталей) з'являється неврівноваженість деталей і складальних одиниць машини.

Розрізняють три види неврівноваженості: статичну - зміщення центру ваги деталі (під дією сили тяжіння  $P$ ) щодо осі її обертання на величину

$r$  (рисунок 5.9, а); моментну - дія неврiвноважених мас металу, наведених до пари сил  $Q$ , що дiють в одній площинi в протилежних напрямках, з плечем  $l$  (рисунок 5.9, б); динамiчну, при якiй може бути одночасно змiщення центру ваги деталi щодо осi її обертання i дія неврiвноважених мас (рисунок 5.9, в).

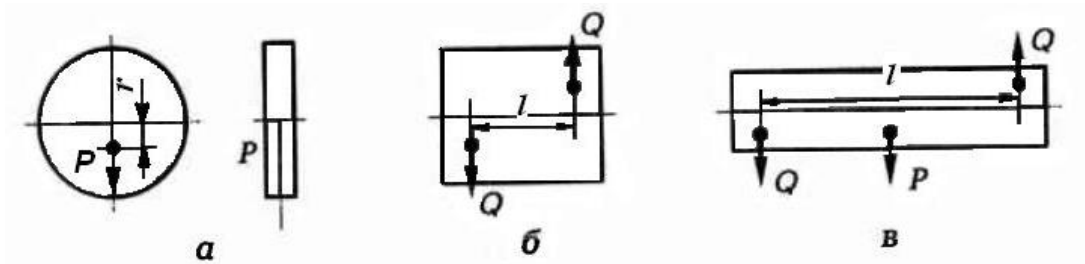


Рисунок 5.9 - Статична (а), динамiчна (б) i змiшана (в) неврiвноваженiсть деталей

Перший вид неврiвноваженостi характерний для деталей невеликої довжини  $L$  при значному дiаметрi  $d$ , коли  $L/d < 1$ , а другий i третiй - при вiдношеннi  $L/d > 1$ .

Для усунення неврiвноваженостi застосовують балансування, яке полягає в визначеннi величини i напрямку неврiвноваженостi i компенсацiї цiєї неврiвноваженостi шляхом зняття або додавання металу у вiдповiдному мiсцi деталi. Пiсля балансування не допускаються будь-якi види обробки деталi (за винятком у деяких випадках полiрування або суперфiнiшування окремих поверхонь).

Балансування обертових деталей є вiдповiдальною технологiчною операцiєю, так як неврiвноваженi маси в сучасних швидкохiдних конструкцiях можуть привести до вiбрацiй, що порушує нормальну експлуатацiю механiзму або машини.

Статичне балансування проводиться таким чином (рисунок 5.10, а). Деталь 1, що балансується, надiвають на спецiальну оправку 2, встановлюють на двi горизонтальнi паралельнi призми 3.

Неврiвноваженiсть деталi виявляють, прокочуючи її по призмах. При збiгу центру ваги деталi з її вiссю деталь буде нерухома в будь-якому своєму кутовому положеннi на призмах. У разi неврiвноваженостi (важка) сторона А деталi (рисунок 5.10, б) буде прагнути зайняти найбільш низьке положення. Закреплюючи вантаж на протилежному боцi деталi, можна врівноважити деталь.

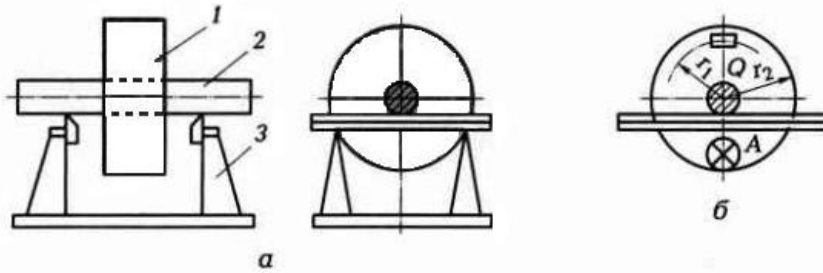


Рисунок 5.10 - Схеми статичного балансування

Замість прикріплення вантажу з «легкої» сторони деталі можна застосувати її висвердлювання з більш «важкої» сторони. Кількість маси  $Q_1$  металу, яке потрібно зняти з більш «важкої» сторони на відстані  $r_1$  від осі обертання, може бути визначено за формулою

$$Q_1 = Q r_1 / r_2$$

де  $Q$  – маса деталі;  
 $r_1$  – величина зміщення центру ваги;  
 $r_2$  – радіус деталі.

При статичному балансуванні іноді замість призм застосовують шліфовані стрижні (при балансуванні деталей з невеликою масою) або кульки (при балансуванні маховиків).

Динамічне балансування проводиться при обертанні деталі, що балансується. При такій балансуванні забезпечується збіг осі обертання деталі з головною віссю інерції всієї системи. Динамічна невірноваженість викликана неправильним розподілом маси металу по довжині деталі. Якщо в деталі є дві точки зосередження невірноважених мас, розташовані по обидва боки осі обертання, відцентрові сили створюють пару сил  $Q_1$  з моментом

$$M = (Q_1 / g) r_1 \omega^2 l_1,$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння;  
 $r_1$  – зміщення невірноважених мас щодо осі обертання;  
 $\omega$  – частота обертання;  
 $l_1$  – відстань між точками зосередження невірноважених мас.

При цьому центр ваги деталі знаходиться на осі обертання і невірноваженість при статичному балансуванні не виявляється.