

**Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Кафедра технології машинобудування**

**Ю.Є. Паливода, Ю.Б. Капаціла, І.Г. Ткаченко**

# **ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС**

Навчальний посібник для студентів  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
галузі знань 13 «Механічна інженерія»

Тернопіль  
2016

У навчальному посібнику детально розглянуто характеристики зубчастих передач, вимоги до них, способи оброблення зубчастих коліс, рейок та черв'яків, основні методи контролю, наведено типові технологічні маршрути виготовлення зубчастих коліс, основні види обладнання та технологічного оснащення для їх реалізації.

Посібник призначений для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

**Укладачі:** канд. техн. наук, професор Паливода Ю.Є.  
канд. техн. наук, доцент Капаціла Ю.Б.  
канд. техн. наук, доцент Ткаченко І.Г.

**Рецензент:** доктор техн. наук, професор Луців І.В.

**Відповідальний за випуск:** канд. техн. наук, професор Паливода Ю.Є.

Посібник розглянуто та схвалено на засіданні кафедри технології машинобудування, протокол № 2 від 25 лютого 2016 року.

Посібник рекомендовано до друку науково-методичною комісією факультету інженерії машин, споруд та технологій ТНТУ, протокол № 1 від 27 квітня 2016 року.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. Загальні відомості про зубчасті передачі.....	6
2. Вимоги до точності зубчастих коліс .....	15
3. Конструктивне оформлення зубчастих коліс .....	18
4. Матеріали і термічне оброблення зубчастих коліс .....	20
5. Методи отримання заготовок.....	22
6. Базування заготовок зубчастих коліс при обробленні .....	26
7. Технологічні завдання .....	31
7.1 Точність розмірів.....	31
7.2. Точність взаємного розташування.....	31
7.3. Твердість робочих поверхонь .....	32
8. Структура технологічного процесу оброблення зубчастих коліс.....	32
9 Токарне оброблення заготовок циліндричних зубчастих коліс .....	36
10 Оброблення посадкового (центрального) отвору .....	41
13 Методи нарізування зубів.....	52
14 Обладнання для нарізування зубчастих коліс .....	54
15 Нарізування зубів циліндричних коліс .....	57
15.1 Нарізування дисковими модульними фрезами .....	57
15.2 Оброблення пальцевими модульними фрезами.....	62
15.3 Фрезерування зубів черв'ячними модульними фрезами .....	63
15.4 Нарізування зубів довб'яками.....	71
15.5 Оброблення зубів гребінками .....	80
15.6 Протягування зубів .....	81
15.7 Накатування зубів .....	84
16. Нарізування зубів конічних зубчастих коліс.....	86
17 Нарізування черв'яків .....	95
18. Нарізування зубів черв'ячних коліс .....	101
19 Викінчувальні методи оброблення зубчастих коліс .....	104
19.1. Викінчувальні методи оброблення незагартованих зубчастих коліс .....	104

19.1.1 Шевінгування.....	104
19.1.2 Обкатування.....	109
19.1.3 Припрацювання .....	109
19.2 Викінчувальні методи оброблення загартованих зубчастих коліс .....	110
19.2.1 Зубошліфування .....	110
19.2.2 Зубохонінгування .....	115
19.2.3 Притирання .....	116
19.2.4 Зубозаокруглення .....	119
20 Контроль зубчастих коліс.....	121
21 Приклади типових маршрутів виготовлення зубчастих коліс .....	126
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	132
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК .....	134

## ВСТУП

Зубчасті передачі набули широкого поширення завдяки своїй універсальності, високому коефіцієнту корисної дії (ККД), можливості застосування в широкому діапазоні швидкостей і потужностей, компактності та надійності. У той же час зубчасті передачі висувають високі вимоги до якості робочих поверхонь. Для їх оброблення потрібна висока кваліфікація і спеціальна підготовка всіх працівників. Оброблення зубів і базових отворів є одним з найскладніших етапів технологічних процесів механічного оброблення, який виконується на спеціалізованих верстатах з використанням дорогого спеціального інструменту.

Найважливішими завданнями при розробленні технології виготовлення зубчастих коліс є: вибір раціональних методів оброблення та конструкцій інструментів, що забезпечують економію металу; підвищення якості, продуктивності і стабільності процесу; зниження собівартості і трудомісткості оброблення.

## 1. Загальні відомості про зубчасті передачі

Зубчастою передачею називають механізм, призначений для передачі обертового руху, а також для перетворення обертового (коливального) руху в поступальний або навпаки, поступального в обертовий рух. Класифікація зубчастих передач зображена на рис. 1.1.

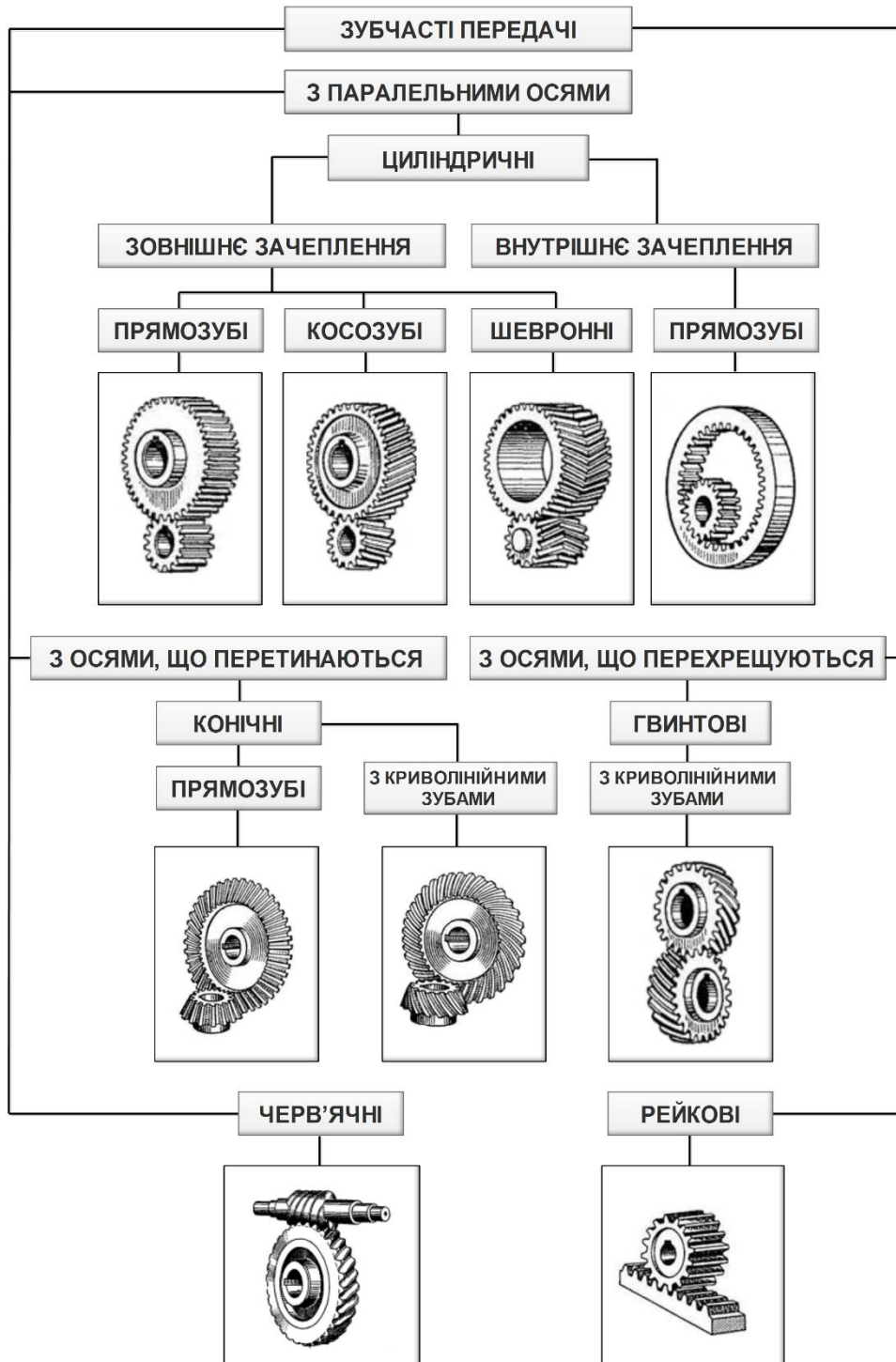


Рисунок 1.1 – Класифікація зубчастих передач

Зубчастим колесом називають колесо з замкнутою системою зубів. Виступи на колесі, що передають рух шляхом дії на виступи другого колеса називаються зубами (рис. 1.2).

Зубчасте колесо має тіло і зубчастий вінець. Поверхня, яка відділяє зубчастий вінець від тіла колеса, називається поверхнею впадин. Таким чином, зубчастий вінець циліндричних коліс розташовується між поверхнею впадин і поверхнею вершин, у конічних коліс – між конусом вершин і конусом впадин.

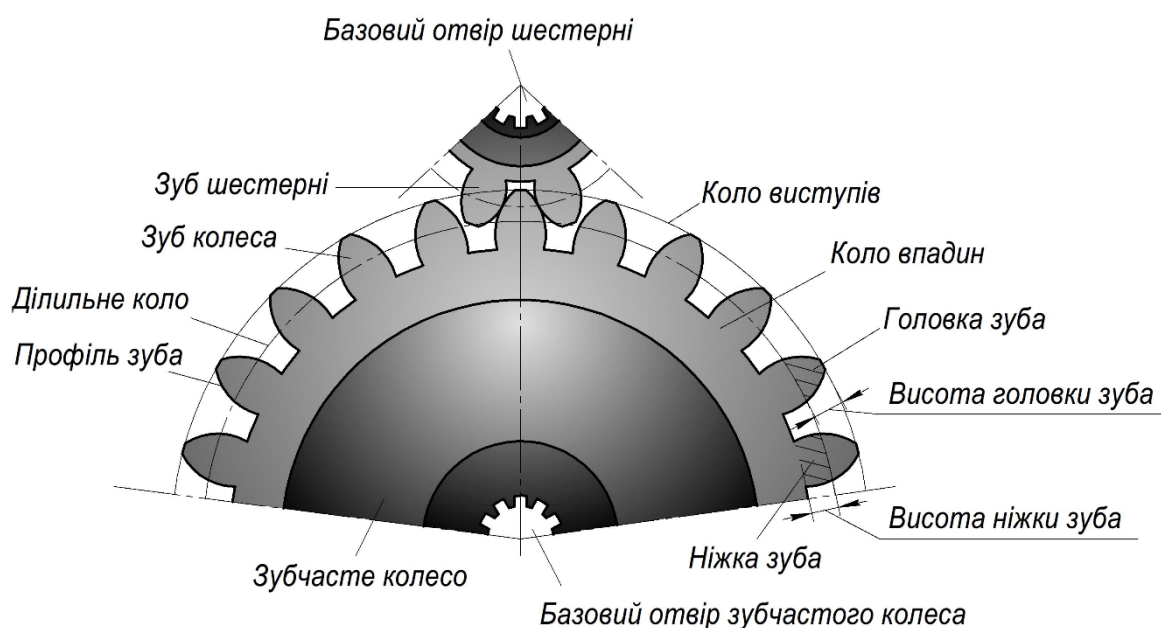


Рисунок 1.2 – Схема зубчастого зачеплення з евольвентним профілем зубів

Бічні робочі поверхні зуба відділяють тіло зубчастого колеса від впадин.

Зубчасті передачі класифікують в залежності від розташування осей валів, на яких встановлені зубчасті колеса. Їх поділяють на передачі з валами, осі яких паралельні, валами, осі яких пересікаються і з валами, що мають схрещені осі.

Передачі між валами з паралельними осями називаються циліндричними. Розрізняють прямозубі, косозубі, шевронні, кругові, гвинтові і рейкові циліндричні передачі.

Циліндричні зубчасті колеса можна поділити на такі групи: монолітні колеса, вінці, колеса дискові, колеса складної форми, складні вали-колеса, порожнисті вали-колеса.

Дискові колеса займають провідне місце і використовуються здебільшого для зовнішнього зачеплення.

Прямозубими циліндричними колесами зовнішнього і внутрішнього зачеплення називаються зубчасті колеса, в яких напрям кожного зуба співпадає з твірною початкової поверхні.

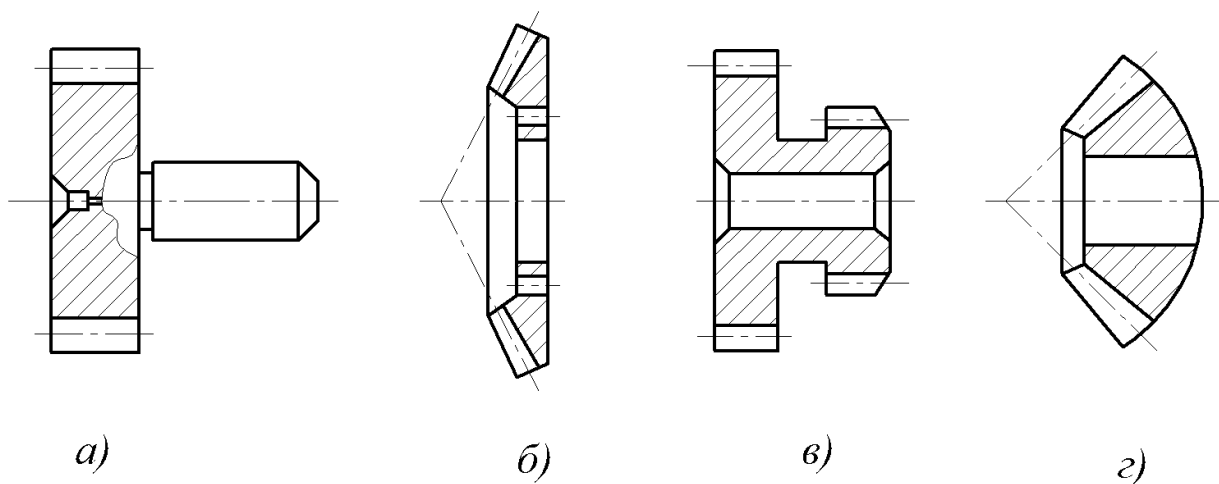


Рисунок 1.3 – Види прямозубих коліс:

*a* – вали-шестерні; *б* – дискові колеса; *в* – дискові колеса з маточиною;  
*г* – дискові колеса зі сферичною опорною поверхнею

Косозубими циліндричними колесами зовнішнього та внутрішнього зачеплення називаються зубчасті колеса, у яких напрям кожного зуба складає постійний кут з твірною початкової поверхні. Кутом нахилу зуба в косозубих колесах називається кут між віссю колеса і напрямом зуба на ділительному циліндрі. Косозубі колеса можуть мати правий і лівий напрям нахилу зубів.

Шевронні циліндричні колеса зовнішнього і внутрішнього зачеплення являють собою поєднання двох косозубих коліс з правим і лівим направленням зубів. У передачах з круговими зубами профіль зубів шестерні опуклий, а у колеса – увігнутий. В зачепленні зуби розташовані під постійним кутом до твірної початкової поверхні, як у косозубих передачах, а зуби виконані по дузі кола.

Гвинтові передачі можна віднести як до передач з паралельними, так і до



передач зі схрещеними осями, так як вони можуть мати кут схрещування від 0 до 90°. Гвинтові передачі відрізняються від косозубих тим, що мають точковий контакт зубців, а не лінійний, тому великі навантаження гвинтові передачі передавати не можуть, в зв'язку з чим використовуються тільки при невеликих навантаженнях і швидкостях.

Рейковими передачами називають передачі, які застосовуються для перетворення обертового руху валу в поступальний (коливальний) рух певної деталі (вузла машини) або, навпаки, поступального руху в обертовий (рис. 1.4).

Зубчасте колесо і рейка відносяться до передачі з паралельними осями тому, що зубчасту рейку можна представити як зубчасте колесо з нескінченно великим ділительним діаметром. Рейка переміщується по прямій перпендикулярно осі зубчастого колеса.

Слід враховувати, що зубчаста рейка (розгорнуте зубчасте колесо) має однаковий крок зубів і зачеплення її зубів із зубами спряженого колеса підлягає загальним закономірностям евольвентного зачеплення.

Прямолінійний профіль зубів рейки є основою здійснення технологічного процесу нарізування зубів коліс методом обкатування.



Рисунок 1.4 – Схема зубчастої рейкової передачі:

1 – зубчасте колесо; 2 – зубчаста рейка

За видом зачеплення зубчасті передачі поділяють на евольвентні, зачеплення Новікова, циклоїдні, цівкові, кругогвинтові і годинникові.

Конічними передачами називають зубчасті передачі між валами, вісі яких перетинаються або перехрещуються і розташовуються під прямим, тупим чи гострим кутом. Найбільшого поширення набули конічні передачі, вісі валів яких розташовані під тупим кутом. Розрізняють косозубі передачі з прямими зубами, з косими зубами, з нульовим кутом нахилу і з криволінійними зубами. В конічних передачах початковими поверхнями спряжених коліс є круглі конуси. У звичайних передач міжосьовий кут утворюється як сума кутів ділительних конусів спряженої пари, тобто  $\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$ .

Передачі з пересіченими осями поділяють на конічні і змішано-конічні. Змішано-конічними передачами називають ті, у яких одне колесо циліндричне, а інше конічне. Такі передачі не виправдовують витрат на їх виготовлення і мають низьку несучу здатність.

Конічні колеса з прямими зубами прості в розрахунках, виготовленні та складанні. Конічні колеса з зовнішніми зубами мають гострий кут між віссю колеса і твірною ділительного конуса, з внутрішніми зубами – тупий, у плоских коліс – прямий кут.

Конічні колеса з косими (тангенціальними) зубами мають прямі зуби, дотичні до кола, кут нахилу зуба не перевищує  $30^\circ$ . Косозубі конічні колеса складні у виготовленні і не отримали широкого поширення.

Конічні колеса з нульовим кутом нахилу мають кругові зуби з кутом нахилу зуба в середині вінця, рівним нулю, вони так само, як і прямозубі конічні колеса досить прості в виготовленні і складанні.

Конічні зубчасті колеса з криволінійними зубами мають кут нахилу лінії зуба в середині зубчастого вінця нерівний нулю. Такі передачі мають перевагу в тому, що вони більш безшумні і мають більш високі показники в швидкісних передачах.

Передачі при перехресних осях поділяють на гіпоїдні, черв'ячні, гвинтові і спіроїдні. Найчастіше використовують ортогональні передачі. Загальним недоліком таких передач є низький ККД і поздовжнє ковзання зубів. Гіпоїдні колеса – це колеса з криволінійними зубами, причому вісь ведучої шестерні

обов'язково зміщена (вище або нижче) відносно осі веденого колеса.

Черв'ячними передачами називають передачі, які застосовуються для обертання валів, розташованих під прямим кутом. Швидкості ковзання у черв'ячних передачах більші, ніж в інших зубчастих передачах.

Спіроїдні передачі належать до передач, осі валів яких перехрещуються під прямим кутом. Як і гіпоїдні, спіроїдні передачі мають зміщення, але тільки менше. На відміну від черв'ячної, у спіроїдної передачі черв'як має конічну форму. Спіроїдні передачі менш чутливі до неточностей монтажу. Їм притаманні ті ж недоліки, що і всім передачам з перехресними осями.

Таким чином, для визначення виду зубчастої передачі найважливішими вихідними даними є розташування осей і форма зубів колеса.

Спрощено зубчата передача являє собою зубчасте колесо і шестерню, черв'ячне колесо і черв'як або зубчасте колесо і рейку, що знаходяться в зачепленні.

Колесом називають елемент зубчастої передачі з більшим числом зубів, а шестернею – з меншим числом зубів. У зачепленні одне колесо є ведучим, друге – веденим. Ведучим називають зубчасте колесо, що передає обертання, а веденим колесом – що приводиться в обертання.

Розрізняють зубчасті передачі зовнішнього і внутрішнього зчеплення. Зубчасті циліндричні передачі зовнішнього зачеплення мають спряжені колесо і шестерню зовнішнього зачеплення, що обертаються в протилежних напрямках. Зубчасті передачі внутрішнього зачеплення мають одне колесо внутрішнього зачеплення і одну шестерню зовнішнього зачеплення, що обертаються в одному напрямку (рис. 1.5).

За конструкцією зубчасті передачі поділяють на відкриті і закриті, тобто незахищені і захищені корпусом.

За призначенням зубчасті передачі поділяють на допоміжні, кінематичні, важко навантажені і швидкісні. Допоміжні передачі не вимагають високих якісних показників, так як передають малі крутні моменти. Кінематичні передачі забезпечують узгодженість переміщень в кінематичному ланцюгу.

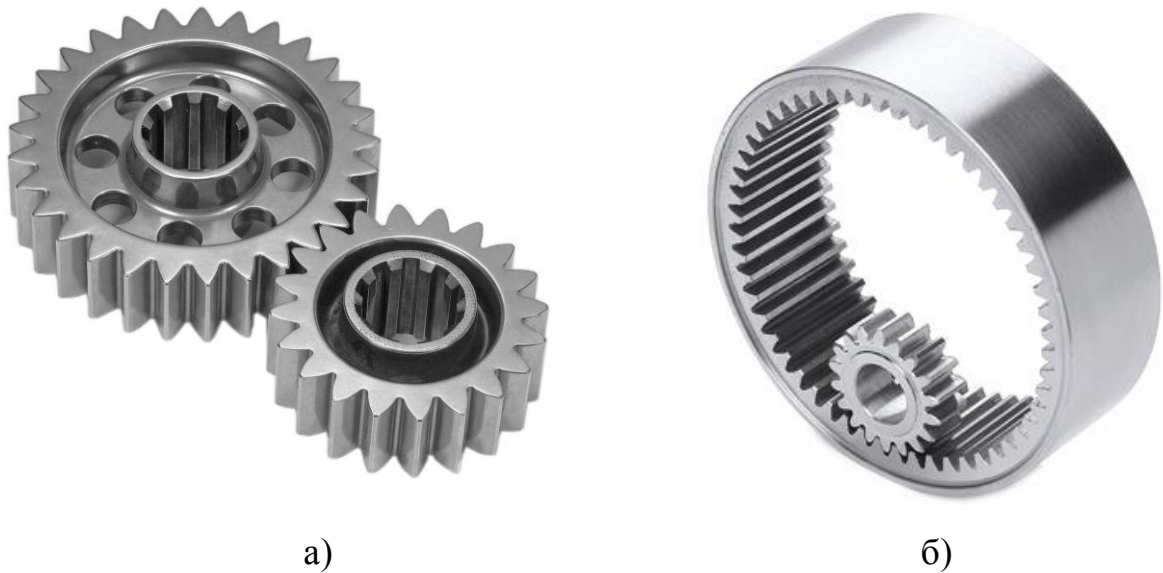


Рисунок 1.5 – Циліндричні зубчасті передачі:

*a* – зубчаста передача з зовнішнім зачепленням; *б* – зубчаста передача з внутрішнім зачепленням

Важко навантажені передачі працюють при незначній частоті обертання коліс, в той же час передають значні крутні моменти, а на зуби діють великі питомі навантаження. Для таких передач (наприклад редукторів) важливо забезпечити мінімальну деформацію зубів, виключити поломку і викришування поверхневого шару зубів. Відповідно ці передачі умовно можна класифікувати як дуже тихохідні (з коловою швидкістю до 0,5 м/с і тихохідні, колова швидкість яких коливається в межах 0,5 - 3 м/с).

Швидкісні передачі в основному призначені для передачі крутного моменту. Швидкісні передачі можна умовно розділити на середньошвидкісні ( $V = 3 - 15$  м/с), швидкісні ( $V = 15 - 40$  м/с) і високошвидкісні ( $V = 40 - 100$  м/с і більше). Вимоги до рівня шуму, а отже, і до якості виготовлення у таких коліс підвищені.

Зубчасті колеса класифікують за такими ознаками.

1. За профілем зуба:

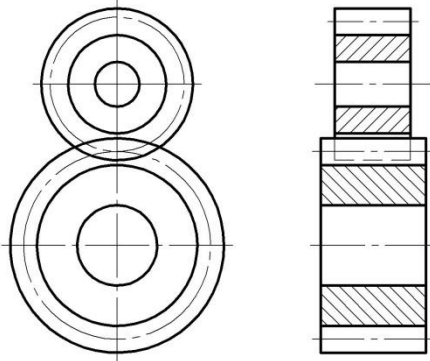
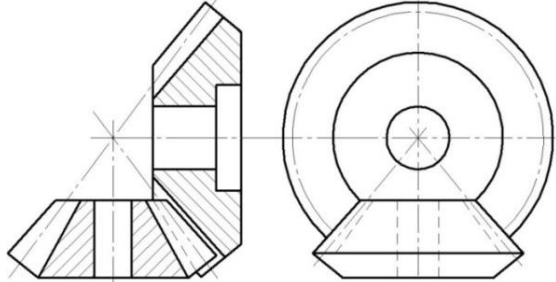
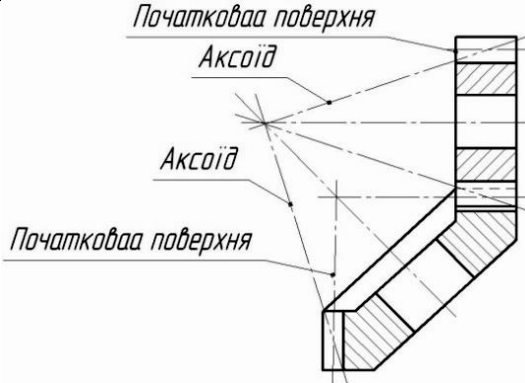
- прямобічний зуб;
- евольвентний зуб;
- зуби, утворені сферичними поверхнями (зачеплення Новікова).

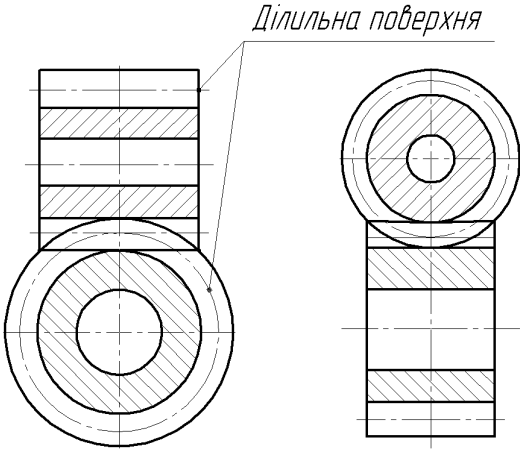
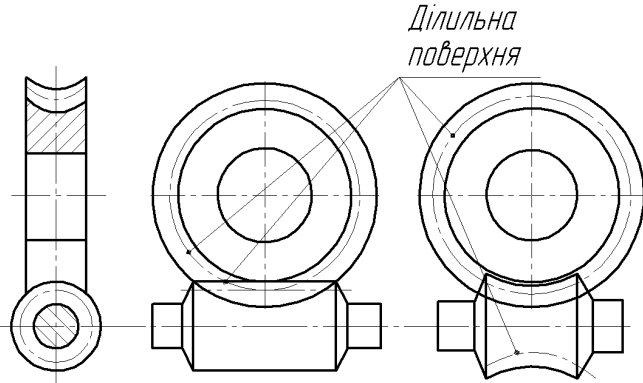
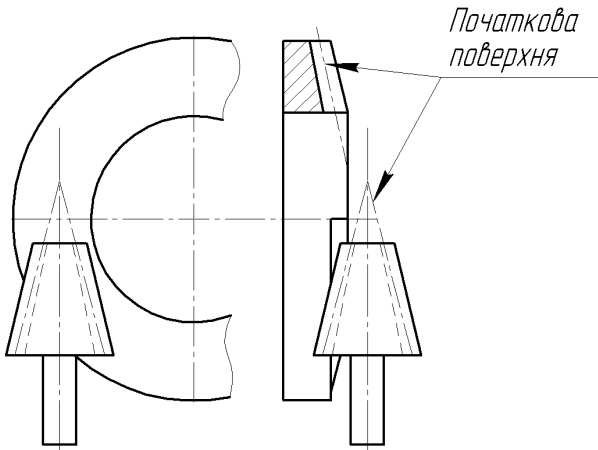
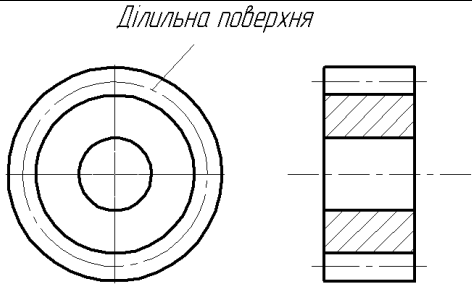
2. За конструкцією:

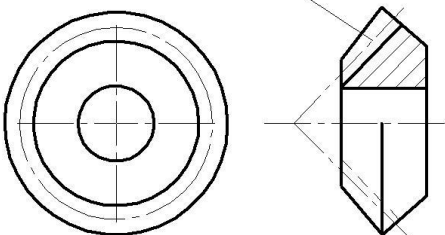
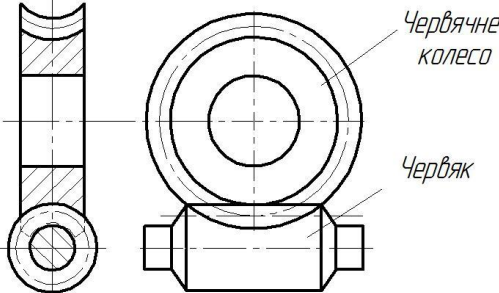
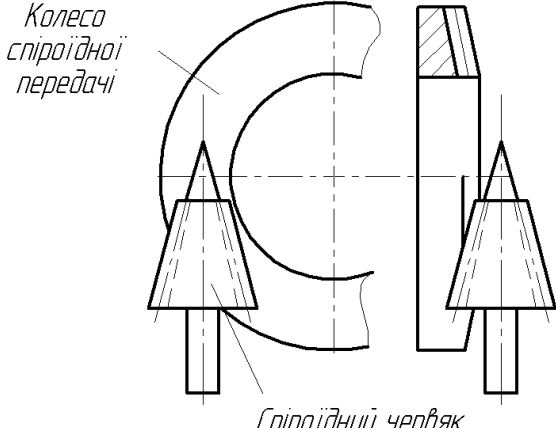
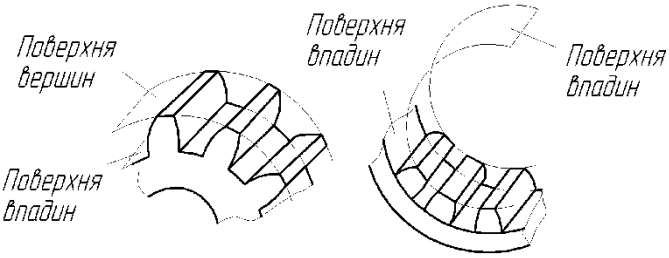
- циліндричні зубчаті колеса;
- конічні зубчаті колеса з прямими, похилими і круговими зубами;
- колеса черв'ячні;
- колеса шевронні;
- колеса зачеплення Новікова;
- колеса-блоки;
- колеса з внутрішнім зубом.

Види зубчатих коліс і передач описані в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Види зубчастих передач і коліс

Терміни і визначення	Ескіз
<b>Зубчасті передачі з паралельними осями</b>	
<p>Циліндрична зубчаста передача – зубчаста передача з паралельними осями, у зубчастих коліс якої аксоїдні, початкові і ділильні поверхні – циліндричні.</p>	
<b>Зубчасті передачі з осями, які перетинаються</b>	
<p>Конічна зубчаста передача – зубчаста передача з осями, які перетинаються, у зубчастих коліс якої аксоїдні, початкові і ділильні поверхні – конічні.</p>	
<p>Змішана конічна передача – зубчаста передача з осями, які перетинаються, аксоїди зубчастих коліс якої конічні, початкові поверхні (циліндрична і конічна) є однотипними поверхнями.</p>	

Терміни і визначення	Ескіз
<b>Зубчасті передачі з перехресними осями</b>	
<p>Гвинтова зубчаста передача – гіперболоїдна зубчаста передача першого роду, в якій початкові і ділильні поверхні циліндричні, а спряжені поверхні зубів утворені в зачепленні спільною для них твірною поверхнею.</p>	
<p>Черв'ячна передача – гіперболоїдна передача другого роду, в якій початкові і ділильні поверхні зубчастих коліс відмінні від конічних, шестерня має гвинтові зуби, а зубчасті колеса мають спряжені поверхні зубів з лінійним контактом, якщо утворююча поверхня для одного з них співпадає з головною поверхнею зубів парного зубчастого колеса.</p>	
<p>Спіроїдна передача – гіперболоїдна зубчаста передача, в якій початкові поверхні зубчастих коліс – конічні, шестерня має гвинтові зуби, а зубчасті колеса мають спряжені поверхні зубів з лінійним контактом, якщо твірна поверхня для одного з них співпадає з головною поверхнею зубів парного зубчастого колеса.</p>	
<b>Види зубчастих коліс</b>	
<p>Циліндричне зубчасте колесо – зубчасте колесо з циліндричною ділильною поверхнею.</p>	

Терміни і визначення	Ескіз
Конічне зубчасте колесо – зубчасте колесо з конічною ділильною поверхнею.	
Черв'як – шестерня черв'ячної передачі. Черв'ячне колесо – колесо черв'ячної передачі.	
Спіроїдний черв'як – шестерня спіральної передачі. Спіроїдне колесо – колесо спіроїдної передачі	
Зубчасте колесо з зовнішніми (внутрішніми) зубами – зубчасте колесо, поверхня вершин зубів якого знаходяться зовні (всередині) поверхні впадин	

## 2. Вимоги до точності зубчастих коліс

Точність зубчастих коліс, розміри і модуль зубчастих коліс істотно впливають на технологічний процес оброблення, рівень шуму в передачі, плавність і довговічність її роботи. До основних показників точності зубчастих коліс можна віднести такі.

У відповідності до ГОСТ 1643-81 встановлено дванадцять ступенів точності зубчатих коліс і передач, які позначаються в порядку спадання точності цифрами 1, 2, 3.4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 і 12. Для ступенів точності 1 і 2 допуски і граничні відхилення не наводяться, так як ці ступені передбачені для подальшого розвитку. Застосування зубчастих передач в машинах залежно від ступеня точності наведені в табл. 2.1.

Для кожного ступеня точності зубчастих коліс і передач встановлюються норми кінематичної точності, плавності роботи і контакту зубів зубчатих коліс в передачі.

Допускається комбінування норм кінематичної точності, норм плавності роботи і норм контакту зубів зубчатих коліс і передач різних ступенів точності.

Таблиця 2.1 – Застосування зубчастих передач у машинах в залежності від ступеня точності

Ступінь точності	Машина, механізми
6	Металорізальні верстати підвищеної точності, відлікові та вимірювальні пристрої
6-8	Металорізальні верстати нормальної точності
7-9	Редуктори загального призначення
8-10	Кранові механізми
9-10	Піднімальні лебідки
9-11	Транспортуючі машини

При комбінуванні норм різних ступенів точності норми плавності роботи коліс і передач можуть бути не більш ніж на два ступені точніші або на одну ступінь грубіші норм кінематичної точності. Норми контакту зубів можуть призначатися за будь якими ступенями, більш точними, ніж норми плавності роботи зубчастих коліс і передач, а також на одну ступінь грубіше норми плавності.

Встановлюються шість видів спряжень зубчастих коліс в передачі *A, B, C, D, E, H* і вісім видів допуску  $T_{jn}$  на бічний зазор *x, y, z, a, b, c, d, h* (позначення приведені в послідовності спадання величини бічного зазору і допуску на нього).



Кінематична точність характеризується похибкою кута повороту колеса за один оберт шестерні і пов'язана з накопиченою похибкою кроку. Показник кінематичної точності є важливим параметром для механізмів, де потрібна точність передавального відношення.

Плавність роботи характеризується коливаннями швидкості обертання колеса при рівномірному обертанні шестерні в межах одного оберту. Цей показник пов'язаний з помилками кроку і профілю зубів. Він впливає на динамічні навантаження і шум при роботі передачі.

Пляма контакту зубів – розмір плями впливає на величину контактних напружень на бічній поверхні зубів та довговічність роботи передачі.

Бічний зазор характеризується вільним обертанням коліс без заклинювання зубів. Цей параметр важливий для реверсивних передач, а також для передач, що працюють при високій температурі.

Незалежно від ступеня точності стандартом встановлені норми точності на бічний зазор різних видів спряжень, які позначаються у порядку збільшення: *H*, *E*, *D*, *C*, *B*, *A* (рис. 2.1).

Зазор в спряженні *H* мінімальний і дорівнює нулю. Спряження виду *B* забезпечує мінімальну величину бокового зазору, при якому виключається можливість заклинювання сталевोї чи чавунної зубчастої передачі від нагріву при різниці температур зубчастих коліс і корпуса в 25°C.

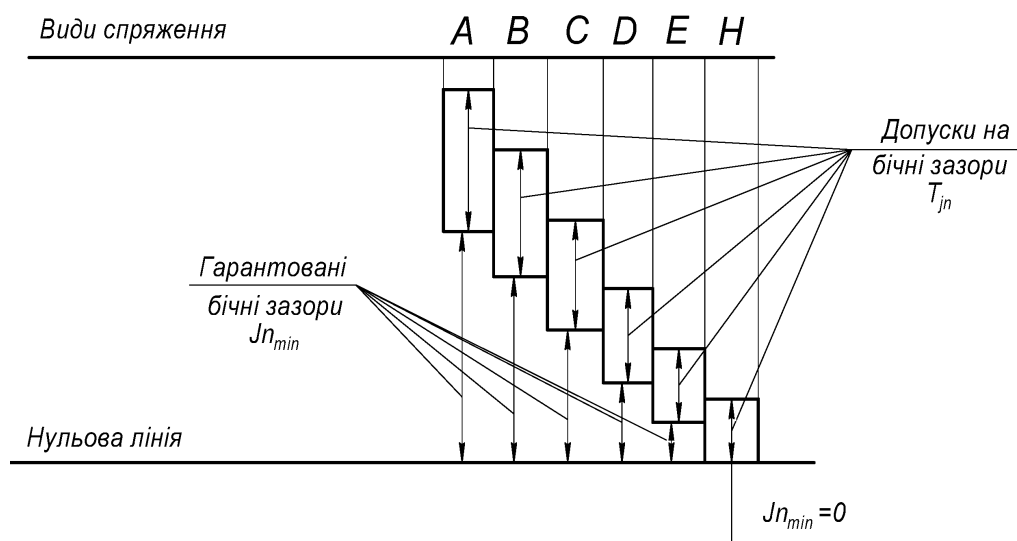


Рисунок 2.1 – Види спряжень та гарантовані бічні зазори

Точність зубчастих коліс в силових передачах вибирають в залежності від швидкості обертання, а точність зубчастих коліс в кінематичних передачах вибирають в залежності від призначення цих передач. Для точних зубчастих коліс нормується також торцеве і радіальне биття. Посадковий отвір виконується за 7-м квалітетом, а для прецизійних коліс за 5 - 6-м квалітетами.

### 3. Конструктивне оформлення зубчастих коліс

За конструкцією циліндричні зубчасті колеса поділяють на п'ять основних типів (рис. 3.1): I – одновінцеві колеса з досить великою довжиною посадкового отвору; II – багатовінцеві колеса; III – одновінцеві колеса типу дисків; IV – вінці, які виготовляються окремо і з'єднуються потім з маточиною; V – колеса-вали (вал-шестерні).

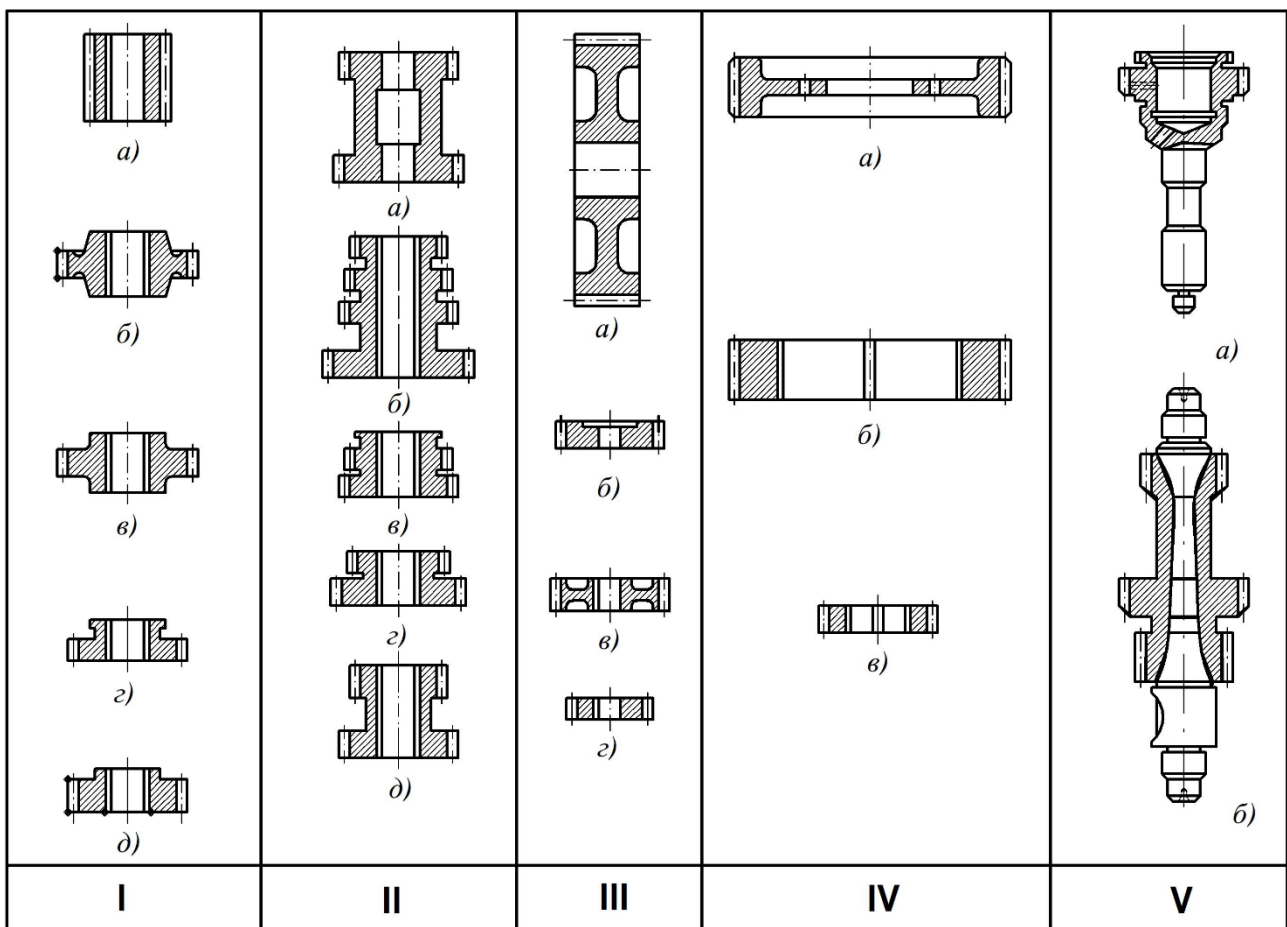


Рисунок 3.1 – Типові конструкції циліндричних зубчастих коліс

Колеса вказаних типів бувають прямозубі і косозубі. В деяких випадках, особливо при великих або середніх розмірах в редукторах, де вимагається передавати великі крутні моменти, застосовують шевронні зубчасті колеса із зустрічними косими зубами.

Службове призначення не лише впливає на належність колеса до того чи іншого типу, але в середині даного типу коліс конструкція приймає ті чи інші форми в залежності від призначення. Наприклад, якщо колесо закріплюється нерухомо на осі вала в певному положенні, то маточину виконують як простий виступ з обробленим торцем (рис. 3.1, тип I, а, б, в). Якщо ж потрібно мати колесо-каретку з переміщенням її по осі вала для вмикання з іншим колесом, то на маточині необхідно мати канавку длявилки перемикавання (рис. 3.1, тип I, г); крім того, зуб з торця повинен бути заокругленим, щоб забезпечити більш плавне входження зубів у впадини іншого колеса.

Розмірні групи коліс різних типів середніх розмірів, що найбільш часто зустрічаються в машинобудуванні, наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Типи і розмірні групи зубчастих коліс

Тип	Найменування типів	Різновиди (рис. 3.1)	Розмірні групи коліс в мм (за діаметром)			
I	Одновінцеві з маточиною, $l/d > 1$	а - д	25-50	50-200	200-300	–
II	Багатовінцеві з маточиною, $l/d > 1$ , без виточок в отворах	а - д	25-50	50-200	–	–
III	Одновінцеві без маточини типу дисків, $l/d < 1$					
	середнього діаметру	а - в,	25-50	50-200	200-300	–
	великого діаметру	г	–	–	–	300-500 і більше
IV	Вінці:					
	гладкі без виїмок, $l/d < 1$ ;	а - б,	–	50-200	200-300	300-500
	з виїмками, $l/d < 1$	в	50-200	200-300	300-500	500-1000

Тип	Найменування типів	Різновиди (рис. 3.1)	Розмірні групи коліс в мм (за діаметром)			
V	Вали-зубчасті колеса:					
	без отвору	а	150-300	300-500	Більше	–
	з отвором в торці	б	150-300	300-500	500	–

#### 4. Матеріали і термічне оброблення зубчастих коліс

Зубчасті колеса виготовляють з конструкційних сталей, сірого чавуну, бронзи і пластмас. Основними матеріалами для зубчастих коліс є вуглецеві і леговані сталі, які термічно зміцнюються до високої твердості, марок 45, 20Х, 40Х, 40ХН, 35ХМ та ін.

В автотракторобудуванні зубчасті колеса виготовляють з хромомарганцевих сталей 18ХГТ, 30ХГТ, хромомолібденової сталі 30ХМ. Сталь 18ХГТ завдяки наявності титану має підвищену прогартовуваність, міцність і меншу чутливістю до перегріву. Ця сталь відрізняється високим опором до зминання. Сталь 30ХГТ містить дещо більше вуглецю, чим сталь 18ХГТ, і широко застосовується для сильно навантажених зубчастих коліс з модулем понад 5 мм. Вона в термічно обробленому стані має високі показники міцності серцевини в січенні зубів.

Зубчасті колеса металорізальних верстатів виготовляють з вуглецевих сталей 45 і 50, а також з легованих хромистих сталей 40Х. Для виготовлення зубчастих коліс набуває поширення низьколегована з вмістом бору сталь 20ХГР, 25ХГР. Введення невеликих кількостей бору (0,002-0,005%) значно збільшує прогартовуваність, характеристики міцності і в'язкість. Після гартування і низького відпуску твердість сталі становить 36-40 HRC.

Для виготовлення черв'яків, як матеріал використовують низьковуглецеві леговані сталі 15Х, 15ХА, 20Х, 20ХНВА, 20ХВ, а також якісні вуглецеві і леговані сталі 40, 45, 40Х, 40ХН.

Глободні черв'яки виготовляють із сталей 33ХГН, 35ХМА. Черв'яки для швидкохідних і високонавантажених передач піддають гартуванню до твердості

48-57 HRC. Для менш відповідальних передач забезпечують твердість 270 HB.

Зубчасті колеса, виготовлені з синтетичних матеріалів (текстоліту, нейлону, капрону і ін.), можуть працювати при високих швидкостях (до 40 - 50 м/с), забезпечують безшумність, плавність передачі і гасіння вібрації.

Термічне оброблення зубчастих коліс застосовується для підвищення твердості зубів. З підвищенням твердості зростає несуча здатність передач по контактній міцності. Тому загартування використовують для підвищення твердості зубів в силових передачах. В кінематичних передачах, призначених для точної передачі обертового руху між валами при невеликих значеннях крутного моменту, зубчасті колеса загартуванню не піддаються. До основних видів зміцнюючого термічного оброблення зубчастих коліс відносять такі.

Об'ємне загартування є найбільш простим способом термооброблення коліс. До його недоліків варто віднести високе прогартування матеріалу, що зменшує втомну міцність матеріалу при згині зубів.

Поверхневим загартуванням забезпечується висока твердість поверхні зубів при в'язкій серцевині. Нагрівання коліс при поверхневому загартуванні проводиться в індукторах струмами високої частоти (СВЧ).

Хіміко-термічне оброблення (ХТО) полягає в насиченні поверхні металу різними хімічними елементами. В даний час застосовуються такі види ХТО.

Цементация – насичення сталі вуглецем з наступним загартуванням, забезпечує високу твердість поверхні зубів при в'язкій серцевині. Для цементации застосовуються леговані сталі з низьким вмістом вуглецю: 20Х, 12ХН3А, 20ХНМ, 15ХФ та ін.

Азотування – насичення сталі азотом забезпечує високу твердість поверхні зубів без подальшого гартування. Для азотування використовують сталі 38Х2МЮА, 40ХФА, 40ХНА та ін. Зуби після азотування не шліфують. У зв'язку з цим азотування застосовують для зміцнення коліс зубчастих передач з внутрішнім зачепленням. Недоліком азотування є тривалість процесу (до 60 год.) і мала товщина зміцнюючого шару (до 0,5 мм).

Нітроцементация – насичення сталі вуглецем і азотом з подальшим

гартуванням, протікає при більш високих швидкостях дифузії (до 0,1 мм/год.). Для даного виду ХТО використовують сталі 40Х, 18ХГТ і ін. Для коліс великого діаметра, які отримують методом литва, застосовують ливарні сталі марок 35Л – 55Л, 40ХЛ, 30ХГСЛ та ін. Литі колеса піддають нормалізації.

Чавуни застосовують для виготовлення зубчастих коліс відкритих тихохідних передач. Чавуни проявляють добру стійкість до заїдання, тому чавунні зубчасті колеса можуть працювати без мастила. Для виготовлення чавунних коліс використовують сірі чавуни марок СЧ 25-СЧ 45, а також високоміцні чавуни з кулястим графітом.

## **5. Методи отримання заготовок**

В дрібносерійному виробництві заготовки для зубчастих коліс виготовляють з прокату або вільним куванням. У крупносерійному і масовому виробництві – штампуванням на молотах, пресах і горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) (табл. 5.1). Метал перед куванням і штампуванням нагрівають до температури 1200-1300°С.

Заготовки з прокату отримують відрізанням їх від прутка на заданий розмір.

Вільне кування здійснюють на молотах або пресах між плоско-паралельними плитами. Цим методом можна отримувати заготовки діаметром понад 250 мм. Однак форма заготовки виходить лише наближеною до профілю зубчастого колеса. Для зниження трудомісткості при механічному обробленні у великих заготовках прошивають посадочний отвір. При механічному обробленні заготовок, отриманих з прокату та вільним куванням, коефіцієнт розходу металу є найвищим в порівнянні з штапованими заготовками.

Штампування на пресах або молотах заготовок для зубчастих коліс проводять в підкладних або закріплених штампах. Заготовку в підкладних штампах деформують з торця (рис. 5.1, а). Закріплені штампи можуть бути

закритими або відкритими (рис. 5.1, б, в). У відкритих штампах в площині роз'єму утворюється заусенець-облой, який видаляють потім в обрізних штампах в холодному або гарячому стані. У закритих штампах утворюється торцевий облой, який видаляють обточуванням. Штампування в закріплених штампах виконують з торця, коли роз'єм штампа перпендикулярний осі заготовки, або з роз'ємом штампа вздовж осі заготовки (рис. 5.2, а, б).

Штампуванням (висадкою) на горизонтально-кувальних машинах отримують заготовки з прутків для блоків зубчастих коліс або валів-шестерень, тобто коли заготовки мають ділянки з великим перепадом по діаметру (рис. 5.3).

Схема роботи ГKM показана на рис. 5.4. Матриця ГKM має роз'єм. Одна частина матриці рухома, інша нерухома. Пуансон при висадці переміщається в горизонтальному напрямку.

Штампування проводиться в такій послідовності:

I – пруток закладається в роз'ємну матрицю до упору;

II – упор відводиться, пруток затискається в матриці і деформується пуансоном;

III – процес деформації закінчується,

IV – рухома частина матриці і пуансон відводяться у вихідне положення, поковка виймається з штампа.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані типи заготовок сталевих зубчастих коліс і черв'яків

Тип зубчастого колеса або черв'яка	Тип виробництва		
	Масове і крупносерійне	Серійне	Одиничне
Циліндричні і конічні колеса-вали; черв'яки-вали	Штамповані	Штамповані, поковки, з прутка	Поковки, з прутка
Циліндричні і конічні насадні колеса; насадні черв'яки		Штамповані, поковки, з прутка	Поковки, з прутка
Циліндричні і конічні насадні колеса з виточками і маточиною		Штамповані, поковки	Поковки, з прутка
Циліндричні і плоскі колеса		Штамповані, поковки, з прутка	Поковки, з прутка
Циліндричні і конічні вінцеві колеса		Штамповані, поковки	Поковки
Бандажі циліндричних коліс		Штамповані, поковки	Поковки

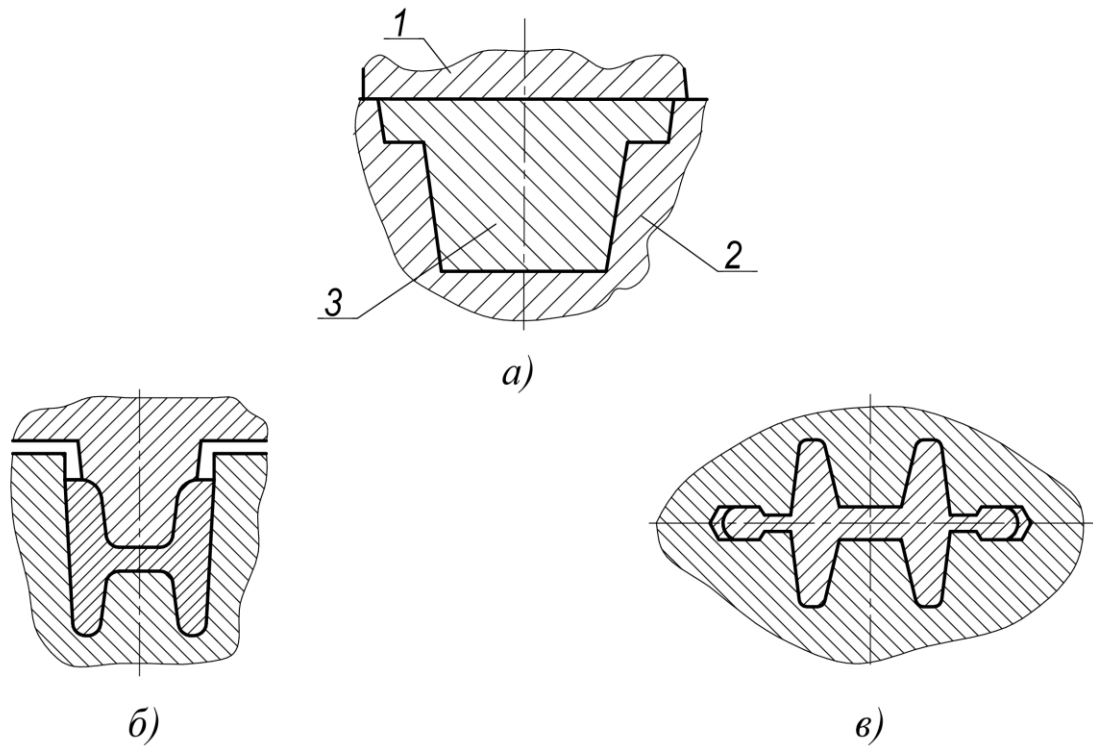


Рисунок 5.1 – Схеми штампування:

*a* – в підкладних штампах; *б* – в закритих штампах; *в* – у відкритих штампах;  
 1 – пуансон (рухома частина штампа); 2 – матриця (нерухома частина штампа);  
 3 – штамповка

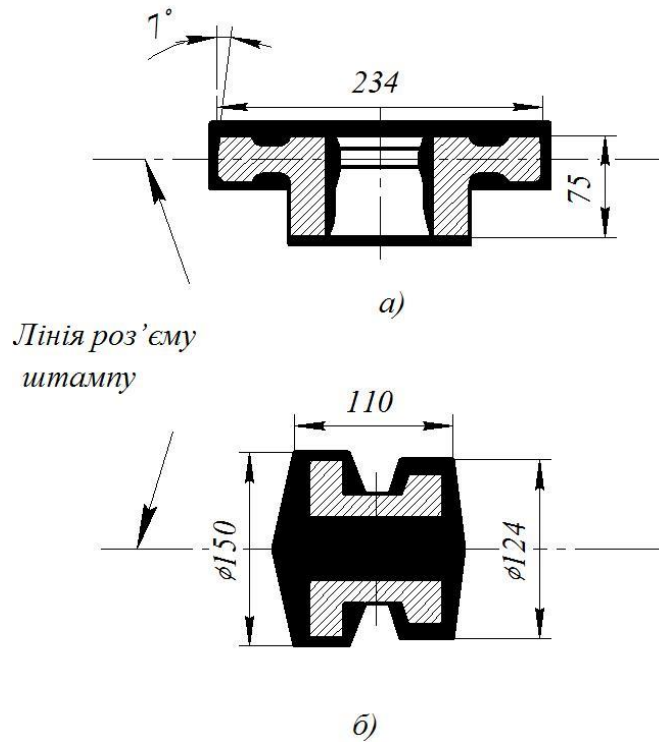


Рисунок 5.2 – Штамповані заготовки для зубчастих коліс:

*a* – в торець, *б* – вздовж осі



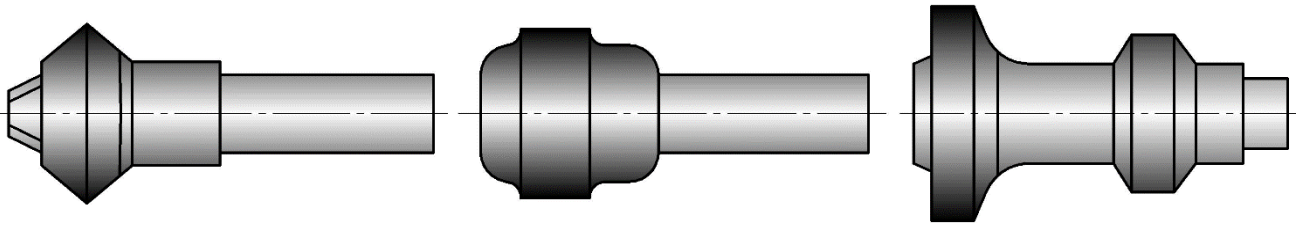


Рисунок 5.3 – Заготовки для зубчастих коліс, отримані на ГKM

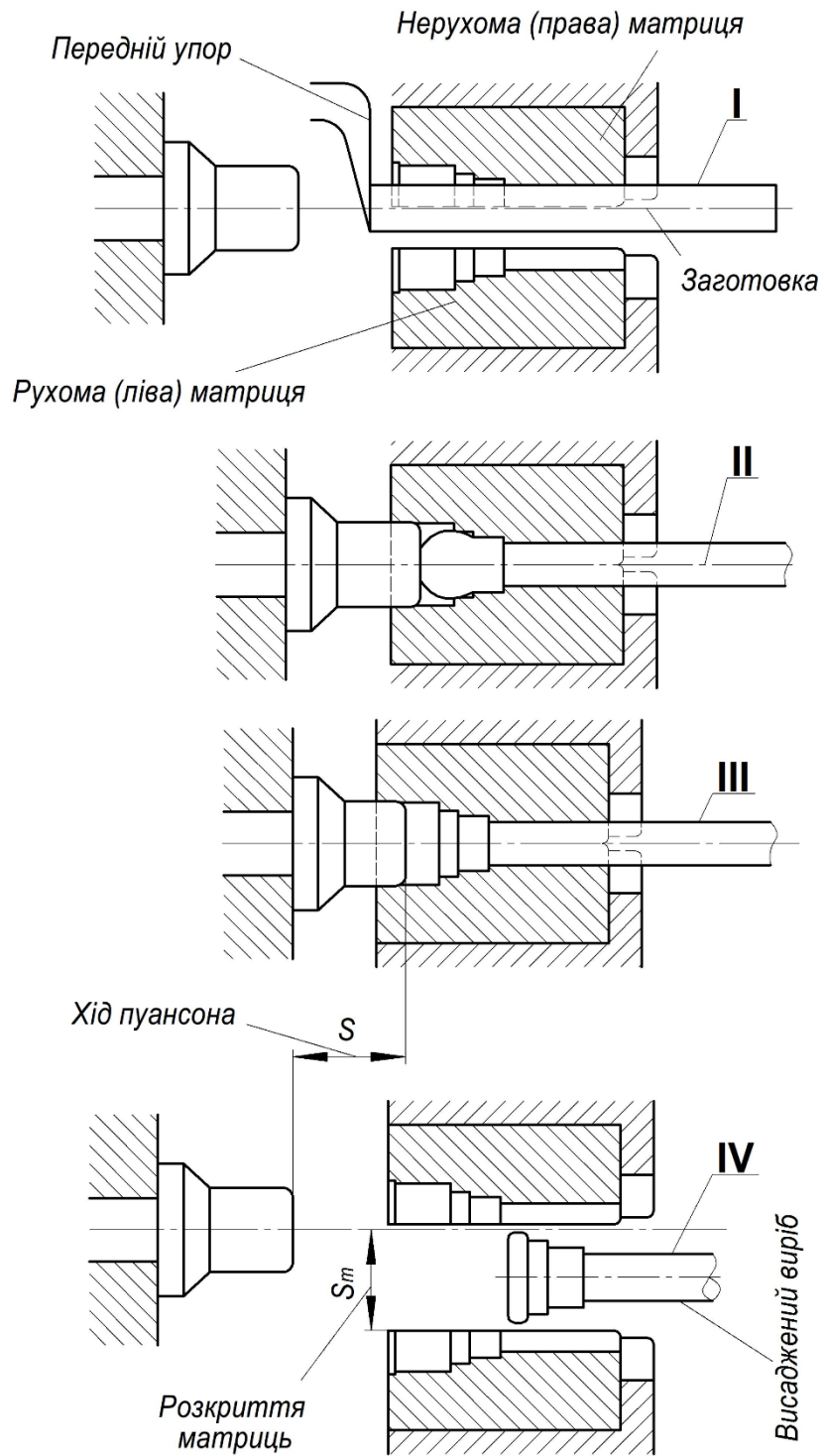


Рисунок 5.4 – Схема роботи горизонтально-кувальної машини (ГKM)

## 6. Базування заготовок зубчастих коліс при обробленні

Завданням базування заготовок зубчастих коліс є забезпечення співвісності ділильного кола колеса і посадкових поверхонь (центрального отвору колеса або шийок вала-шестерні). Від цього залежать такі параметри точності зубчастих коліс та зубчастої передачі, як коливання міжосьової відстані, бічний зазор і радіальне биття зубчастого вінця.

Базовими поверхнями заготовок зубчастих коліс на більшості операцій при механічному обробленні (токарних, зубонарізних, зубовикінчувальних) є торцеві поверхні і посадковий (центральный) отвір, який може бути гладким з пазом під шпонку, шліцевим або з профільним контуром (рис. 6.1). Ці поверхні обробляються точно і в першу чергу.

Втомна міцність валів з профільним контуром в п'ять разів вища міцності шліцевих і шпонкових з'єднань за рахунок зниження концентрації напружень, в той час як витрати на виготовлення зменшуються в два рази.

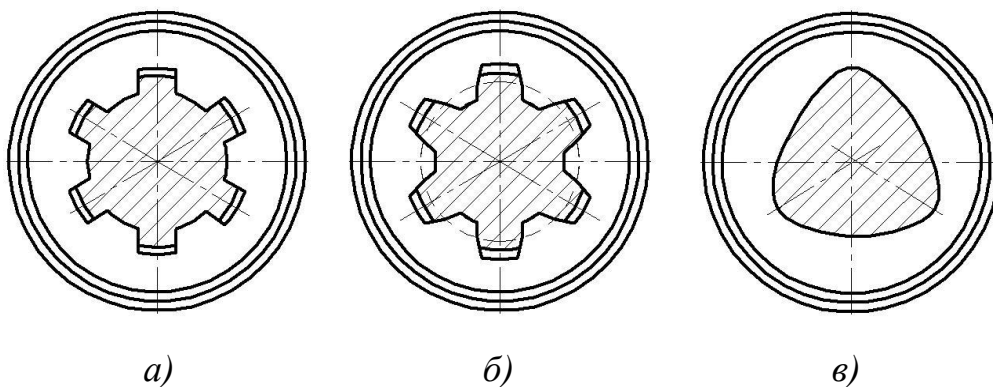


Рисунок 6.1 – Форми центрального отвору:

*a* – шліцева прямобічна; *б* – шліцева евольвентна; *в* – профільна

Хвилястість і похибка форми технологічної бази може викликати похибку розміру, який необхідно досягнути при виготовленні. При обробленні циліндрових поверхонь або одночасному обробленні декількох поверхонь в одній наладці, похибка базування може не впливати на точність виконуваного розміру. У інших випадках похибка базування впливає на точність розміру і

точність взаємного розташування поверхонь і не впливає на точність форми виконуваного розміру.

При виборі технологічних баз необхідно керуватися такими вимогами.

1. Дотримуватись принципу єдності баз – суміщати технологічну, вимірювальну і конструкторську бази. В цьому випадку похибка базування дорівнює похибці форми технологічної бази.

2. Виконувати правило постійності баз, тобто на протязі всьому технологічного процесу використовувати в ролі баз одні і ті ж поверхні.

3. Необхідно враховувати похибку кута взаємного положення вимірювальної і технологічної баз.

4. Базові поверхні слід наближати до зубчастого вінця тому, що при механічному обробленні виникають пружні деформації.

5. Чорнову базову поверхню слід використовувати один раз на першій установці (для високоточних заготовок ця вимога не обов'язкова).

При обробленні в центрах похибка базування дорівнює зміщенню осі центрових гнізд відносно осі заготовки. Достатньо точно похибку базування від похибки центрування можна визначити за формулою:

$$\Delta_{\delta c} = 0,25T_D,$$

де  $T_D$  – допуск на діаметральний розмір заготовки.

Таким чином, похибка базування при обробленні в центрах задається похибкою зацентрування. У точно оброблених оправок похибкою зацентрування, через незначну її величину, можна нехтувати. Похибкою закріплення в центрах, через незначну її величину, теж можна нехтувати.

При встановленні заготовок на оправку з зазором похибку базування визначають за формулою:

$$\Delta_{\delta} = S_{min} + T_O + T_B,$$

де  $S_{min}$  – мінімальний зазор;

$T_O$  – допуск на розмір отвору;

$T_B$  – допуск на розмір оправки (вала).

В циліндричних зубчастих колесах-дисках в якості основних баз приймають отвір і торець. Тому опорний торець повинен бути виконаний строго перпендикулярно до базового отвору.

Значення базового отвору зростає з його довжиною і зменшується з її зменшенням, відповідно зменшується або зростає роль торця як бази. Однак, чим більша ширина колеса, чим більша довжина отвору, тим менший вплив торця при базуванні і відповідно більшим може бути допуск на величину його биття відносно осі отвору, і навпаки.

При обробленні зубів циліндричних зубчастих коліс в якості технологічних баз слід використовувати конструкторські бази. Технологічними і конструкторськими базами насадних зубчастих коліс є отвір і торець (рис. 6.2).

Залежно від форми заготовки застосовують такі види базування (рис. 6.3). Колеса-вали з модулем до 4-5 мм при зубообробленні базують по центрових отворах, з модулем більшим 4-5мм – по шийці вала і центральному отвору.

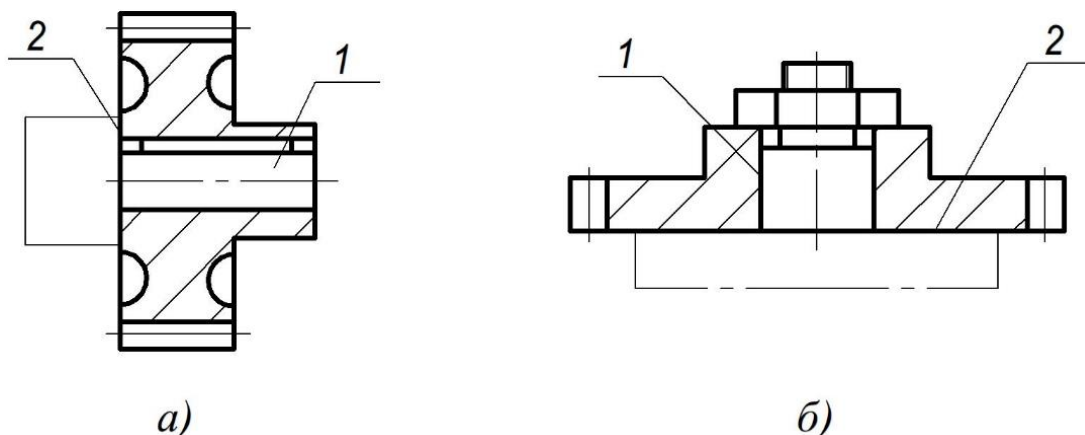


Рисунок 6.2 – Схема основних конструкторських (а) і технологічних (б) баз зубчастих коліс: 1 – базовий отвір колеса; 2 – базовий торець колеса

Крутний момент, передається заготовці колеса, що обробляється, через шийку вала (рис. 6.3, а), або за допомогою гострих пальців, які вминаються в торець заготовки (рис. 6.3, б).

В зубчастих колесах-дисках як базові поверхні застосовують отвір і торці зубчастого вінця (рис. 6.3, в, г). Зубчасті колеса класу «втулка» мають

центрального отвіру, концентричний до зовнішньої циліндричної, конічної або глобоїдної поверхні. В одних випадках центральний отвір є конструкторською базою колеса, в інших – технологічною.

В зубчастих колесах класу «вал» базою в більшості випадків є центрові отвори. Оброблення таких деталей починається з фрезерування торців і свердління центрових отворів.

При малій жорсткості деталі або при її великій довжині за базу для зубонарізування приймають конструкторську базу у вигляді циліндричної шийки під підшипники, або спеціально створену для базування шийку.

Зубчасті колеса слід встановлювати на оправці без зазору, щоб виключити похибку базування. Похибка пристосування виникає в результаті неточності його виготовлення та встановлення на верстаті, дій сил затиску і різання.

Зубчасті колеса з маточиною і шліцевим отвором можуть базуватися (на операціях зубооброблення) по маточині і торцю.

При базуванні по чисто обробленому зубчастому вінцю або отвору вплив радіального биття зубчастого колеса значно знижується. Робочі поверхні зубів є хорошою базою для оброблення зубчастих коліс, але в базуванні повинно брати участь якомога більше впадин між зубами.

При встановленні заготовки в пристосуванні необхідно забезпечувати мінімальний та рівномірний зазор між базовими поверхнями зубчастого колеса і пристосування, але не за рахунок жорстких допусків на отвір, а за рахунок беззазорного встановлення заготовок у пристосуванні.

Вплив похибки баз на досягнення показників точності зубчастих коліс, які обробляються, наведена в табл. 6.1.

Часто при обробленні зубчастих коліс потрібна багатократна зміна баз. Для коліс, в яких довжина базового отвору більша від діаметра, отвір є подвійною напрямною базою, а торець – опорною. Базовий отвір вінцевих зубчастих коліс завжди є подвійною опорною базою, а торець – установочною. Для вала-шестерні подвійна напрямна і опорна бази реалізовані у вигляді центрових отворів.

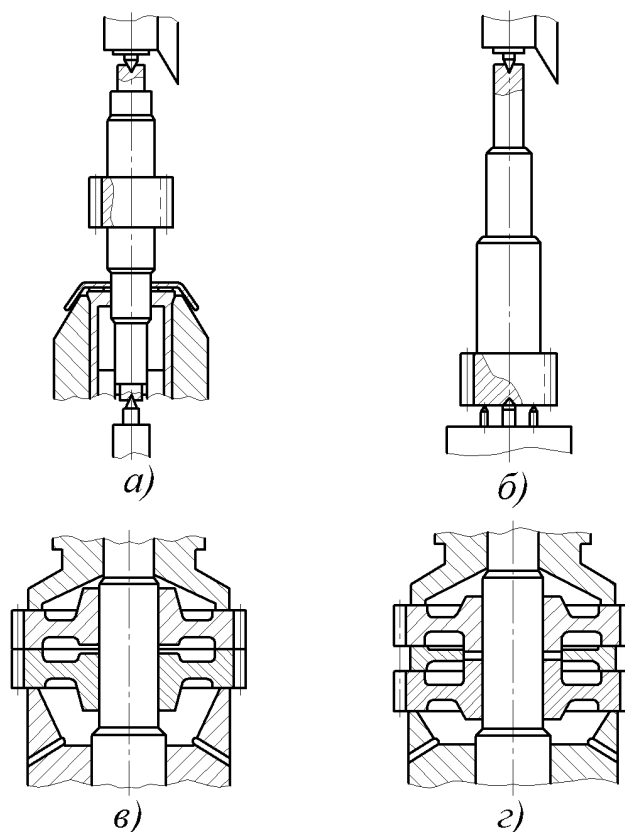


Рисунок 6.3 – Види базування заготовок зубчастих коліс

Таблиця 6.1 – Вплив похибки баз на досягнення показників точності зубчастих коліс, які обробляються

Параметри точності зубів	Частка впливу похибки баз, %
Похибка профілю зуба	1 - 4
Накопичена похибка кроку	26 - 29
Коливання міжосьової відстані за оберт колеса	40 - 60
Похибка напрямку зуба	25 - 75

Похибка базування може виникнути при неспівпаданні осі отвору і вінця колеса. Ексцентриситет і перекіс осі базового отвору відносно осі обертання колеса на верстаті через зазори в оправці або биття торця і оправки також можуть призвести до невизначеності базування.

Для забезпечення заданої точності готових зубчастих коліс у заготовках нормуються такі параметри:

- а) в насадних зубчастих коліс – розміри і форма отвору (у валів-шестерень – опорні шийки вала);
- б) зовнішній діаметр заготовки;

- в) радіальне биття зовнішньої поверхні заготовок;
- г) торцеве биття базового торця заготовки.

## **7. Технологічні завдання**

До основних технологічних завдань, які необхідно вирішити в процесі виготовлення зубчастих коліс можна віднести такі: забезпечення точності розмірів, точності взаємного розташування та твердості робочих поверхонь.

### **7.1 Точність розмірів**

Найточнішим елементом зубчастого колеса є отвір, який виконується зазвичай за 6-8-м квалітетом (якщо немає особливих вимог) та шорсткістю поверхні  $Ra$  1,25-0,32 мкм.

### **7.2. Точність взаємного розташування**

Неспіввісність початкового кола зубчастого колеса відносно посадкових поверхонь допускається не більше 0,05-0,1 мм. Отримання паза шпонки, паралельного осі отвору. Досягнення концентричності отвору і ділильного кола; концентричності отвору і кола виступів (радіальне биття по ділильному колу 0,03-0,04 мм).

Неперпендикулярність торців до осі отвору або вала (биття торців) зазвичай приймається не більше 0,01-0,015 мм на 100 мм діаметра. Залежно від умов роботи колеса ця величина може бути збільшена або дещо зменшена.

Забезпечення норм точності поверхонь зубів (7-9-го ступеня точності за кінематикою, плавністю роботи і контактом зубів; забезпечення гарантованого бічного зазору).

### **7.3. Твердість робочих поверхонь**

В результаті термічного оброблення поверхнева твердість зубів цементованих зубчастих коліс повинна бути в межах 45-60 HRC при глибині шару цементації 1-2 мм. При ціануванні твердість 42-53 HRC, глибина шару повинна бути в межах 0,5-0,8 мм.

Твердість не загартовуваних поверхонь зазвичай знаходиться в межах 180-270 HB.

## **8. Структура технологічного процесу оброблення зубчастих коліс**

Технологічний процес виготовлення зубчастих коліс повинен забезпечувати одержання деталей, що відповідають умовам експлуатації і вимогам точності при найменших витратах.

Основними факторами, що впливають на структуру технологічного процесу є: конструкція і розміри зубчастого колеса; вид заготовки і її матеріал; вимоги до точності і якості виготовлення, термічне оброблення колеса; обсяг виробництва.

Типовий технологічний процес виготовлення зубчастих коліс-втулок включає виготовлення заготовок, токарне оброблення зовнішніх поверхонь і торців; оброблення центрального отвору, зубонарізання, термічне оброблення, викінчувальні та доводочні операції базових і зубчастих поверхонь.

Особливістю технологічного процесу виготовлення зубчастих коліс-валів є наявність в технологічному процесі операцій з оброблення зубів, а в іншому він такий самий, як і при виготовленні ступінчастих валів.

Кожен вид зубчастих коліс має свої технологічні особливості виготовлення. Разом з тим різні зубчасті колеса, що належать до того чи іншого класу, можуть мати технологічні процеси, які відрізняються за змістом і послідовністю виконання операцій в залежності від спеціалізації виробництва.

Так, наприклад, методи виготовлення зубчастих коліс в авіаційній



промисловості істотно відрізняються від методів, що застосовуються при виробництві зубчастих коліс аналогічних розмірів для вантажопідйомних машин. Технологія виробництва турбінних передач істотно відрізняється від технології виробництва таких самих за розмірами передач для прокатних станів і т.п. Таким чином, умови роботи і вимоги конструкції даного механізму істотно впливають на технологічний процес виготовлення зубчастого колеса.

В авіаційних передачах зубчасті колеса повинні при мінімальних габаритах і масі передавати великі крутні моменти, у той же час передача повинна мати особливу точність і надійність. Ці вимоги змушують авіаційні зубчасті колеса виготовляти з високолегованих сталей з застосуванням цементації і загартування, що ускладнює технологічний процес, обумовлюючи необхідність введення шліфувальних операцій (попередніх і остаточних), великої кількості перевірок і операцій термооброблення.

В автомобільній промисловості, тракторобудуванні і верстатобудуванні шліфування зубів проводять тільки для деяких зубчастих пар. Зате знаходять широке застосування такі процеси, як шевінгування і притирання.

Зубчасті колеса загального машинобудування і підйомно-транспортних машин мають іншу специфіку виробництва. Тут переважають колеса, виготовлені з покращених сталей, без наступного термооброблення готової деталі. Технологічний процес при цьому спрощується, однак вимоги до точності зубообробних верстатів і інструменту не знижуються.

В цілому технологічний процес виготовлення зубчастих коліс можна розділити на два етапи:

- перший етап складається з комплексу операцій, пов'язаних з утворенням геометричної форми заготовок зубчастого колеса до нарізання зубів;
- другий етап включає власне зубонарізання і всі наступні процеси, які так чи інакше пов'язані з обробленням зубів.

На вибір схеми першого етапу технологічного процесу виготовлення зубчастого колеса впливає конструкція зубчастого колеса. Так, істотно відрізняються схеми технологічних процесів виготовлення зубчастих коліс, що

належать до класів «втулка» і «вал». Це розходження поширюється як на перший, так і на другий етапи технологічного процесу і буде існувати незалежно від інших конструктивних особливостей зубчастого колеса, а також типів і видів виробництва.

При виготовленні зубчастих коліс на першому етапі до технологічного процесу висуваються певні вимоги, від яких залежить якість готових зубчастих коліс. До основних вимог належать:

- забезпечення концентричності циліндричної посадкової поверхні і зовнішніх поверхонь;
- забезпечення перпендикулярності посадкової поверхні і принаймні одного базового торця, а в зубчастих колесах, що нарізуються пакетом – двох базових торців; при цьому повинна бути забезпечена перпендикулярність посадкової поверхні і конструктивного опорного торця.

Основна специфіка виготовлення зубчастих коліс виявляється на другому етапі; у свою чергу, побудова другого етапу процесу впливає на структуру і зміст першого.

Циліндричні зубчасті колеса мають досить складну конструкцію, тому повна схема технологічного процесу оброблення повинна розроблятися на підставі ретельного аналізу технічних вимог креслення і можливостей виробництва.

На особливому місці серед зубчастих коліс класу «втулка» знаходяться зубчасті вінці внутрішнього зачеплення великих розмірів, що базуються при роботі по зовнішньому діаметру деталі. Деталі такого типу мають трохи іншу схему технологічного процесу. Ця відмінність полягає в тому, що базову циліндричну поверхню, поверхню виступів зубів і торець обробляють зазвичай за один установ деталі, а базою при нарізанні зубів буде вже зовнішня поверхня, якою деталь встановлюється в пристосування або по якій вивіряється встановлення деталі на планшайбі зуборізного верстата.

Технологічні маршрути оброблення циліндрових зубчастих коліс будують на основі таких принципів.

На перших операціях зазвичай призначають оброблення поверхонь, які при подальшому обробленні будуть використані як технологічні бази. Це такі операції:

- для зубчастих коліс I і II типів (рис. 3.1) – оброблення отвору (подвійна напрямна технологічна база) і базового торця (опорна технологічна база);
- для зубчастих коліс III і IV типів (рис. 3.1) – оброблення базового торця (установочна технологічна база) і отвору (центруюча технологічна база);
- для зубчастих коліс-валів (V тип) (рис. 3.1) – оброблення торцевих поверхонь і свердління центрових отворів.

Для зубчастих коліс 7-8-го ступеня точності нормалізацію і відпуск в більшості випадків можна проводити на самому початку технологічного процесу, до чорнового токарного оброблення. Для коліс 5-6-го ступеня точності передбачають нормалізацію і стабілізуючий відпуск після чорнового токарного оброблення, другий стабілізуючий відпуск – після цементації і гартування, а у ряді випадків навіть третій стабілізуючий відпуск – перед викінчувальними операціями шліфування.

Токарне оброблення зовнішніх поверхонь коліс з достатньою глибиною отвору виконують з базуванням по поверхні отвору (наприклад на гладких, шліцевих, цангових і інших оправках.), плоских коліс – з базуванням по торцевій поверхні (наприклад в кулачкові патрони), коліс-валів – в центрах (повідкові патрони, рифлені центри, плаваючі центри і т.п.).

Для зубчастих коліс необхідно забезпечити високу точність взаємного розташування центруючих поверхонь посадкового отвору, базового торця і зубів.

Для цього в технологічних процесах до термічного оброблення послідовно виконують ряд операцій: базуючись по центруючих поверхнях отвору, обробляють зовнішній діаметр під вінець і базовий торець; базуючись по зовнішньому діаметру вінця і базовому торцю, обробляють отвір по меншому діаметру шліців (центруюча поверхня); базуючись по меншому діаметру шліців і базовому торцю, виконують зубонарізування.

Після термічного оброблення: базуючись по зовнішньому діаметру вінця і базовому торцю, обробляють отвір по центруючих поверхнях; базуючись по ділильному колу колеса, обробляють отвір по центруючій поверхні остаточно.

Для коліс 6-го ступеня точності виконують попереднє і чистове шліфування зубів.

Для коліс нижче 7-го ступеня точності не передбачають шліфування зубів після термооброблення, а обмежуються зубошевінгуванням до термооброблення.

При обробленні коліс точніше за 6-го ступеня точності для проведення чистових і викінчувальних операцій необхідно використовувати устаткування високого або особливо високого класу точності.

Деякі конічні зубчасті колеса за формою близькі до циліндричних, тому до оброблення зубів технологічний маршрут їх оброблення майже аналогічний. Як технологічні бази використовують посадковий отвір і торець або центрові отвори (вал-шестерня), опорні шийки і торець. Як першу чорнову базу використовують конічну поверхню зубчастого вінця.

Нарізання зубів конічних коліс виконують в дві стадії – чорнову і чистову. Для чорнового фрезерування прямих зубів використовують спеціальні зубофрезерні напівавтомати, для чистового оброблення – зубопротяжні верстати з круговою подачею і зубостругальні верстати, для фрезерування спіральних зубів – спеціальні зубофрезерні напівавтомати

## **9 Токарне оброблення заготовок циліндричних зубчастих коліс**

В дрібносерійному виробництві зубчасті колеса до нарізування зубів обробляють на універсальних токарно-гвинторізних і токарно-револьверних верстатах. Схема технологічної наладки для оброблення зубчастого колеса на токарно-револьверному верстаті зображена на рис. 9.1.

При обробленні деталь затискають в трикулачковому патроні. В позиції 1 револьверної головки двома різцями обточують зовнішню поверхню заготовки.

Одночасно одним різцем розточують внутрішню поверхню, іншим різцем знімають внутрішню фаску. Після відведення револьверного супорта двома різцями *Б* з поперечного супорта підрізують торці.

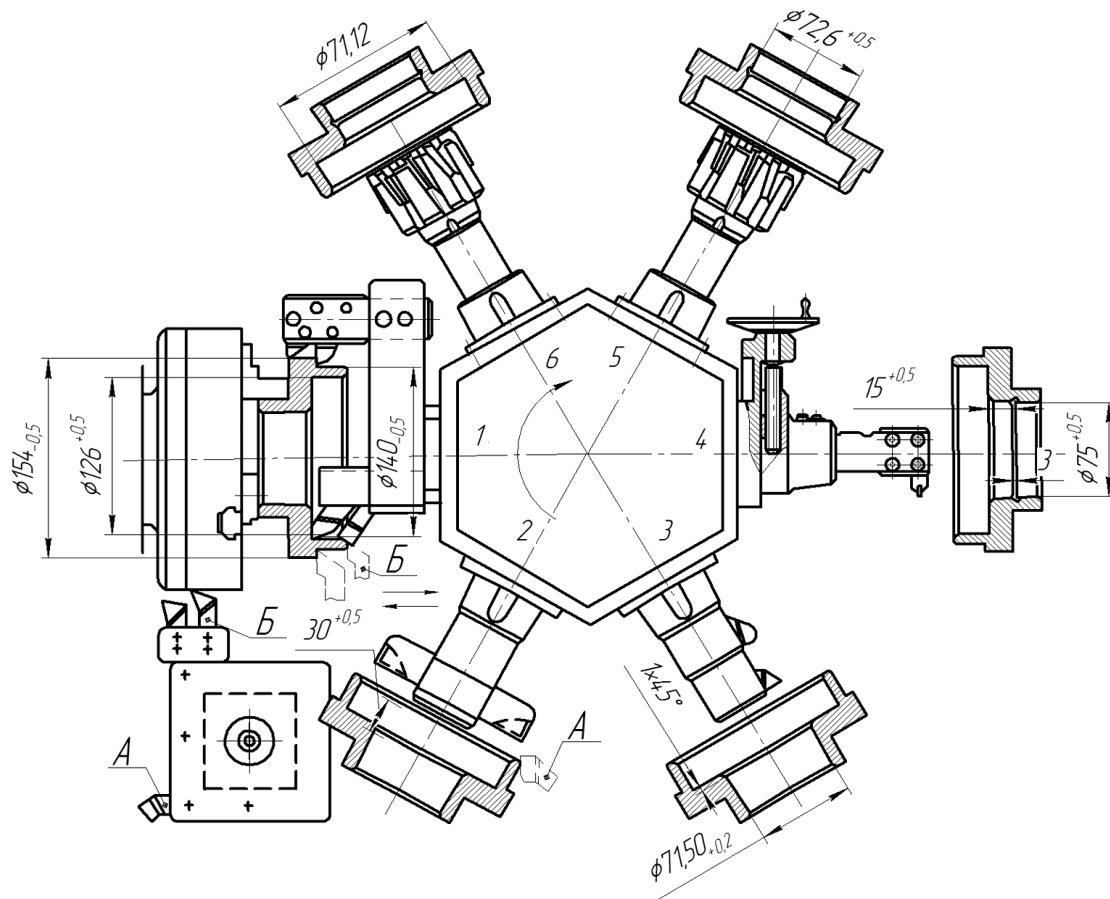


Рисунок 9.1 – Технологічна наладка оброблення зубчастого колеса на токарно-револьверному верстаті

В позиції 2 револьверної головки широкими пластинами підрізують внутрішню торцеву поверхню. Різцем *А* поперечного супорта знімають фаску на зовнішній поверхні. В позиції 3 револьверної головки розточують центральний отвір. В позиції 4 за допомогою спеціального пристосування прорізують внутрішню канавку. В позиціях 5 і 6 револьверної головки центральний отвір розвертають чорною і чистовою розвертками.

В крупносерійному виробництві зубчасті колеса обробляють на токарних і токарно-револьверних верстатах з ЧПК мод. 16К20Ф3, 16К20Т1, 1В340Ф3 та ін.

Для підвищення продуктивності застосовуються двошпindelні токарні

верстатів з ЧПК, у яких замість задньої бабки встановлена шпиндельна бабка з приводом (рис. 9.2). Це дає можливість одночасно обробляти зубчасті колеса з двох сторін.

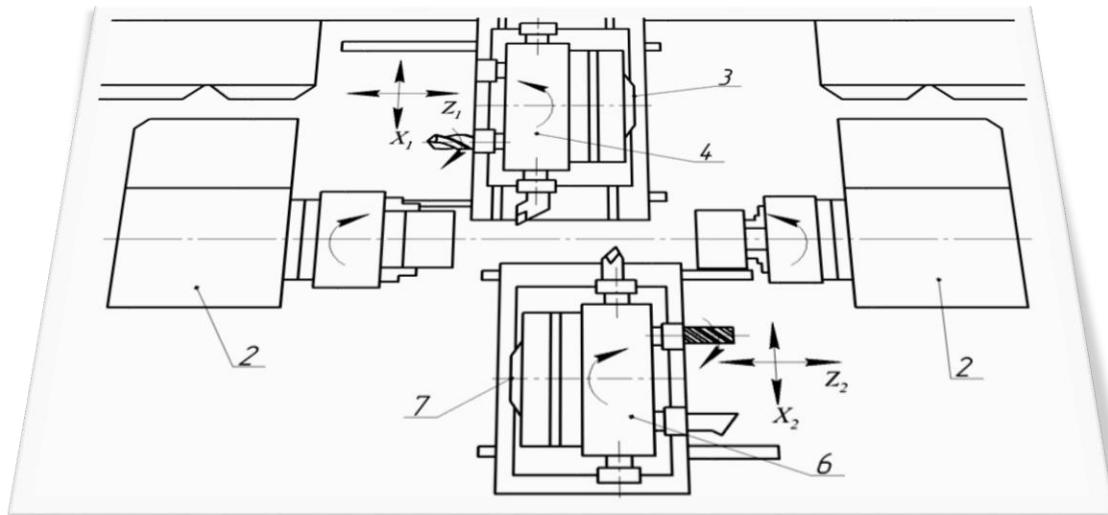


Рисунок 9.2 – Схема оброблення на 2-шпиндельному токарному верстаті з ЧПК

Ще більша продуктивність оброблення досягається при застосуванні токарних багаторіцевих напівавтоматів моделей 1A720, 1A730 і ін. Схема налагодження для оброблення блоку зубчастих коліс на одношпиндельному багато ріцевому напівавтоматі зображено на рис. 9.3. В даному випадку оброблення циліндричних поверхонь проводиться з переднього поздовжнього супорта, а оброблення торців, канавок і більшості фасок – з заднього поперечного супорта.

У масовому виробництві застосовують багатшпиндельні токарні напівавтомати моделей 1K282, 1283, 1B284, 1A286-6 та ін.. Найбільший діаметр заготовки, яка обробляється на верстаті моделі становить 630 мм.

Схема налагодження восьмишпиндельного напівавтомата для оброблення зубчастого колеса показана на рис. 9.4. Верстат має поворотний стіл, в центрі якого розташована восьмигранна колона. На гранях колони встановлені супорти трьох типів: поздовжнього, поперечного і подовжньо-поперечного точіння.

Останній супорт має полозки для поздовжнього і поперечного переміщення різців. Навпроти кожної грані колони розміщені шпинделі з патронами для закріплення заготовок.

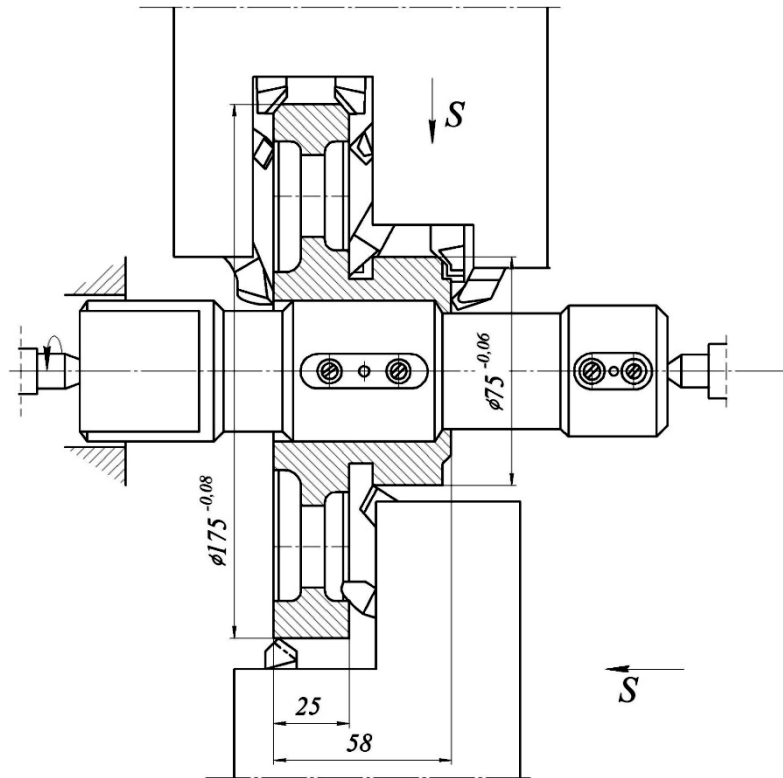


Рисунок 9.3 – Схема налагодження для оброблення блоку зубчастих коліс на одношпindelному багато різцевому токарному напівавтоматі

Оброблення на верстаті ведеться за такою схемою. На позиції I проводиться встановлення заготовки та знімається готова деталь. На позиціях II – IV заготовка обробляється з одного боку. На позиції V заготовка перевстановлюється і обробляється з іншого боку. Для точного оброблення отвору на позиції VI застосовують плаваючу розвертку. На позиціях VII і VIII для свердління та зенкування восьми отворів використовують спеціальні багатошпindelні головки.

Токарне оброблення великих циліндричних коліс діаметром понад 500 мм для важкого машинобудування виконують на токарно-карусельних верстатах. Колеса 8-го ступеня точності і менш точні оброблюються на токарно-карусельних верстатах остаточно. Колеса 7-го ступеня точності і точніші

оброблюються на токарно-карусельних верстатах з припуском для остаточного оброблення після складанням з валом.

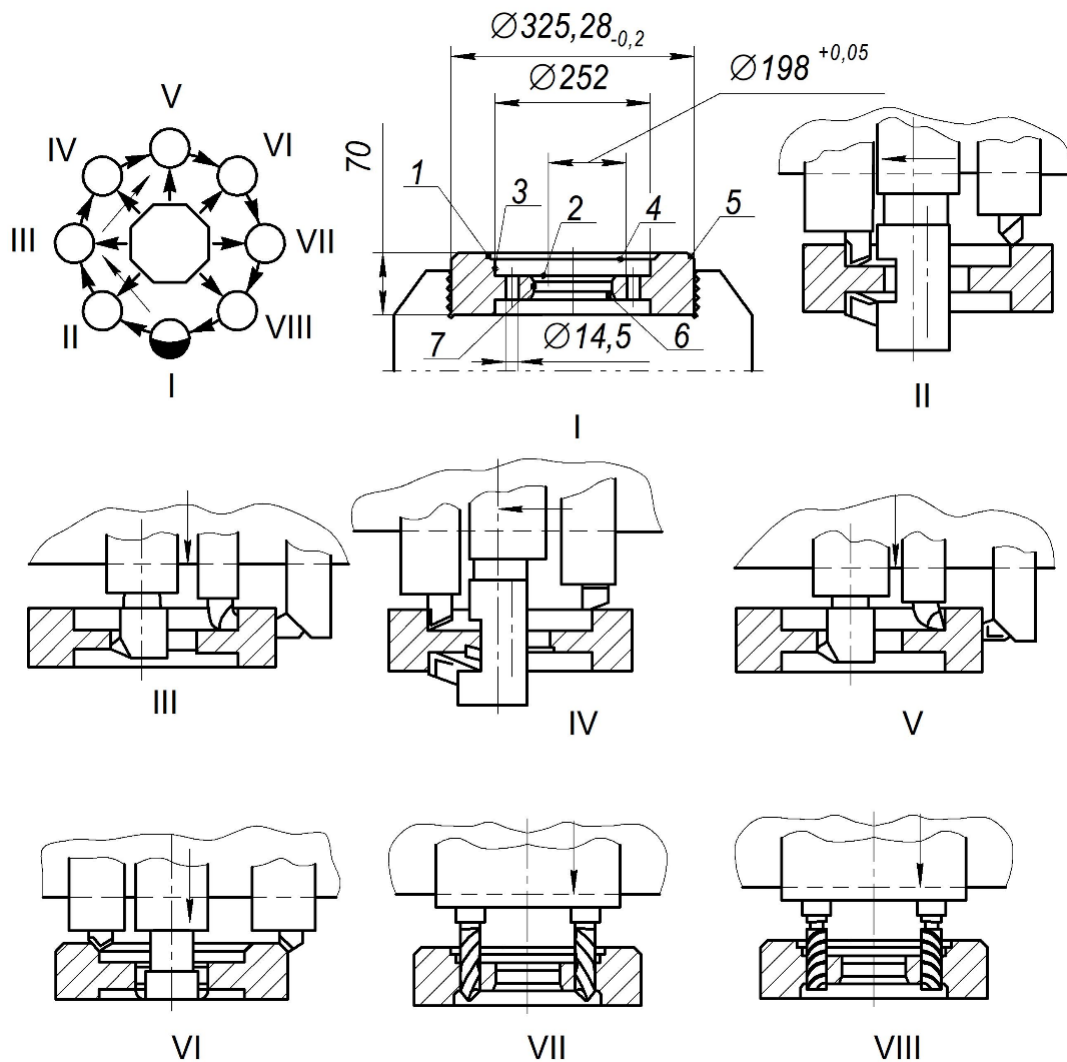


Рисунок 9.4 – Налаштування восьмишпindelного напівавтомата для оброблення зубчастих коліс

За своїм компонуванням токарно-карусельні верстати поділяють на одностійкові (моделі 1508, 1510, 1512 та ін.) і двостійкові (моделі 1520, 1525, 1540 та ін.) Широко застосовується токарно-карусельні верстати з ЧПК моделей 1512Ф3, 1516Ф3, 1525Ф3 і ін. На токарно-карусельних верстатах при чистовому обробленні досягається точність за 7-8 квалітетами і шорсткість поверхні 3,2-6,3 мкм.



## 10 Оброблення посадкового (центрального) отвору

Центральний отвір є технологічною базою при обробленні зубчастого колеса. Для передачі крутного моменту посадковий отвір має шпонковий паз або шліцеву поверхню. Точність отвору і перпендикулярність його осі торцю маточини у незагартованих коліс забезпечується чистовим точінням, розвертуванням, шліфуванням або протяганням. Отвір після свердління або зенкування протягають круглими протяжками. Точність отвору після протягування відповідає 7-9 квалітету, шорсткість – 0,3-2,5 мкм. Продуктивність при протягуванні значно вища, ніж при шліфуванні. Схема протягування гладкого отвору зубчастого колеса на сферичній опорі показана на рис. 10.1.

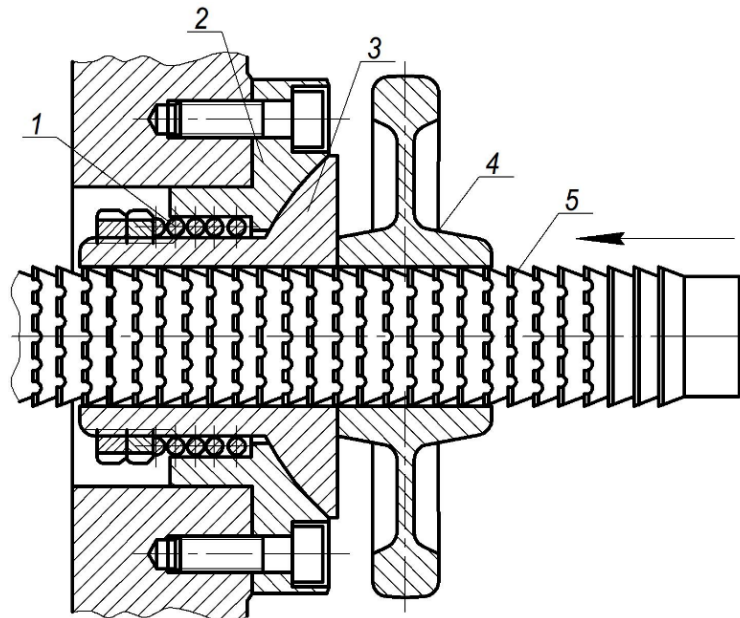


Рисунок 10.1 – Схема протягування отвору круглою протяжкою з встановленням зубчастого колеса на сферичній опорі:

1 – пружина; 2 – опорна шайба; 3 – сферична опора; 4 – заготовка; 5 – протяжка

У коліс, що піддаються загартуванню, отвір шліфують на внутрішньошліфувальних верстатах (рис. 10.2), а торець маточини – на плоскошліфувальних верстатах. Для підвищення точності шліфування отвору і торця рекомендується проводити оброблення з одного установа. При цьому колесо закріплюють у спеціальному патроні (рис. 10.3). Базування колеса

здійснюють роликами по бічній поверхні зубів, що забезпечує співвісність центрального отвору і ділильного кола. Отвори оброблюють шліфувальним кругом 1, а шліфування торця – кругом 2, який встановлений на шпинделі додаткової шліфувальної бабки.

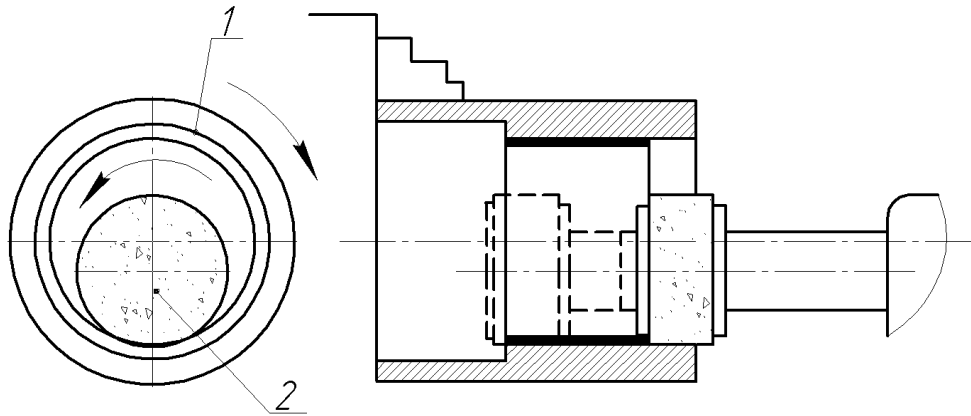


Рисунок 10.2 – Схема оброблення отвору на внутрішньо-шліфувальному верстаті

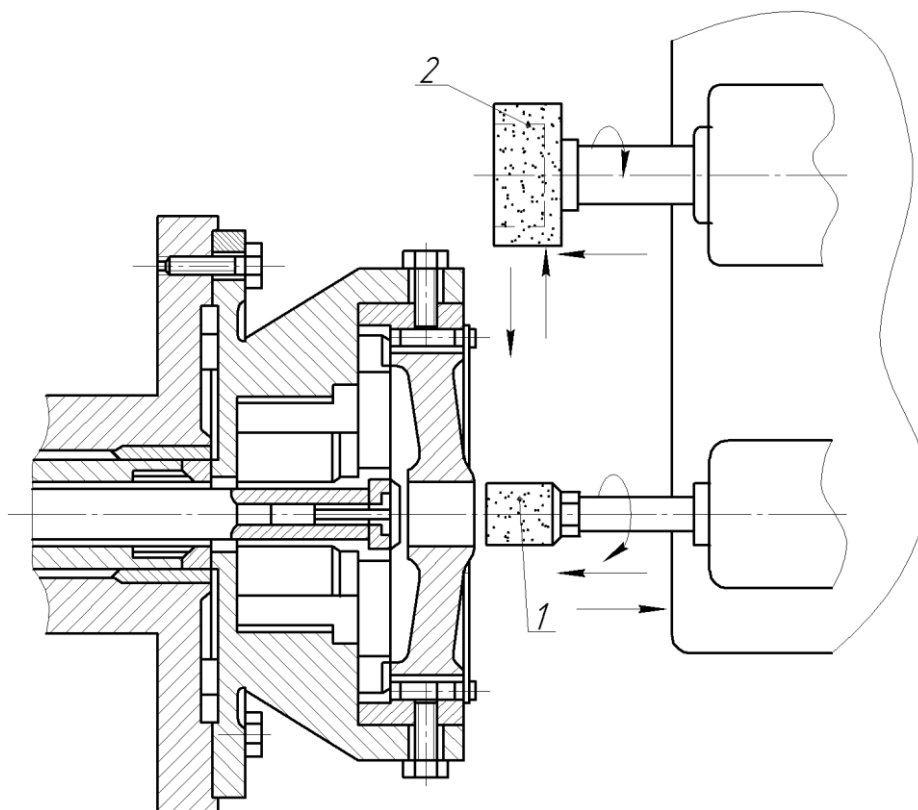


Рисунок 10.3 – Схема шліфування отвору і торця зубчастого колеса з одного встановлення

Шпонкові канавки і шліци в отворах зубчастих коліс прорізають до гартування. В одиничному і дрібносерійному виробництві шпонкові канавки оброблюють на довбальних верстатах, в крупносерійному і масовому виробництвах їх канавки отримують протягуванням. На рис. 10.4 зображено протягування шпонкової канавки в заготовці зубчастого колеса на горизонтально-протяжливому верстаті. Заготовка 1 насаджується на направляючий палець 4, всередині якого є паз, для направлення протяжки 2. Коли канавка протягується за 2 робочих ходи однією і тією ж протяжкою, то під протяжку поміщають підкладку 3.

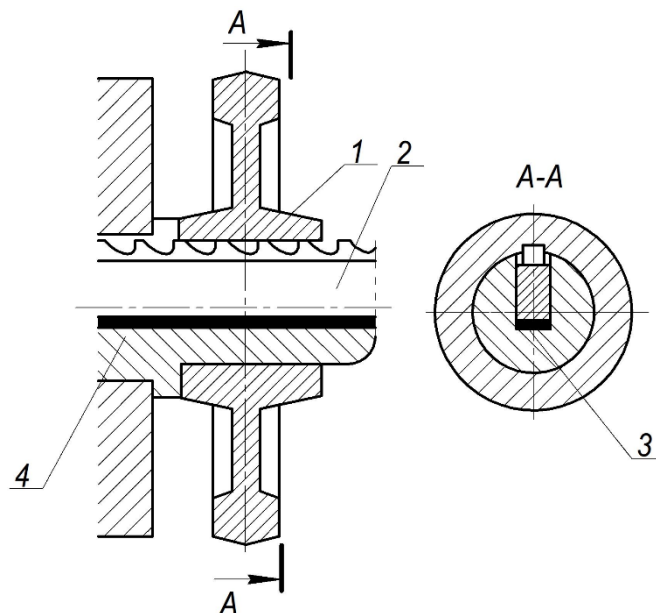


Рисунок 10.4 – Схема протягування шпонкового паза в отворі зубчастого колеса

Шліцеві отвори в зубчастих колесах обробляють протягуванням. Якщо зубчасте колесо після протягування піддається гартуванню, то центрування шліцевого з'єднання здійснюється переважно по внутрішньому діаметру вала. У цьому випадку після гартування отвір шліфують на круглошліфувальному верстаті, а у вала шліфують впадини шліців. Якщо все ж в загартованому зубчастому колесі потрібно здійснити центрування шліцевого з'єднання по зовнішньому діаметру вала, то шліци в отворі піддають хонінгування по впадинах. З цією метою створено спеціальний верстат моделі 3А856Ф1.

## 11 Оброблення конічних зубчастих коліс

Конічні зубчасті колеса, так само як і циліндричні, можуть належати до деталей класів «втулка» і «вал», що визначає вибір принципової схеми технологічного процесу їх виготовлення. Разом із тим, конструкція конічних зубчастих коліс і їх зачеплення мають свої специфічні особливості, що істотно впливають на побудову окремих операцій технологічного процесу.

В заготовках конічних зубчастих коліс нормуються такі параметри (рис. 11.1): а) діаметр посадкового отвору  $d$  у насадних коліс (клас «втулка») або діаметри базових шийок  $d_1$  і  $d_2$  у валів-шестерень (клас «вал»); б) опорні торці; в) відстань  $M_K$  від базового торця до лінії перетину переднього і заднього конусів; г) зовнішній діаметр  $D_e$ , д) ширина вінця  $B$ ; е) кут переднього  $\varphi_в$  і заднього конуса  $\varphi_з$ .

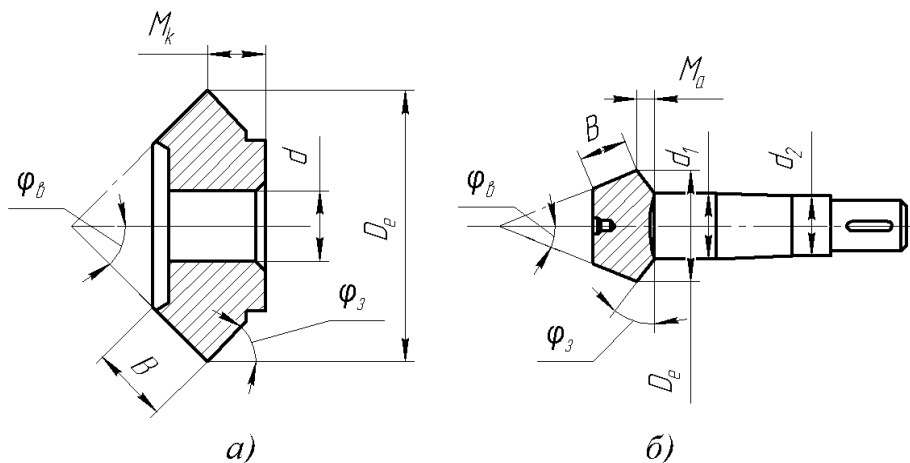


Рисунок 11.1 – Заготовки конічних зубчастих коліс:

а) – насадного (класу «втулка»); б) – вал-шестерні (класу «вал»)

Допуски на діаметр базового отвору (або шийки) для заготовок конічних коліс, а також граничні відхилення зовнішнього діаметра заготовки і торцеве биття базового торця призначаються виходячи з тих самих міркувань, що і при призначенні допусків на заготовки для циліндричних коліс.

У тому випадку, коли при нарізуванні зубів торець заготовки конічного колеса використовується як технологічна база, крім допусків на торцеве биття задають допуски на положення зовнішнього конуса відносно базового торця.

Допуск  $E_D$  на биття зовнішнього конуса заготовки рекомендується призначати як частину допуску (0,5-0,7) товщини зуба  $\delta S$ .

Перший етап технологічного процесу виготовлення конічних зубчастих коліс виконується по зазначених вище для деталей класів «втулка» і «вал» принципівих схемах. Найбільш значимою в першому етапі є чистове токарне оброблення заготовки зубчастого колеса.

В більшості випадків чистове токарне оброблення конічних коліс проводиться або за дві операції, або, принаймні, за два установи.

Перша чистова токарна операція (або перший установ) складається з оброблення базового торця і зовнішньої поверхні колеса. На другій токарній операції (або другому установі) проводиться обточування конусів і інших поверхонь. При цьому за базу приймають торцеві поверхні, оброблені на першій операції. Для конічних зубчастих коліс з косими зубами, що мають опорний монтажний торець з боку малого додаткового конуса, оброблення опорних поверхонь проводиться на другій операції. Для зменшення кількості переналадок різців на розмір іноді обточування зовнішнього конуса виділяють в окрему операцію.

В деяких випадках, коли оброблення зовнішніх поверхонь конічного зубчастого колеса виконується з використанням гідрокопіювальних пристроїв, допускається одночасне оброблення конусів і опорних торців.

Правильність кута і відстань вершини зовнішнього конуса від монтажного торця в масовому і крупносерійному виробництвах перевіряються граничними скобами, у дрібносерійному і індивідуальному виробництвах – шаблонами на кути.

Конічні зубчасті колеса класу «втулка» на першій чистовій токарній операції обточують зазвичай на розтискній шпindelній оправці; друга чистова операція виконується також на шпindelній розтискній оправці або центровій оправці з упором.

В крупносерійному і масовому виробництвах для оброблення заготовок конічних зубчастих коліс застосовують багато різцеві верстати моделей 1720,

1730 і 1722, вертикальні багатопиндельні токарні автомати моделей 1282, 1A283, 1284 та ін.

На рис. 11.2 зображені схеми наладок для оброблення заготовок конічних зубчастих коліс на токарному гідрокопіювальному напівавтоматі 1722.

На рис. 11.2, а на позиції I зображено схему оброблення одного кінця (поверхні 10-13), а на позиції II – схема оброблення іншого кінця (поверхні 1-9). На рис. 11.2, б на позиції I зображено схему оброблення однієї сторони (поверхні 4-6), а на позиції II – схема оброблення іншої сторони (поверхні 1-3).

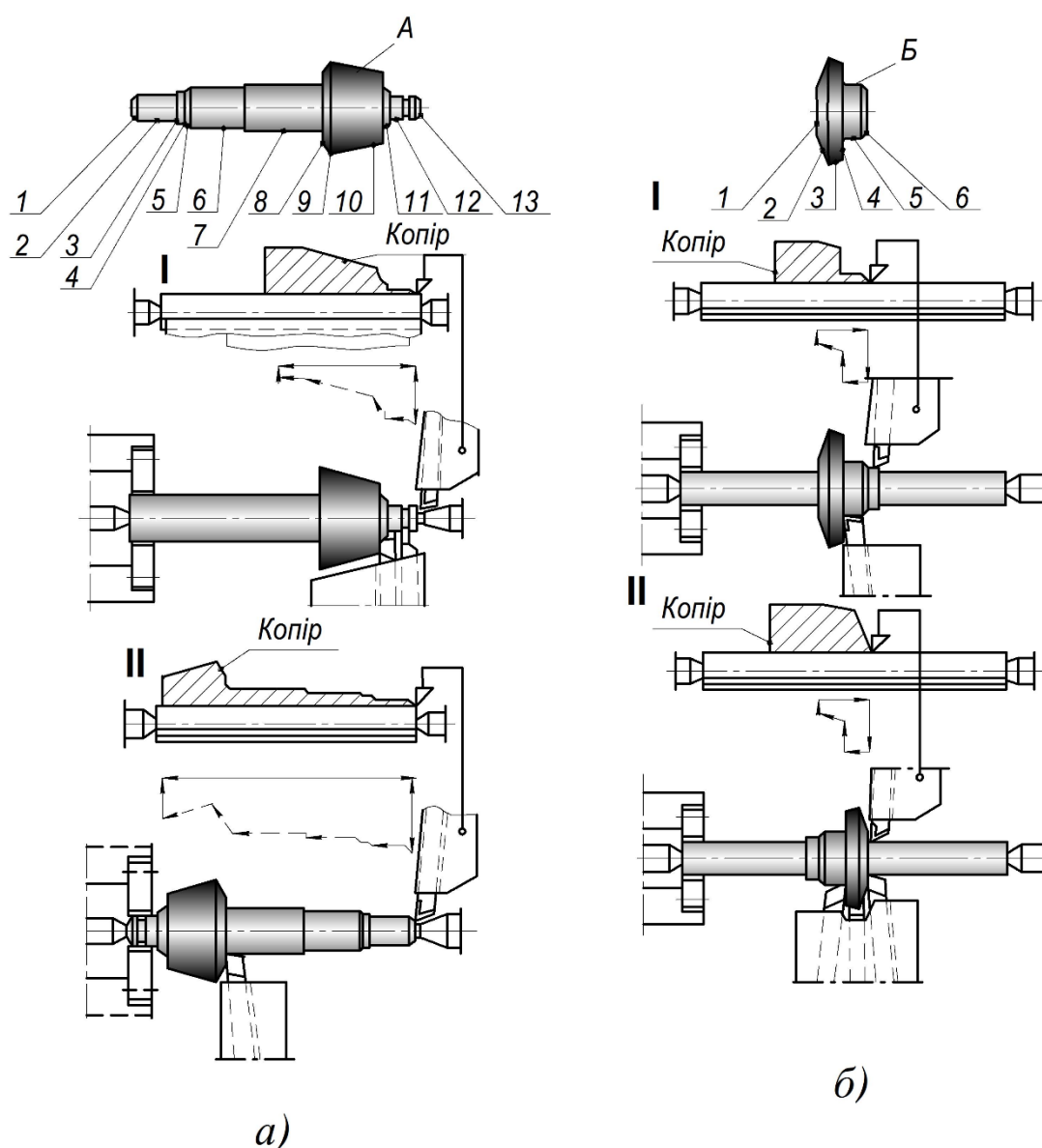


Рисунок 11.2 – Технологічна схема налагодження верстата моделі 1722 для оброблення конічних зубчастих коліс:

а) – зубчасте колесо-вал; б) – зубчасте колесо-втулка

На рис. 11.3 наведено схему налагодження для оброблення заготовки зубчастого колеса класу «втулка» на восьмишпindelному вертикальному напівавтоматі в два цикли.

На робочих позиціях III, V, VII, після завантаження на позиції I, оброблюється одна сторона заготовки. На завантажувальній позиції II заготовка повертається і на робочих позиціях IV, VI і VIII ведеться оброблення іншої сторони заготовки.

У цьому налагодженні для оброблення кінцевих поверхонь застосовані спеціальні супорти з похилими напрямними, а оброблення канавки на позиції VIII проводиться за допомогою спеціального копіювального тримача.

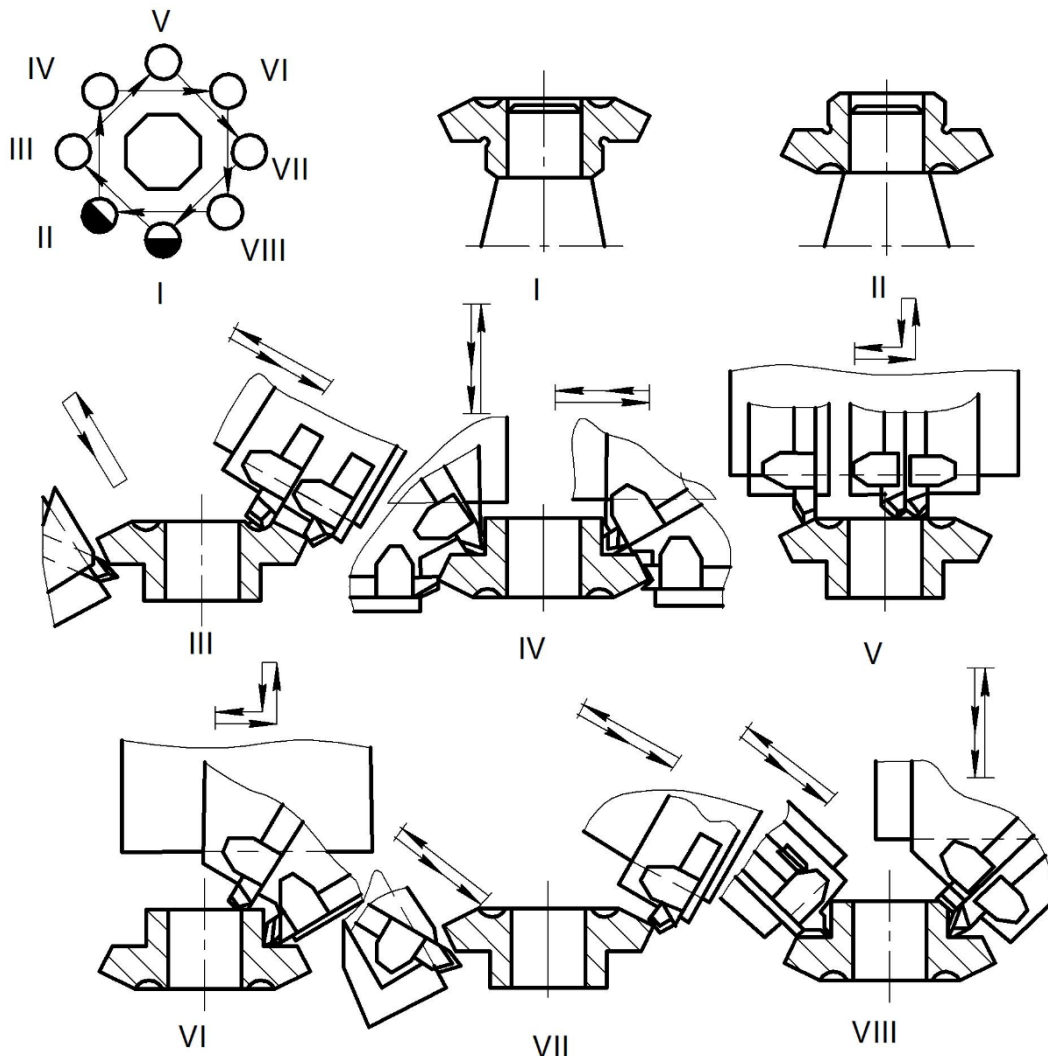


Рисунок 11.3 – Технологічна схема налагодження 8-шпindelного токарного напівавтомата для оброблення заготовки зубчастого колеса-втулки за два цикли

## 12 Оброблення черв'ячних пар

Черв'ячні передачі широко застосовують в приладобудуванні, піднімально-транспортному устаткуванні, а також в металорізальних верстатах. До основних переваг черв'ячних передач належать компактність, безшумність і плавність роботи, можливість отримання дуже великого передавального числа. Недоліками черв'ячних передач є підвищена вартість, великі втрати на тертя, сильний нагрів при тривалій роботі і, як наслідок, швидке зношення елементів, низький коефіцієнт корисної дії, необхідність використання дорогих антифрикційних кольорових металів.

Черв'ячні передачі застосовуються для передачі обертання між валами, осі яких перехрещуються під кутом  $90^\circ$ . Ведучою ланкою як правило є черв'як, а веденою – черв'ячне колесо. Зворотна передача зустрічається рідко, оскільки вона має дуже низький ККД.

Черв'ячна (або зубчасто-гвинтова) передача є кінематичною парою, що складається з черв'яка і черв'ячного колеса. Як черв'як, так і черв'ячне колесо можуть мати різне конструктивне оформлення (рис.12.1). Черв'як – це гвинт з різьбою, яка нарізана на циліндрі – архімедовий черв'як (рис. 12.1, а) або глобоїдний (рис. 12.1, б).

Архімедовий черв'як є циліндричним гвинтом з трапецієвидним профілем різьблення. У торцевому перетині витки цього черв'яка окреслені архімедовою спіраллю.

Глобоїдний черв'як є гвинтом, нарізаним на поверхні тора (глобоїда). Передача з таким черв'яком називається глобоїдною. Глобоїдний черв'як має велику поверхню контакту із зубами черв'ячного колеса, оскільки число зубів колеса і витків черв'яка, що знаходяться в зачепленні, більше в порівнянні з циліндричним черв'яком, то і несуча здатність її значно вища (у 1,5-4 рази). Проте глобоїдні черв'ячні передачі вимагають підвищеної точності виготовлення і монтажу.

Черв'ячні колеса бувають з прямими і частіше з косими зубами і



відрізняються від циліндричних зубчастих коліс дещо видозміненою формою зуба. Зуб черв'ячного колеса охоплює черв'як по дузі, обмеженій кутом, який вибирають в межах  $90-110^\circ$ . Це сприяє більшому обхвату черв'яка і збільшенню, відповідно, лінії контакту. Елементи черв'ячного колеса в основному аналогічні елементам циліндричного зубчатого колеса.

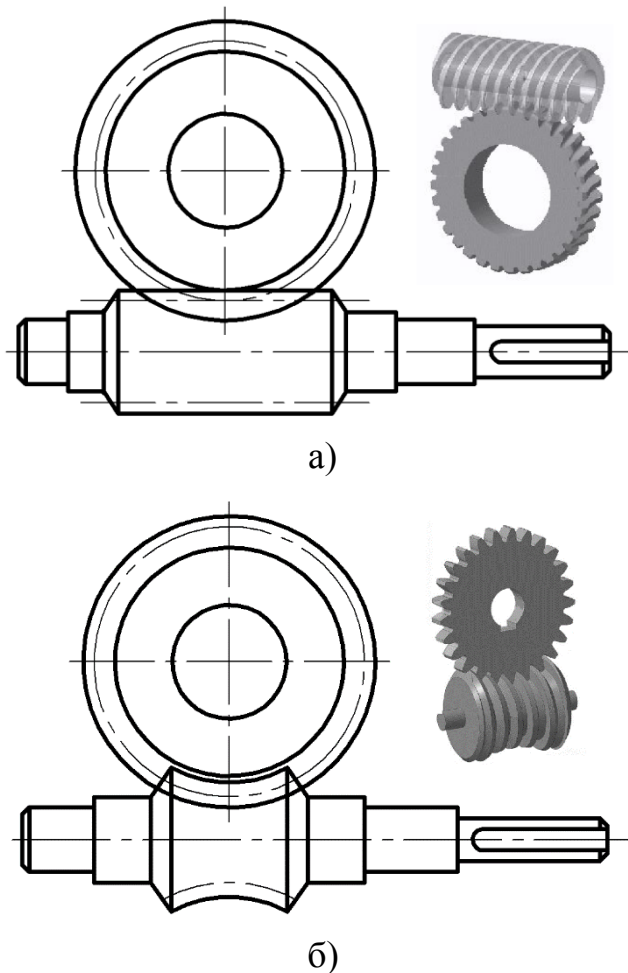


Рисунок 12.1 – Черв'ячні передачі:

а) циліндрична черв'ячна передача; б) глобоїдна черв'ячна передача

Черв'як може бути насадним на вал, і в цьому випадку він буде відноситися до деталей класу «втулка», але може бути виконаний і суцільним у виді вала.

Черв'ячне колесо, як правило, виготовляється складеним з двох деталей: вінця і маточини. Тільки в передачах малих розмірів зустрічаються черв'ячні колеса, виконані у виді однієї деталі. Така конструкція коліс пояснюється тим, що в черв'ячних передачах має місце ковзання поверхонь витків черв'яка і зубів

колеса з високими швидкостями, внаслідок чого, як матеріал для черв'ячного колеса, використовується антифрикційний чавун або бронза, що мають поліпшені антифрикційні властивості, у той час як сама маточина може виготовлятися з менш дефіцитного і більш дешевого матеріалу.

Зазначені конструктивні особливості черв'яків і черв'ячних коліс визначають вибір принципової схеми технологічного процесу виготовлення.

Оброблення черв'яків на першому етапі технологічного процесу принципово не відрізняється від виготовлення циліндричних зубчатих коліс відповідного класу.

Схема оброблення черв'ячних коліс на першому і другому етапах подібна до оброблення циліндричних або конічних коліс при осьовому встановленні черв'ячного колеса (а в глобоїдних передачах – і черв'яка) при токарній і зубообробній операції.

Другий етап технологічного процесу виготовлення черв'яків і черв'ячних коліс має свої специфічні особливості, невластиві іншим видам передач і значною мірою залежать від обраної геометрії зачеплення пари.

Рекомендовані граничні відхилення зовнішнього діаметра,  $D_{e1}$  і допуск на биття  $E_{D1}$ , зовнішнього циліндра заготовки черв'яка при використанні його як вимірювальної бази, вказуються відносно монтажних поверхонь черв'яка: шийок або посадкового отвору і складають частину допуску на товщину витка  $\delta S$  ( $\delta D_{e1} \leq 0,69\delta S$ ;  $E_{D1} \approx 0,34\delta S$ ).

Якщо за вимірювальну базу приймають робочу вісь черв'яка, допуск на радіальне биття зовнішнього циліндра черв'яка повинен складати частину (0,5 - 0,7) від допуску на радіальне биття  $E_{O1}$  витків черв'яка. До базових поверхонь заготовок черв'ячних коліс висуваються такі ж вимоги по точності, як і для заготовок циліндричних зубчастих коліс. Однак, до заготовок черв'ячних коліс висуваються і деякі додаткові вимоги, обумовлені специфікою черв'ячного колеса. Заготовки черв'ячних коліс мають на зовнішніх поверхнях, на яких нарізуються зуби, проточку з радіусом  $R$ . У зв'язку з тим, що при нарізуванні зубів вісь фрези повинна сполучатися із середньою площиною заготовки,

необхідно регламентувати віддаль від базового торця заготовки до середньої площини проточки і коливання цього розміру. При великих коливаннях даного розміру в партії заготовок виникає необхідність перед нарізуванням кожного колеса здійснювати налагодження фрезерного супорта верстата, домагаючись співпадання осі фрези з центром радіусної виточки.

Оброблення заготовок черв'яків і черв'ячних коліс проводиться на універсальних токарних і карусельних верстатах. Для оброблення заготовок глобоїдних черв'ячних пар доцільно використовувати гідрокопіювальні пристрої або спеціальні поворотні супорти.

Вибір схеми технологічного процесу виготовлення черв'яків і черв'ячних коліс проводиться з врахуванням конструкції деталі, геометрії бічних поверхонь витків черв'яка, матеріалу черв'яка, виду термооброблення, ступеня точності; обсягу виробництва і його спеціалізації.

Найбільш розповсюдженою послідовністю технологічних операцій виготовлення глобоїдних черв'яків є:

- 1) попереднє токарне оброблення;
- 2) термічне оброблення;
- 3) токарне оброблення зі створенням технологічних баз для встановлення черв'яка при нарізуванні;
- 4) шліфування технологічних баз;
- 5) обточування глобоїдної виїмки;
- 6) попереднє нарізування;
- 7) напівчистове і чистове нарізування (з врахуванням модифікації);
- 8) контроль;
- 9) фрезерування кінців витків;
- 10) слюсарне оброблення;
- 11) притирання (операція не обов'язкова);
- 12) чистове токарне оброблення шийок, точіння витків;
- 13) шліфування шийок;
- 14) слюсарне оброблення;

15) остаточний контроль;

16) азотування.

При виготовленні черв'яків підвищеної твердості після 10 операцій проводиться міднення різьбових ділянок, центрів і торців, а потім термооброблення: цементація і загартування. Після зачищення центрів здійснюється шліфування усіх витків (як варіант) і оброблення.

### 13 Методи нарізування зубів

Існує два принципово різних методи нарізування зубчастих коліс: копіювання та обкатування (огинання).

При копіюванні різальному інструменту надають форму впадини між зубами, а потім проводять оброблення. При цьому профіль інструменту копіюється на поверхні, що обробляється.

Зубонарізування способом копіювання можна виконувати: послідовним нарізуванням кожного зуба колеса модульною дисковою або пальцевою фрезою на універсальному фрезерному верстаті (рис. 13.1); одночасним довбанням всіх зубів колеса; одночасним протягуванням всіх зубів колеса; круговими протяжками, фасонними шліфувальними кругами та ін.

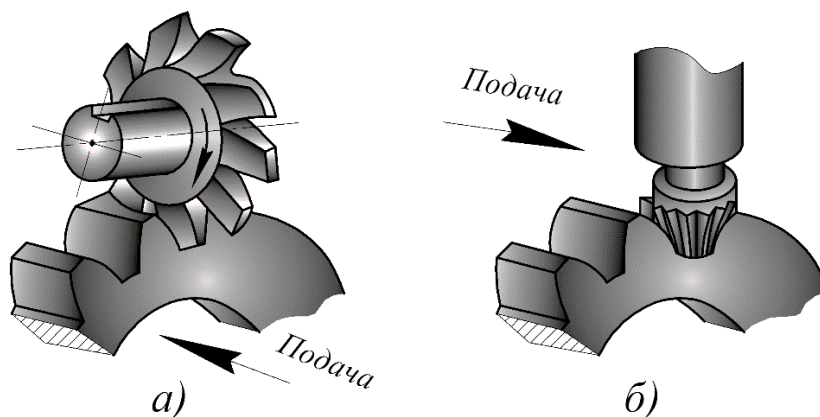


Рисунок 13.1 – Нарізування зубів методом копіювання:

*a* – дисковою фрезою; *б* – пальцевою фрезою

Метод копіювання застосовується в одиничному виробництві, а також для нарізування крупномодульних коліс. Він має низьку продуктивність і точність 9-11 ступеня, тому застосовується зазвичай при виготовленні зубчастих коліс невисокої точності.

Сучасним, точним і продуктивним способом виготовлення зубчастих коліс є нарізування зубів способом обкатування, який забезпечує високу точність і продуктивність. При нарізуванні зубів методом обкатування імітується процес зубчастого зачеплення. Приклади нарізування зубів методом обкатування зображені на рис. 13.2.

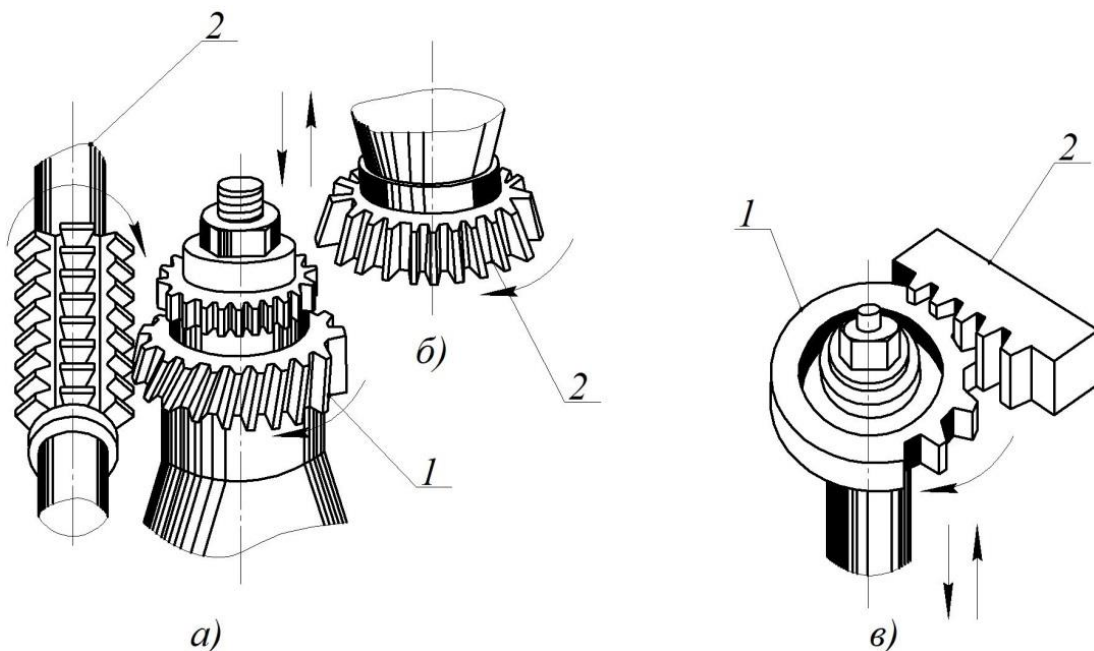


Рисунок 13.2 – Схеми нарізування циліндричних зубчастих коліс методом обкатування: *a* – черв'ячною фрезею; *б* – дисковим довб'яком; *в* – гребінкою;

1 – зубчасте колесо; 2 – інструмент

При методі обкатування профіль бічних поверхонь зубів колеса виходить як огинання визначеної кількості послідовних положень кромки різального інструмента. При цьому заготовці надається обертання, строго погоджене з обертанням різального інструмента, що забезпечує їх неперервне зачеплення під час нарізування і визначене співвідношення кутових швидкостей, необхідне для одержання правильного профілю зуба.

Нарізування та оброблення зубів циліндричних коліс методом обкатування

виконується черв'ячними фрезами на зубофрезерних верстатах, круглими довб'яками на зубодовбальних верстатах, рейковими довб'яками (гребінками), зубостругальними різцями, різцевими головками, шеверами, накатуванням, шліфувальними кругами та ін.

Перевагами методу обкатування є висока продуктивність і точність процесу; можливість одним інструментом обробляти колеса того самого модуля з будь-яким числом зубів; можливість нарізувати кориговані зуби, а основним недоліком – висока вартість інструментів, що використовуються.

Досяжна точність і висота мікронерівностей залежно від методів оброблення зубчастих коліс приведені в табл. 13.1.

Таблиця 13.1 – Залежність точності і чистоти поверхні зубчастих коліс від методів оброблення

Метод оброблення	Ступінь точності	Шорсткість Ra
Фрезерування зубів модульною фрезою	10 - 9	12,5 - 6,3
Фрезерування зубів черв'ячною фрезою	10 - 8	6,3 - 3,2
Довбання зубів	8 - 7	3,2 - 1,6
Стругання зубів	7 - 6	3,2 - 0,8
Точіння зубів	8 - 7	3,2 - 1,6
Протягування зубів	8 - 7	3,2 - 0,8
Шевінгування зубів	7 - 6	1,25 - 0,63
Хонінгування зубів	6 - 5	0,5 - 0,1
Шліфування зубів	6 - 5	1,25 - 0,5
Обкатування зубів	7 - 5	1,0 - 0,32
Накатування зубів	9 - 8	2,0 - 0,8

#### 14 Обладнання для нарізування зубчастих коліс

Оброблення зубчастих поверхонь здійснюється методом фрезерування, стругання, довбання, протягування, точіння, шліфування та іншими технологічними методами, назва яких, зазвичай, пов'язана з типом верстата.

За класифікацією верстати для оброблення зубів належать до п'ятої групи.

В основу класифікації зубообробних верстатів покладені вид зубчастого колеса, технологічний метод різання, призначення оброблення (утворення зубів, їх оброблення) і ряд інших ознак. Згідно класифікації ЭНИМС верстати для оброблення зубів поділяють на такі основні типи.

1. Зубодовбальні верстати для оброблення за методом обкатування зуборізним довб'яком циліндричних коліс, а також зубчастих секторів внутрішнього і зовнішнього зачеплення з прямим, косим або гвинтовим зубом. Це моделі 5107, 5В150 та інші напівавтоматичні верстати.

2. Зуборізні верстати для оброблення конічних коліс. За методом обкатування зуборізною головкою обробляють кругові зуби на верстатах моделей 525, 5Б231 і ін. Прямозубі колеса обробляють на зубостругальних верстатах моделей 5А250, 5282, 5А283 та ін.

За методом кругового протягування кожної впадини працює зубопротяжний верстат моделі 5245 для оброблення конічних прямозубих коліс в умовах масового виробництва. Зубофрезерні верстати моделей 5П23, 5230 та ін. застосовують для оброблення двома дисковими фрезами конічних прямозубих коліс методом обкатування. За один цикл обробляють обидві сторони профілю зуба модулем до 8 мм.

3. Зубофрезерні верстати для оброблення методом обкатування черв'ячною фрезою циліндричних прямозубих і косозубих коліс, черв'ячних коліс в умовах одиничного, серійного і масового виробництва. Найбільш типові моделі 530П, 5К32, 5А342, 5300 та ін. На деяких моделях можна працювати пальцевими модульними фрезами за методом копіювання, оброблюючи шевронні зуби. За специфікою процесу нарізування ці верстати належать до напівавтоматичних. На верстатах цього типу нарізують також шліци на валах, так само як на звичайних зуборізних і спеціальних шліцефрезерних верстатах (моделей 5350, 5350Б та ін.).

4. Зубофрезерні верстати для оброблення черв'ячних коліс працюють лише за методом обкатування. Як і верстати для оброблення рейок, їх відносять до четвертого типу (хоча верстати для оброблення рейок можуть працювати як

фрезою за методом копіювання, так і зуборізним довб'яком). Прикладом верстатів цього типу є моделі 5412, 5414 та ін.

5. Верстати для оброблення торців зубів, які дозволяють обробляти фаски, знімати задирки або закругляти торці зубів. До цих верстатів належать моделі 5525, 5Н580, 5А580 та ін.

6. Шостий тип верстатів включає різьобробні верстати, наприклад модель 5К63 та ін.

7. До зубовикінчувальних верстатів належать зубошевінгувальні верстати (моделей 5702, 5717 і ін.), зубопритиральні (модель 5П725 та ін.) та контрольно-обкатні верстати моделей 5А725, 5А726, 5Б725 і ін.

8. Зубо- і різешліфувальні верстати, а також верстати для шліфування циліндричних коліс моделей 5В830, 5891, 5831 та ін.

9. Зубо- і різьобробні верстати, зубохонінгувальні (модель 5913) і т. п.

Найбільшого поширення набули зубофрезерні верстати, у яких головний рух різання здійснює черв'ячна фреза. Стіл із заготовкою здійснюють обертовий рух, узгоджений з обертанням черв'ячної фрези. Залежно від зубів, які нарізають, рух подачі має інструмент або заготовка.

У зубодовбальних верстатах рух різання здійснюється зворотно-поступальним переміщенням інструменту (довб'яка). Стіл із заготовкою отримують обертовий рух, узгоджений з обертанням довб'яка.

У зубостругальних верстатах для оброблення конічних коліс з прямими зубами рух різання здійснюють різці, що переміщуються зворотно-поступально в радіальному напрямі до центру верстата. Заготовка, яка встановлена на ділильній головці, здійснює рух обкатування з підведенням і відведенням відносно інструменту. Обертання заготовки узгоджене з обертанням супорта, на якому встановлені різці.

В зубошліфувальних верстатах, які обробляють зуб торцевими поверхнями кругів, головний рух – обертання, здійснює шліфувальний круг, який подається (рух подачі) уздовж осі оброблюваного колеса. Заготовка (колесо) обертаючись, здійснює рух радіальної подачі. За один цикл обробляється один зуб колеса,



потім відбувається поворот заготовки на один зуб. При шліфуванні черв'ячним кругом рух різання здійснюється так само як і при обробленні черв'ячною фрезою. При шліфуванні методом копіювання дисковим шліфувальним кругом головний рух – обертання, здійснює шліфувальний круг, він же здійснює і рух подачі. Заготовка після оброблення однієї впадини повертається на один зуб.

В зубопротягувальних верстатах головний рух обертовий, який здійснює протяжка. Заготовка повертається на один зуб після оброблення однієї впадини, цикл повторюється до оброблення всіх впадин зубчастого колеса.

Зубообробне устаткування і інструмент можна вважати найскладнішим, найдорожчим і, як наслідок, таким, що вимагає відповідного рівня знань і досвіду їх обслуговування.

## **15 Нарізування зубів циліндричних коліс**

### **15.1 Нарізування дисковими модульними фрезами**

При обробленні зубів дисковими модульними фрезами профіль фрези відповідає профілю впадини зуба. Фрези виготовляються набором для кожного модуля. Використовуються набори з 8 ( $m < 8$ ), 15 ( $m = 9 - 16$ ) та 26 ( $m > 16$ ) фрез, тобто кожна фреза з набору нарізає зубчасті колеса з певним числом зубів. Наприклад, перша фреза з набору з 8 фрез дозволяє нарізувати колеса з 12 і 13 зубами, друга з 14, 15 і 16 зубами і так далі. Така кількість фрез у наборі необхідна тому, що для різного числа зубів одного модуля розміри впадин між зубами різні. Зазвичай застосовують набір з 8 фрез, оброблення якими дозволяє отримувати зубчасті колеса 9 ступеня точності. Для виготовлення більш точних коліс використовуються набори з 15 або 26 фрез. Фрези нумерують порядковими номерами (1, 2, 3 ...), починаючи з мінімального числа зубів колеса.

Вибір однієї фрези з набору дозволяє обробити заготовки з різним числом зубів, але лише профіль впадини з найменшим числом зубів відповідає профілю даної фрези, а при більшому числі зубів колеса, дана фреза вноситиме похибку,

що позначиться на припуску при подальшому обробленні зубчастого колеса.

Нарізування зубів проводять на універсально-фрезерних верстатах з допомогою ділильної головки (рис. 15.1, 15.2), яка встановлюється на столі фрезерного верстата. З її допомогою здійснюється точний поворот заготовки зубчастого колеса на кут, що відповідає кроку зубів.

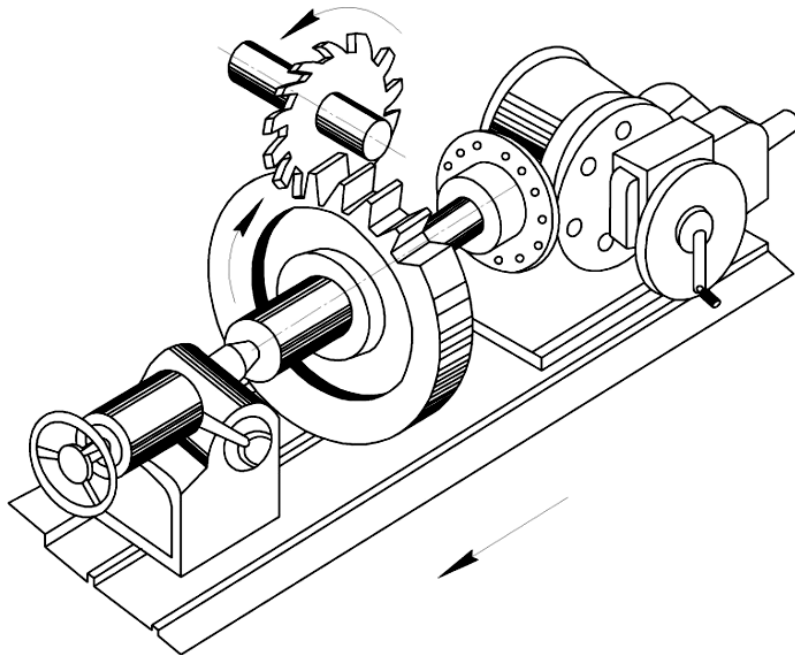


Рисунок 15.1 – Схема нарізування зубів за допомогою ділильної головки

Універсальна ділильна головка (рис. 15.2) складається з корпусу 1, поворотного барабана 2 і шпинделя 4 з центром. На шпинделі жорстко закріплене зубчасте колесо ( $Z_{чк} = 40$ ), що перебуває в зачепленні з однозахідним черв'яком ( $k = 1$ ). Отже, при одному оберті черв'яка черв'ячне колесо з шпинделем зробить  $1/40$  оберту. Обертання шпинделя здійснюється рукояткою 6. На передньому кінці шпинделя закріплюється кулачковий патрон. Ділильний диск 5 з отворами закріплений на порожнистому валу, всередині якого розташований вал рукоятки 6. Для зручності користування диском 5 передбачений розсувний сектор 7, що складається з двох ніжок, які встановлюють так, щоб між ними було необхідне число отворів на диску. На шпинделі 4 закріплений лімб 3 для ділення заготовки на частини.

Ділильний диск має концентричні кола з числом отворів на одній стороні 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31 і 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54 на іншій. Універсальні ділильні головки дозволяють здійснювати безпосереднє, просте і диференціальне ділення.

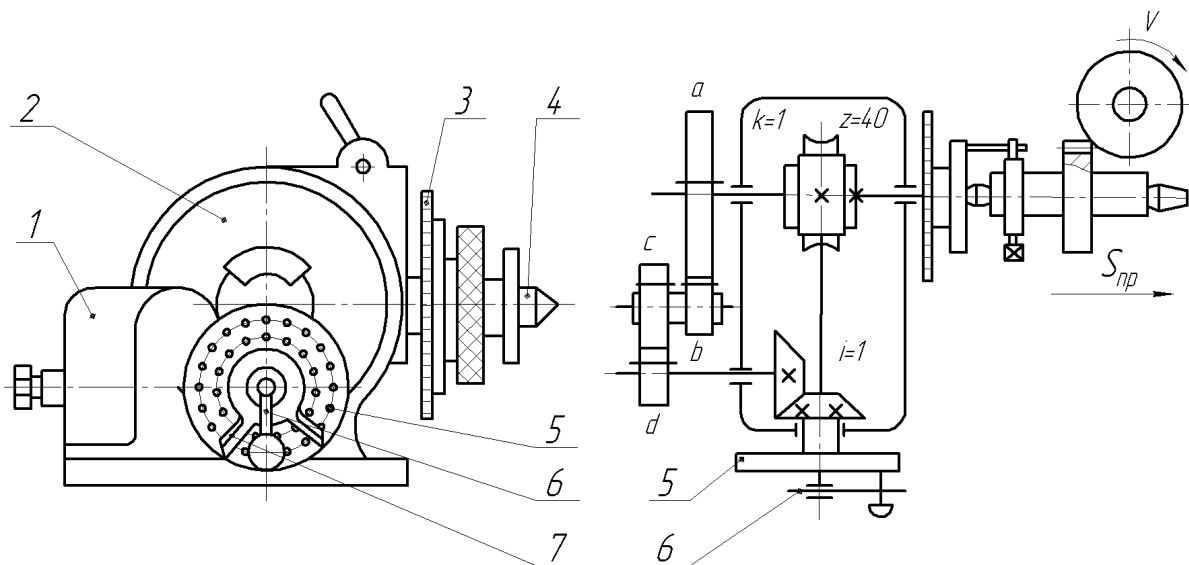


Рисунок 15.2 – Загальний вигляд і кінематична схема універсальної ділильної головки, налаштованої на диференціальний поділ

Дисковими модульними фрезами (рис. 15.3, а,) на відміну від пальцевих, не можна обробляти зубчасті вінці без вільного виходу інструменту, проте конструктивні і технологічні можливості у них ширші – вони забезпечують різні схеми різання і комбінації різальних елементів. За допомогою здвоєних дискових фрез можна значно підвищити продуктивність оброблення, але вони вимагають спеціального устаткування і оснащення. Оброблення дисковими модульними фрезами проводиться методом копіювання (ділення) циліндричних прямозубих і косозубих коліс 9-10 ступеня точності. Оброблення виконується на фрезерних верстатах. Фреза є типовою, затилованою, а профіль зуба виконується евольвентим, причому фрези для чорнової оброблення виготовляють з нешліфованим зубом, а для чистового – з шліфованим. Чорнові фрези на робочому профілі часто мають канавки для подрібнення стружки, які розташовані в шаховому порядку (передній кут  $\gamma = 4-10^\circ$ , задній  $\alpha = 10-15^\circ$ ). Чистові фрези виконують без стружкових канавок і переднім кутом  $\gamma = 0^\circ$ .

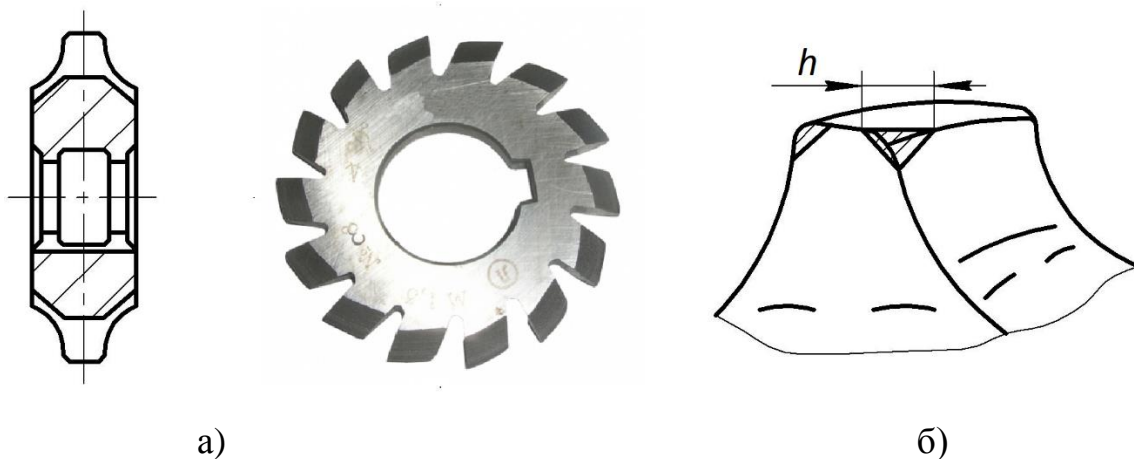


Рисунок 15.3 – Диска модульна фреза з швидкорізальної сталі (а) та зношення її різальних зубів (б)

Суцільні дискові модульні фрези зазвичай виготовляють із сталі Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5 і інших, збірні – з твердого сплаву ВК6, ВК8, Т5К10 і ін. Кріпильна частина фрез виготовляється із сталі 40Х, 45 та ін.

Недоліками оброблення зубів дисковими фрезами є відносно низька точність і продуктивність оброблення. Зношення зубів (рис. 15.3, б) дискової модульної чорнової фрези при обробленні заготовок із сталі складає 0,8-1,0 мм, чистової фрези – 0,2-0,4 мм.

Дисковими фрезами зубчасті колеса обробляють послідовно з періодичним поворотом заготовки на кутовий крок зубів після оброблення кожної впадини.

При обробленні впадин зубів дисковими модульними фрезами лімітуючим чинником зазвичай є навіть не похибка форми профілю, а похибка кроку, яка залежить від точності механізму ділення. Також модульними фрезами можна оброблювати шестерні з різною формою зуба. Основним видом використання дискових фрез є чорнове нарізування зубів циліндричних коліс.

Для підвищення продуктивності оброблення проводять фрезерування одночасно декількох зубчастих коліс на одній оправці або розміщують на шпindelній оправці декілька дискових фрез (рис. 15.4) Не дивлячись на низьку продуктивність, цей метод дозволяє отримати зубчасті поверхні за відсутності спеціальних зубообробних верстатів. Чорнове нарізування коліс середніх модулів можна проводити не модульними, а дисковими кутовими фрезами.

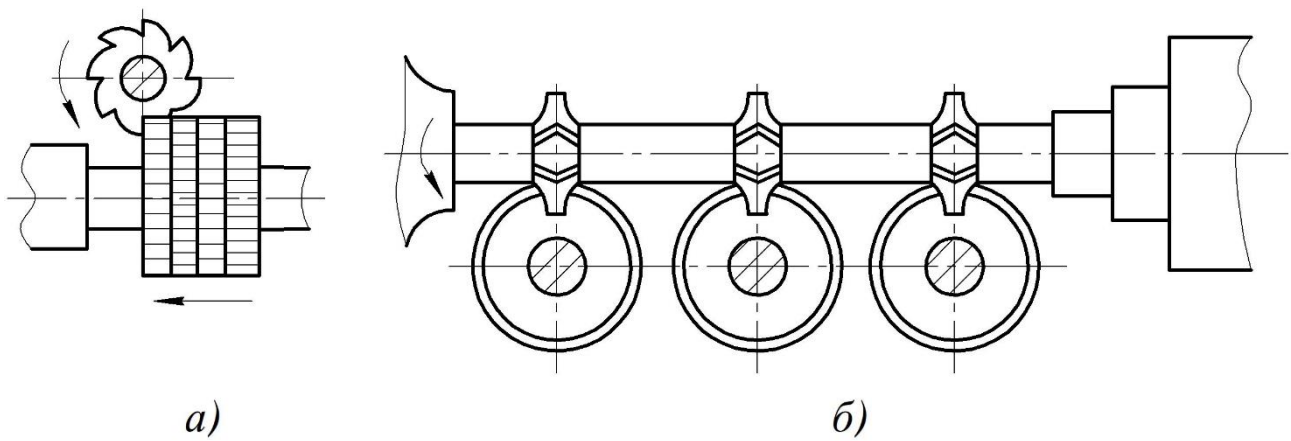


Рисунок 15.4 – Нарізування коліс дисковими модульними фрезами:  
*a* – декількох заготовок на одній оправці; *б* – трьома фрезами одночасно

Щоб підвищити продуктивність оброблення, дискові фрези встановлюють в блоці з двох або трьох штук, що дозволяє вести одночасне оброблення відповідно двох або трьох впадин (рис. 15.5).

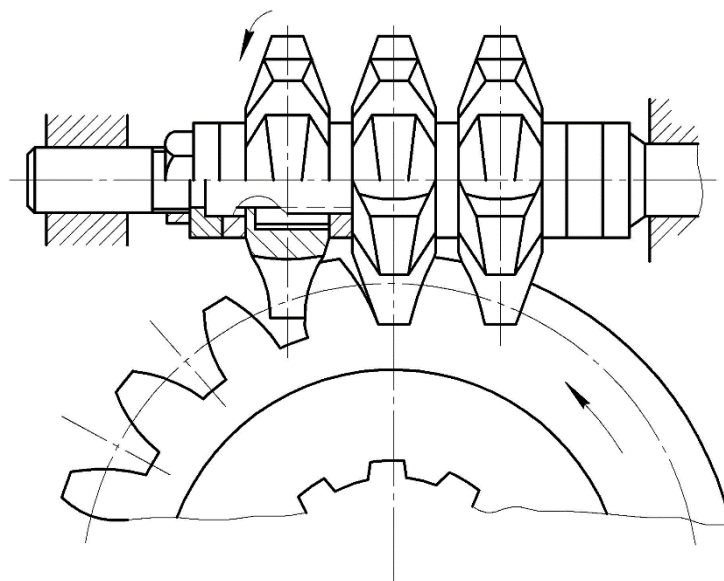


Рисунок 15.5 – Нарізування зубів дисковими кутовими фрезами

При обробленні двох впадин обидві фрези встановлюються симетрично осі колеса. Коли встановлюється три фрези, то середня фреза повинна розташовуватися симетрично осі оброблюваного колеса. В випадку, коли в комплекті передбачена чистова фреза, то центрування відносно осі колеса проводиться лише по ній. Вузькі зубчасті колеса можна обробляти пакетом.

## 15.2 Оброблення пальцевими модульними фрезами

Пальцеві модульні фрези застосовують для оброблення прямозубих, косозубих і шевронних коліс модулем від 10 до 50 мм. Ними можна обробляти і закриті вінці зубчастих коліс. Для оброблення прямозубих коліс фреза в перерізі по вертикальній площині має форму, що відповідає впадині між зубами. Для оброблення косозубих і шевронних коліс профіль зуба фрези повинен відрізнятися від профілю впадини. Профіль зубів пальцевої фрези шліфують і затилують.

В процесі оброблення пальцева фреза суміщається з віссю симетрії впадини колеса, обертається (головний рух) і здійснює рух подачі по довжині колеса, яке нарізується (рис. 15.6).

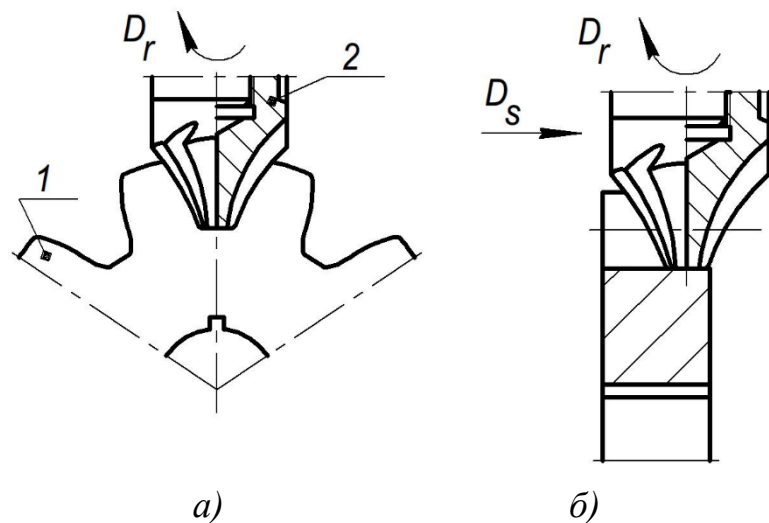


Рисунок 15.6 – Схема оброблення зуба колеса пальцевою модульною фрезою:

1 – зубчасте колесо; 2 – модульна пальцева фреза

Через порівняно малий діаметр кількість різальних зубів пальцевої фрези невелике (до восьми).

В міру переточування може з'явитися похибка форми різальних кромek фрези, що викликає ймовірність появи похибки форми зубів коліс, що нарізуються.

Пальцевими модульними фрезами проводять як чорнове, так і чистове

оброблення впадин зубів коліс. Чорнові фрези мають канавки для подрібнення стружки, які розташовані в шаховому порядку, аналогічно до звичайних циліндричних пальцевих фрез, а передній кут різальних кромок дорівнює  $5-10^\circ$ . Різальні кромки зубів чистової модульної фрези не мають подрібнюючих канавок, а передній кут дорівнює нулю. Такі фрези зазвичай виготовляють суцільними з швидкорізальної сталі або з напаяними пластинами з швидкорізальної сталі або твердого сплаву, а чорнові крупномодульні фрези виготовляють з твёрдосплавними пластинами (Т5К10, Т15К6 та ін.).

Точність нарізування зубів дисковими і кінцевими модульними фрезами невисока. Це зумовлено неточністю профілювання фрез при їх виготовленні для різного числа зубів; похибками встановлення фрез відносно осі колеса; неточністю ділильних пристосувань, які застосовують для повороту на один зуб при нарізуванні колеса. Кінцеві фрези працюють у гірших умовах, тому що через їх консольне закріплення зусилля подачі викликає згинальний момент.

### **15.3 Фрезерування зубів черв'ячними модульними фрезами**

Черв'ячна фреза являє собою черв'як, що має профіль гвинтових ниток в осьовому січені у вигляді зубчастої рейки, і поздовжні канавки, які створюють різальні зуби рейки (рис. 15.7). Зубчаста рейка забезпечує зачеплення з евольвентними колесами будь-якої кількості зубів, черв'ячна фреза може нарізувати колеса з будь-яким числом зубів (того ж модуля і кута зачеплення) однаково точно. У цьому полягає одна з великих переваг нарізування зубчастих коліс черв'ячною фрезою.

Обертання фрези відповідає поступальному переміщенню рейки. В процесі роботи фреза нарізує зуби на колесі, створюючи зачеплення, яке відповідає зачепленню черв'яка з черв'ячним колесом. Черв'ячну фрезу можна уявити як ряд гребінок, зібраних на циліндрі і зміщених одна відносно іншої або у вигляді черв'яка, що має різальні кромки.

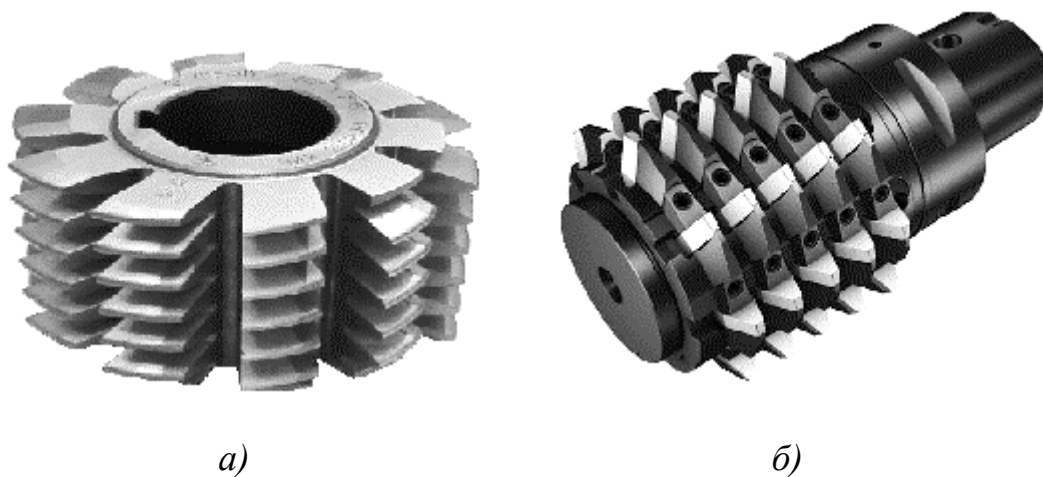


Рисунок 15.7 – Загальний вигляд суцільної, (а) і збірної (б) черв'ячних фрез

Черв'ячні фрези для нарізування циліндричних зубчастих коліс поділяють на чорнові, чистові і особливо точні (прецизійні). Чорнові фрези виготовляють із зниженою точністю і часто нешлифованим профілем зуба. Їх можна також розділити за напрямом гвинтової лінії зубів на правозахідні і лівозахідні; за числом заходів – на однозахідні і багатозахідні.

Черв'ячні фрези можуть виконуватися суцільними або збірними (рис. 15.7). Суцільні конструкції фрез виготовляють з швидкорізальних сталей, а збірні, як правило, оснащені ріжучими елементами з твердого сплаву.

У діапазоні модулів від 1 до 12 мм можна застосовувати черв'ячні фрези з клиновим кріпленням твердосплавних рейок і з вклеєними різальними елементами.

Нарізування зубів коліс черв'ячними модульними фрезами більш продуктивне, ніж пальцевими і дисковими фрезами, і широко застосовується при нарізуванні прямозубих, косозубих і черв'ячних коліс, а також шліцевих валів.

Процес зубофрезерування здійснюється на спеціальних зубофрезерних напівавтоматах моделей 5303ПТ, 5304В, 53А20 та ін. Діаметр заготовок, що обробляються на цих верстатах, змінюється в діапазоні 20 - 3200 мм, а модуль – від 1 до 35 мм.

Залежно від розташування осі заготовки зубофрезерні верстати поділяють на вертикальні і горизонтальні. Вертикальні верстати можуть виконуватися з



рухомим столом, на якому кріпляться заготовки або рухомою стійкою, на якій кріпиться інструмент. Компонування верстатів з нерухомим столом зручніше. Горизонтальні верстати призначені для оброблення крупних, важких заготовок. Для відносно невеликих розмірів заготовок рухомим зазвичай виконується стіл. Для дуже крупних заготовок рухомою (у горизонтальному напрямі), як правило, є інструментальна стійка. Горизонтальні верстати часто використовують для оброблення заготовок типу «вал-шестерня» і шліцевих валів.

Інструмент (черв'ячну фрезу) на верстаті встановлюють так, щоб витки фрези з боку прямозубого колеса були розташовані уздовж осі колеса. Часто рух подачі здійснюється переміщенням фрези уздовж осі заготовки.

Черв'ячні фрези виготовляють таких типів:

- 1) суцільні прецизійні фрези модулів 1-10 мм класів точності AAA і AA;
- 2) суцільні фрези модулів 1-10 мм класів точності A, B, C, D і класу точності AA; модулів 11-14 мм класів точності AA, A, B, C, і D; модулів 16-20 мм класів точності AA і A;
- 3) збірні фрези модулів 8 - 25 мм класів точності A, B, C, і D.

Багатозахідні фрези регламентовані класами точності від A до D.

Профіль зубів багатозахідних фрез має потовщення на вершині зуба (вусики), що дозволяє полегшити умови подальшого оброблення зуба, наприклад, при шевінгуванні. Стандартні фрези мають передній кут при вершині зуба  $\gamma = 0$ , задній кут  $\alpha = 9-12^\circ$ . Слід враховувати, що збільшення переднього кута ( $\gamma = 8-15^\circ$ ) полегшує умови різання, підвищує стійкість фрез. Передній кут  $\gamma = 5-7^\circ$  забезпечує підвищення точності оброблення у чистових фрез. Задні кути (по вершині і бічних сторонах) отримують за рахунок затилювання (по Архімедовій спіралі). Напрямок стружкових канавок (при нарізуванні прямозубих коліс) не має значення. Для коліс з правим напрямом зубів застосовують правозахідні фрези, для коліс з лівим напрямом – лівозахідні. Частіше виготовляються правозахідні фрези з прямими і гвинтовими стружковими канавками.

Прямі канавки в порівнянні з гвинтовими забезпечують кращі умови різання і простіше переточування. На відміну від модульних дискових і

пальцевих фрез, що працюють по методу копіювання, черв'ячна фреза працює по методу обкату, отже, одним інструментом можна нарізувати будь-яке число зубів одного модуля, за умови, що відношення числа зубів оброблюваного колеса  $Z_K$  до заходів фрези  $Z_\phi$  дорівнює відношенню числа обертів фрези  $n_\phi$  до обертів колеса  $n_K$ , тобто  $Z_K / Z_\phi = n_\phi / n_K$ . При обробленні зубчастих коліс з модулем від 1 до 12 частіше використовують збірні черв'ячні фрези класу А і В. Фрези з поворотними пластинами, що переставляються (в міру зношення), дозволяють підвищити ефективність застосування збірних конструкцій.

При різанні черв'ячна фреза обертається і рухається поступально відповідно до обертання зубчастого колеса, яке нарізується (рис. 15.8).

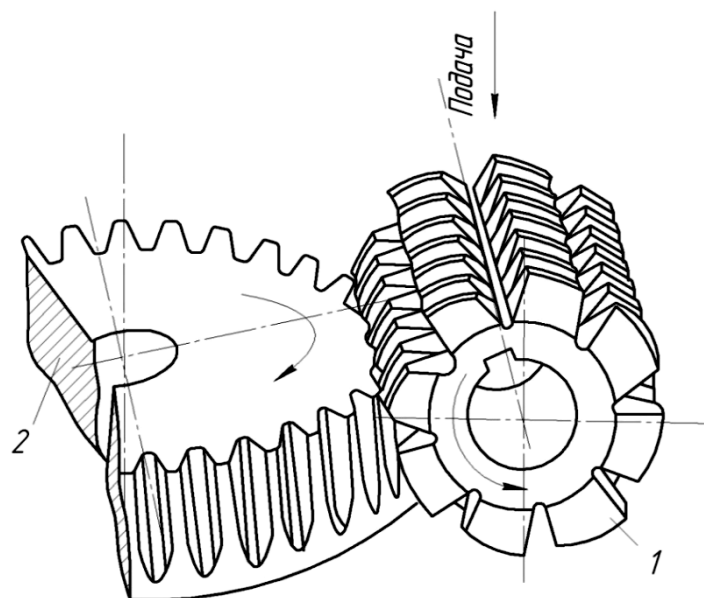


Рисунок 15.8 – Схема нарізування зубів черв'ячною модульною фрезою:

1 – черв'ячна модульна фреза; 2 – заготовка зубчастого колеса

Вісь черв'ячної фрези 1 встановлюється під кутом до площини торця колеса, яке нарізають 2, рівним куту підйому нитки фрези на її ділільному циліндрі. Черв'ячна фреза окрім обертання має ще і поступальний рух подачі вздовж твірної бічної циліндричної поверхні колеса, яке нарізується. Процес різання при цьому відбувається безперервно, в якому бере участь одночасно декілька різальних зубів, завдяки чому цей спосіб нарізування зубів є одним з

найбільш продуктивних.

Черв'ячну фрезу встановлюють або на повну висоту зуба (тобто глибину різання) при нарізуванні зубів за один робочий хід, або при нарізуванні зубів з модулем більше 8 мм за два робочих ходи – на 0,6 висоти зуба при першому і на 0,4 – при другому робочому ході. Для чистового робочого ходу залишають припуск від 0,5 до 1 мм на товщину зуба по початковому колу (для розмірів модуля 8-15 мм).

Звичайними черв'ячними фрезами нарізують зуби як з нормальним, так і з коригованим профілем. В останньому випадку фрезу, відповідно умовам коригування, зміщують при установці, наближаючи її до заготовки або віддаляючи від неї.

На зубофрезерних верстатах можна проводити нарізування зубів попутним (рис. 15.9, а) або зустрічним (рис. 15.9, б) фрезеруванням. Зазвичай при нарізуванні зубів коліс використовується зустрічне фрезерування. Проте попутне зубофрезерування є продуктивнішим процесом, оскільки зменшується зношення зубів по задніх поверхнях, підвищується якість оброблених поверхонь за рахунок сприятливішого розподілу навантажень на зуби фрези.

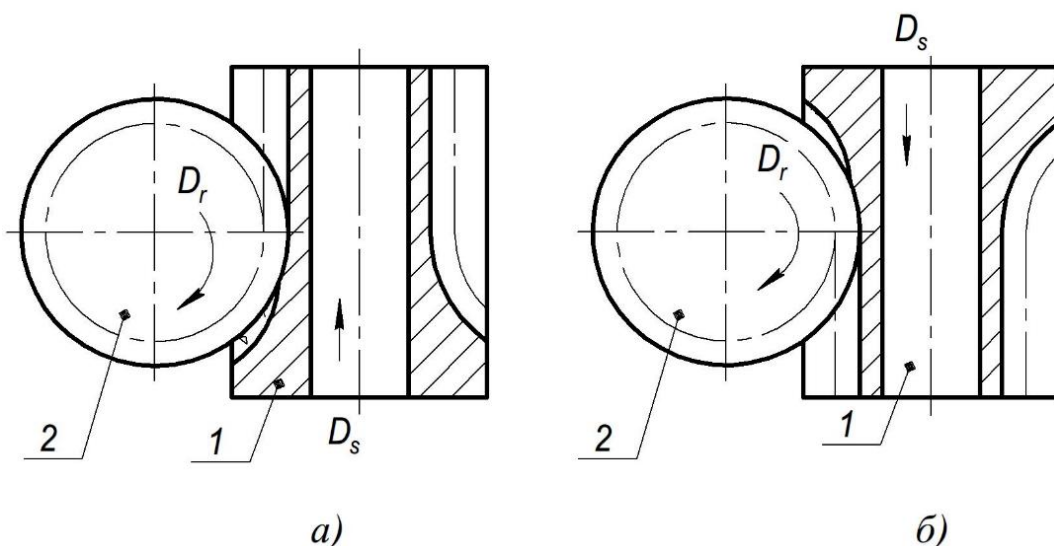


Рисунок 15.9 – Нарізування зубів черв'ячною фрезою:

а – зустрічне; б – попутне; 1 – заготовка; 2 – черв'ячна фреза

Зона контакту фрези і заготовки при попутному фрезеруванні довша, ніж

при зустрічному, кількість зубів, що беруть участь в різанні більша. При обробленні зубчастих коліс черв'ячними фрезами перевагу слід віддавати попутному фрезеруванню, що сприяє підвищенню стійкості інструменту. Із зменшенням діаметра фрези зменшується довжина шляху врізування і зменшується основний технологічний час, але погіршується якість оброблюваних поверхонь. Проте попутне фрезерування далеко не завжди ефективне, оскільки із зменшенням модуля і кількості зубів колеса зона контакту зменшується і перевага попутного зубофрезерування сходить нанівець. Тому попутне фрезерування доцільно застосовувати при обробленні зубчастих коліс з середнім модулем і числом зубів.

Фрезерування зубів черв'ячними модульними фрезами можна проводити з осью, радіально-осьовою та з діагональною подачею і за два робочих ходи (двопрохідне) зубофрезерування.

Фрезерування з осью подачею здійснюється при подачі фрези паралельно осі колеса, яке обробляється (рис. 15.10, а). У цьому випадку фрезу встановлюють відразу на повну висоту зубів і вона має один рух подачі вздовж осі колеса. Цей спосіб найбільш поширений. До його недоліків можна віднести відносно велику довжину врізування фрези, яка залежить від її діаметра і кута нахилу зуба.

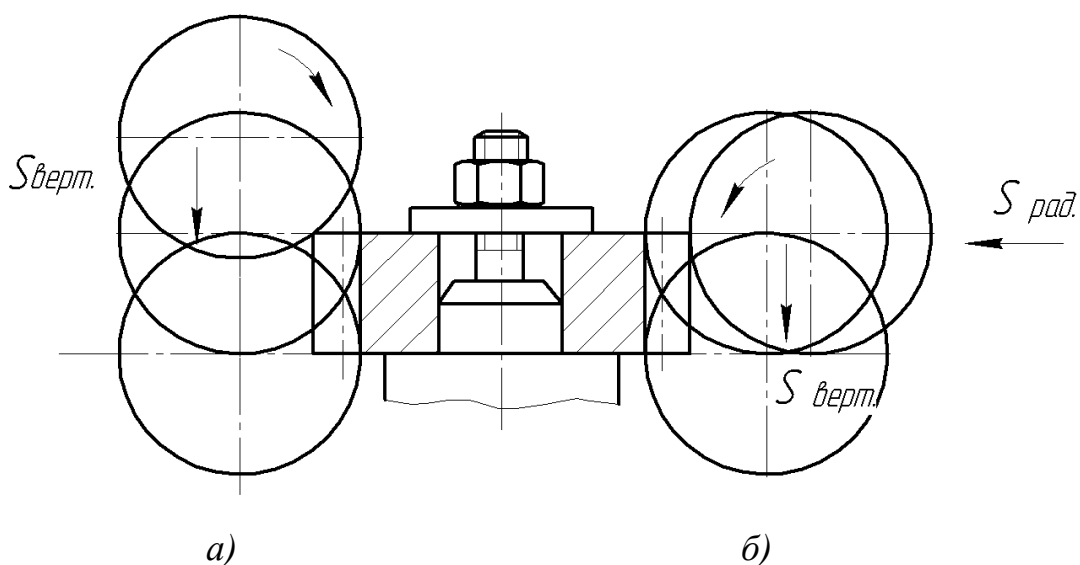


Рисунок 15.10 – Схеми зубофрезерування:

а – з осью подачею, б – з радіальною та осевою подачами

При фрезеруванні з радіально-осьовою подачею на початку фреза здійснює радіальну подачу, потім осьову. Цей спосіб доцільно застосовувати для оброблення закритих вінців зубчастих коліс і для скорочення часу врізування. Недоліком цього способу є необхідність використання спеціальних зубофрезерних верстатів.

Значна частина часу зубофрезерування витрачається на врізування, особливо при застосуванні черв'ячних фрез великого діаметра, оскільки із збільшенням діаметра фрези зростає довжина врізування. Для прямозубих коліс середніх модулів час врізування складає 30-40% машинного часу. При осьовому врізуванні подачу зазвичай дещо знижують в порівнянні з подальшою подачею при різанні.

Трудомісткість врізування можна зменшити приблизно на 30% заміною осьового врізування радіальним, зберігаючи подальшу поздовжню подачу. При цих умовах верстат і інструмент протягом всього процесу оброблення завантажуються більш рівномірно.

Діагональне зубофрезерування забезпечує рівномірне зношення всіх зубів на робочій довжині фрези, підвищення її стійкості і одночасне поліпшення якості профілю зубів колеса. Принцип фрезерування з діагональною подачею полягає в тому, що фреза переміщається по діагоналі паралелограма, утвореного поєднанням рухів осьової і тангенціальної подачі, тобто переміщається під кутом до осі колеса, яке обробляють. Цей спосіб доцільно застосовувати для оброблення широких зубчастих коліс (пакету коліс) і коліс, що не підлягатимуть подальшому чистовому обробленню. Перевагою цього способу перед фрезеруванням з осьовою подачею є те, що зубчасті колеса краще припрацьовуються, але цей спосіб вимагає застосування спеціальних верстатів.

Двопрохідне фрезерування (оброблення за два робочих ходи) здійснюється послідовно при одному закріпленні заготовки. Процес аналогічний фрезеруванню з осьовою подачею, з тією лише різницею, що робочі ходи виконуються послідовно (перший робочий хід на попутній, а другий на зустрічній подачі). Після першого ходу, який виконано на попутній подачі,

відбувається подача фрези на глибину 0,35 - 1,0 мм, збільшується швидкість різання і другий робочий хід здійснюється на зустрічній подачі. Перевагою цього способу є висока якість оброблення. Недолік в тому, що він може бути застосований тільки для коліс модулем більше 4,5 мм і, як правило, вимагає більшого часу на оброблення.

Кожен з названих способів фрезерування має свої переваги і недоліки. Спосіб фрезерування зубчастих коліс черв'ячною фрезою з радіально-осьовою подачею вимагає застосування спеціальних верстатів, спостерігається підвищене зношення зубів фрези, що змушує знижувати радіальну подачу (до 0,7 мм/об), але в порівнянні з способом з осьовою подачею інструменту, скорочується час на врізування фрези. Радіально-осьову подачу доцільно використовувати при обробленні закритих зубчастих вінців і при роботі фрезами великого діаметру, тобто в умовах обмеженого робочого простору. Оброблення зубів фрезами з діагональною подачею підвищує стійкість фрез (через більш рівномірне їх зношення).

Нарізування зубів з модулем до 5 мм проводиться за один робочий хід. Зуби з великим модулем нарізують за два або три переходи з проміжними припусками. Точність зубофрезерування відповідає 7-8 ступеню точності зубчастих коліс з шорсткістю поверхні до 0,63 мкм.

Недоліком зубофрезерування є нерівномірність зношення зубів фрези, оскільки весь припуск видаляється першими двома-трьома зубами. Вершинні різальні кромки зрізують до 80% загального припуску в суцільному металі, тобто працюють в несприятливих умовах. Зношення черв'ячних фрез оцінюють за задньою поверхнею і кутами різальних кромок. При чорновому обробленні сталевих і чавунних коліс зуби фрези з швидкорізальної сталі повинні мати величину зношення не більше 0,5-1,0 мм, для чистової – 0,2-0,4 мм. Для більш рівномірного зношення зубів кінематикою верстата надають фрезі додаткового переміщення вздовж її осі або перевстановлюють фрезу в осьовому напрямку після нарізування певної кількості зубчастих коліс.

## 15.4 Нарізування зубів довб'яками

Зубодовбанням називається стругання зубів інструментом у вигляді зубчастого колеса, контур торця зубчастого вінця якого служить різальною кромкою. Цей метод застосовується для оброблення прямозубих і косозубих циліндричних коліс різної конфігурації, зблокованих коліс, зубчастих рейок і шевронних коліс.

Нарізування зубів циліндричних зубчастих коліс на зубодовбальних верстатах проводиться двома методами: обкатування – круглими довб'яками або зубчастою рейкою і копіюванням – спеціальною різцевою головкою.

Найбільше застосування в промисловості отримав метод обкатування круглими довб'яками. Оброблення проводять на зубодовбальних верстатах з одним вертикальним інструментальним шпинделем або на верстатах з двома протилежно розташованими горизонтальними шпинделями.

Метод обкатування круглим довб'яком більш універсальний, його технологічні можливості значно ширші, ніж при фрезеруванні черв'ячними фрезами.

Зубодовбання широко застосовують не лише там, де внаслідок геометрії колеса не можна використовувати зубофрезерування, але і для нарізування стандартних високої якості. Ступінь точності виготовлення зубчастих коліс круглими довб'яками при застосуванні довб'яків класу АА-6-а, класу А-7- а і класу В-8- а (ГОСТ 1643-81). Шорсткість поверхні профілів зубів  $Ra$  0,8-0,6 мкм.

На відміну від нарізування зубів черв'ячними фрезами зубодовбання дозволяє обробляти зубчасті вінці там, де немає достатнього простору для виходу фрези (рис.15.11). Деякі типи зубчастих коліс можуть бути нарізані тільки довб'яками, до них належать блоки зубчастих коліс з близько розташованими вінцями, зубчасті рейки, шевронні колеса без канавки між зубами і з канавками, короткі шліцеві вали, а також копії зі складною формою зубів. У таких випадках зубодовбання стає єдиним економічно доцільним методом оброблення.

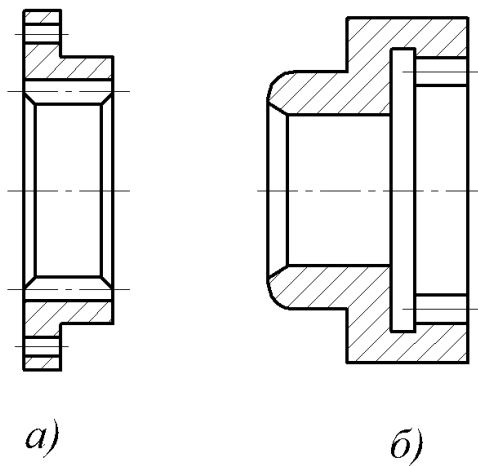


Рисунок 15.11 – Зубчасті колеса внутрішнього зачеплення, вінці яких не мають достатнього простору для виходу фрези:

*a* – відкритий зубчастий вінець; *б* – закритий зубчастий вінець

При обробленні відкритих вінців зубчастих коліс малих модулів (до 2,5 мм) зубодовбання не лише не поступається, але часто перевершує за продуктивністю зубофрезерування. При обробленні коліс модулем від 2,5 до 5 мм з метою підвищення продуктивності можуть застосовуватися комбіновані схеми оброблення, що суміщають чорнове і чистове оброблення зубів.

В загальному випадку зубодовбанням можна забезпечити вищу точність оброблення, але через втрати на холості ходи цей метод за продуктивністю все ж таки поступається зубофрезеруванню.

В машинобудуванні при обробленні зубчастих коліс зубодовбання займає друге місце (після зубофрезерування черв'ячними фрезами) і застосовується там, де метод фрезерування застосовувати дорого або неможливо.

Довб'яками нарізують зуби на зубодовбальних напівавтоматах моделей 5111, 5122, 5М161 та ін. Діаметр заготовки, яка оброблюється на цих верстатах може змінюватися в діапазоні 80-1250 мм, модуль зубчастих коліс – 1-12 мм. На сучасних зубодовбальних верстатах сталеві зубчасті колеса обробляють з швидкістю різання 0,2-0,3 м/с і круговою подачею 0,2-0,4 мм на подвійний хід.

На рис. 15.12 зображена принципова схема роботи вертикального зубодовбального верстата.



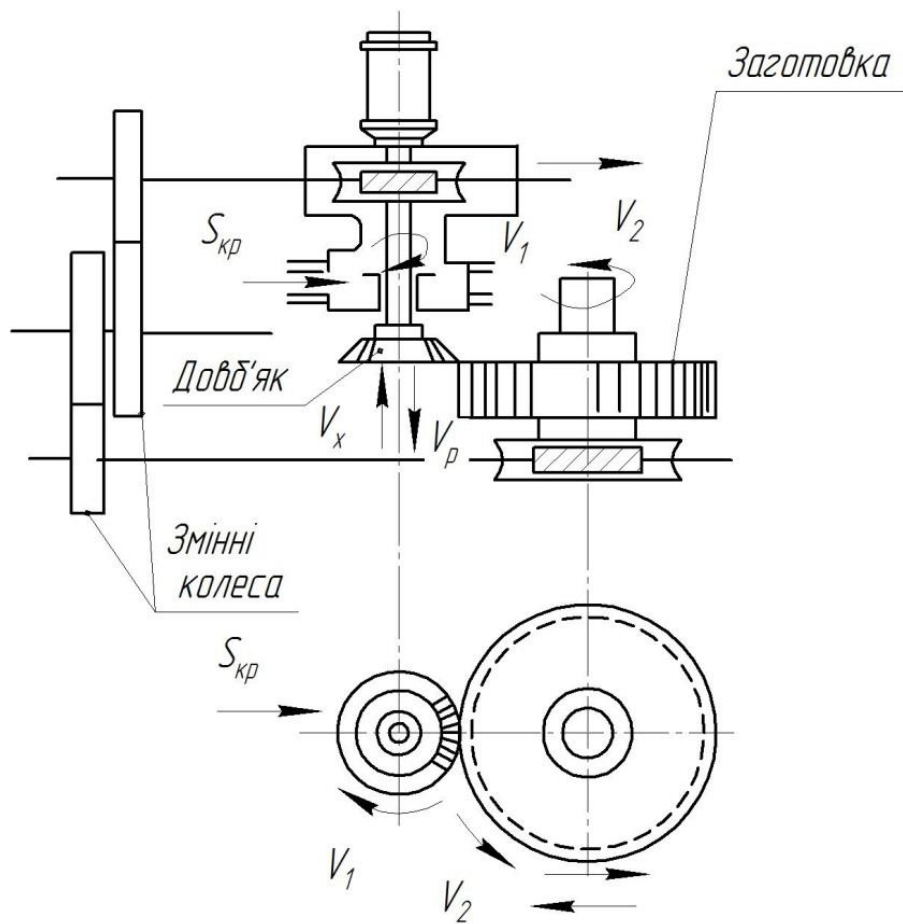


Рисунок 15.12 – Схема роботи вертикального зубодовбального верстата

Різальним інструментом є довб'як, який рухається зворотно-поступально паралельно осі заготовки. Головний (робочий) рух – рух різання  $V_p$ . При зворотному (холостому) ході  $V_x$  різання не проводиться. Здійснюють рух кругової подачі  $S_{кр}$ , забезпечуючи обертовий рух і довб'яку і заготовці в напрямках  $V_1$  і  $V_2$  таким чином, щоб вони оберталися так, як оберталися б, будучи в зачепленні, два зубчасті колеса. Для цього довб'як і заготовку сполучають жорстким кінематичним ланцюгом із змінними зубчастими колесами і реверсивним пристроєм. При довбанні зубів коліс з зовнішнім зачепленням напрям обертання довб'яка протилежний до напрямку обертання заготовки, а при довбанні коліс з внутрішнім зачепленням ці напрями співпадають.

Зубодовбальні верстати мають короткий кінематичний ланцюг і велике число подвійних ходів (2500 і більше), що дозволяє застосовувати як швидкорізальний, так і твердосплавний інструмент. Режими різання для

чорнового і чистового оброблення змінюються автоматично. Верстати мають високу жорсткість. Відведення заготовки при зворотному ході інструменту здійснюється автоматично по заданій траєкторії. Гідростатичні направляючі і підшипники забезпечують високу точність оброблення.

Твердосплавним інструментом оброблюють в основному заготовки з важкооброблюваних матеріалів і твердістю до 42-61 HRC.

Застосування операції зубодовбання часто економічно доцільно при обробленні коліс з вузьким вінцем (ободом), модулем до 2 мм і великим числом зубів (навіть у тих випадках, коли можливе оброблення і черв'ячною фрезою).

Довб'яки випускаються трьох класів точності *AA*, *A* і *B* (ГОСТ 1643-81). Довб'яки рідко виготовляються з твердих сплавів, в більшості випадків використовують швидкорізальні сталі. Твердість різальної частини довб'яків, що виготовляються з швидкорізальної сталі становить 62-68 HRC.

Розрізняють дискові, чашкові і хвостові зуборізні довб'яки (рис. 15.13). Дисковими і чашковими довб'яками обробляють лише зовнішні зуби коліс. Хвостові довб'яки застосовують для оброблення коліс внутрішнього зачеплення.

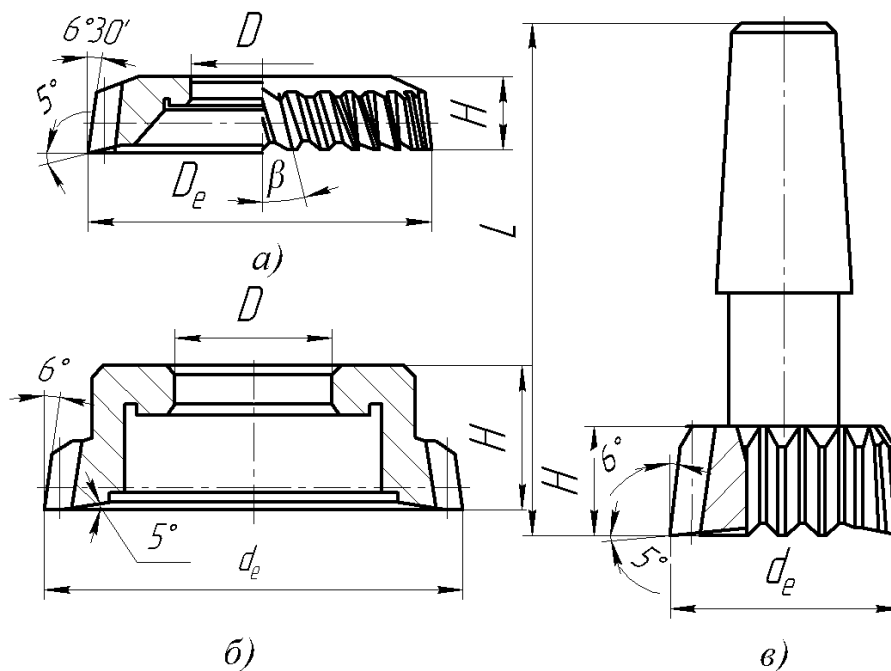


Рисунок 15.13 – Види довб'яків:

*a* – насадний дисковий довб'як; *б* – насадний чашковий довб'як;

*в* – хвостовий довб'як

Для нарізування прямозубих коліс застосовуються дискові довб'яки, косозубих – косозубі довб'яки, прямозубих коліс в упор – чашкові довб'яки, для коліс з внутрішнім зачепленням – хвостові довб'яки, шевронних коліс – косозубі парні довб'яки. При нарізуванні косозубих коліс косозубий довб'як здійснює додатковий поворот у напрямі нахилу зуба колеса, яке нарізають.

Типовий довб'як можна уявити собі як кориговане колесо, причому якщо розвернути його, то він перетвориться на зуборізну рейку (гребінку). Зазвичай всі довб'яки заточують по передній поверхні зуба ( $\gamma = 5-9^\circ$ ). Із збільшенням переднього кута стійкість довб'яка підвищується, але профіль зубів колеса, яке нарізають, спотворюється, тому передній кут, як правило, не перевищує  $5^\circ$ . Задній кут при вершині виконують в межах  $4-8^\circ$ , його збільшення призводить до зниження стійкості інструменту. Кут бічної різальної кромки складає  $2-3^\circ$ . Зуборізні дискові довб'яки виготовляють затилованими та з евольвентним профілем зубів.

В процесі оброблення довб'як здійснює зворотно-поступальний рух паралельно осі оброблюваного колеса (рис. 15.14). Довб'як і колесо обертаються навколо своїх осей, при безперервному русі обкату проходить зближення осей довб'яка і колеса. Слід враховувати, що процес різання переривистий, тому профіль зубів зазвичай має ограновування в поперечному напрямі.

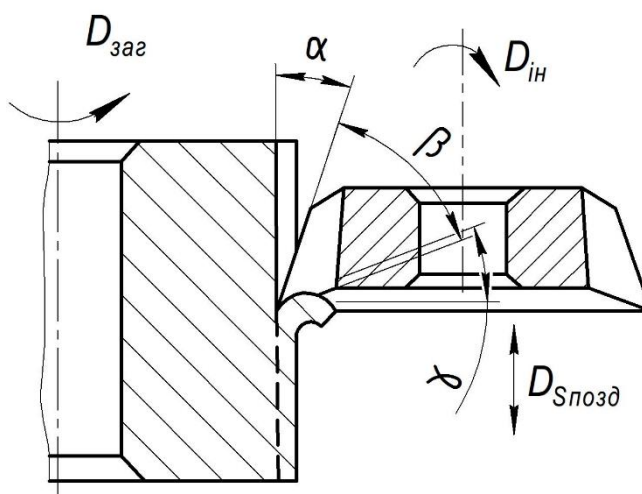


Рисунок 15.14 – Схема оброблення зубів одновінцевого плоского колеса насадним дисковим довб'яком

Нарізування зубів круглим дисковим довб'яком здійснюється в результаті взаємного обертання навколо своїх осей заготовки і довб'яка. Інструмент здійснює зворотно-поступальний рух вниз (робочий хід) і вгору (холостий хід). Довб'як підводиться до контакту з заготовкою. З цієї миті починається процес різання з автоматичним переміщенням довб'яка. При холостому ході заготовка відводиться від інструменту. Число подвійних ходів складає зазвичай від 700 до 2500 разів в хвилину. Заготовка в процесі оброблення здійснює обертовий рух навколо своєї осі, створюючи безперервний рух обкату (рис. 15.15).

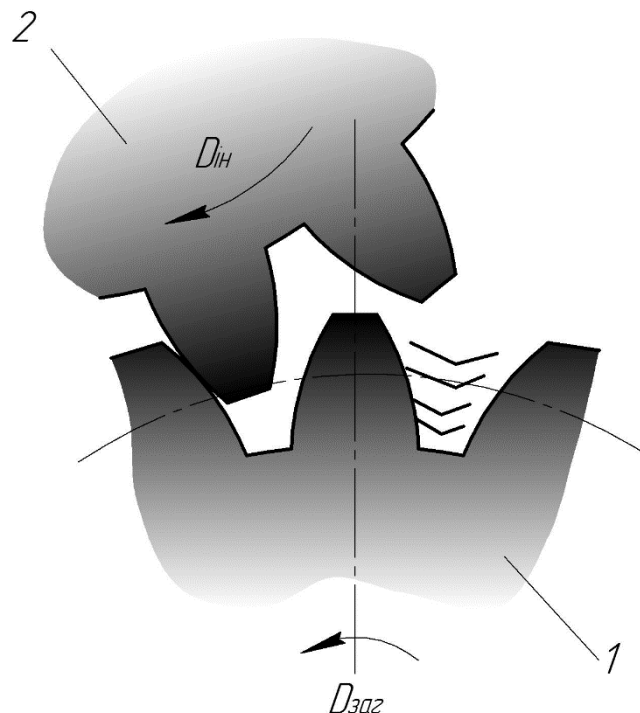


Рисунок 15.15 – Схема безперервного руху заготовки зубчастого колеса при зубодовбанні: 1 – заготовка; 2 – довб'як

Відведення довб'яка від заготовки здійснюється для того, щоб робочі поверхні інструменту не дотикалися до заготовки на холостому ході і не приводили до додаткового зношенню зубів. Величина відведення довб'яка від деталі рівна 0,4 – 0,5 мм. Точність оброблення зубодовбанням значною мірою залежить від точності ділильного механізму і довб'яка, оскільки їх похибки копіюються на оброблюваній заготовці.

Довб'яки слід вибирати як можна меншого діаметра, щоб збільшити його жорсткість і число обертів в процесі нарізування колеса, і тим самим вирівняти

похибки кругових кроків по всьому вінцю. Кількість зубів довб'яка доцільно вибирати не рівним і не кратним числу зубів колеса, яке нарізають, причому відрізнятися вони винні не менше, чим на 2 - 3 зуби. При нарізуванні внутрішніх зубів коліс різниця чисел зубів колеса і довб'яка повинні бути більше 12. Діаметр хвостових довб'яків обмежується розмірами оброблюваного отвору. Довб'яки, що нарізують зубчасті колеса під шевінгування повинні мати потовщення на головці зуба для утворення ними підрізу в основі зуба нарізуваного колеса.

Особливостями процесу різання при зубодовбанні можна рахувати те, що багатолезовий інструмент (довб'як) працює з відносно низькими швидкостями різання, а отже, виділяється невелика кількість теплоти. В той же час всі різальні елементи інструмента навантажені не однаково. Високий тиск в місцях контакту інструменту і заготовки зумовлює інтенсивний розвиток трібологічних процесів, що мають адгезійну природу. Перемінність товщини і виду стружки, що знімається кожним зубом довб'яка, відбивається на величині зношення ріжучих кромки. Оцінюється зношення зубів довб'яка по задній поверхні. Допустиме зношення по задній поверхні зубів довб'яків з швидкорізальної сталі при обробленні заготовок із сталі і чавуну складає 0,8 - 1,0 мм при чорновому і 0,1 - 0,2 мм при чистовому обробленні. Період стійкості дискових довб'яків при чорновому обробленні залежить від модуля. Наприклад, при модулі від 3 до 6 мм стійкість інструменту складає 5 годин, при модулі від 8 до 10 мм – 7 годин. При чистовому обробленні стійкість довб'яків незалежно від модуля складає приблизно 4 години. Стійкість довб'яків можна підвищити, зокрема, за рахунок нанесення зносостійких покриттів на їх робочі поверхні.

При обробленні відкритих вінців величина врізування і перебігу довб'яка практично однакові і складають в сумі не менше 5 мм. При обробленні закритих вінців необхідно враховувати величину перебігу довб'яка, можливість виходу стружки і додаткового (страхувального) зазору (1 - 2 мм) між різальною кромкою довб'яка і торцем заготовки.

Схеми налагоджень, що підвищують продуктивність зубодовбання зображені на рис. 15.16.

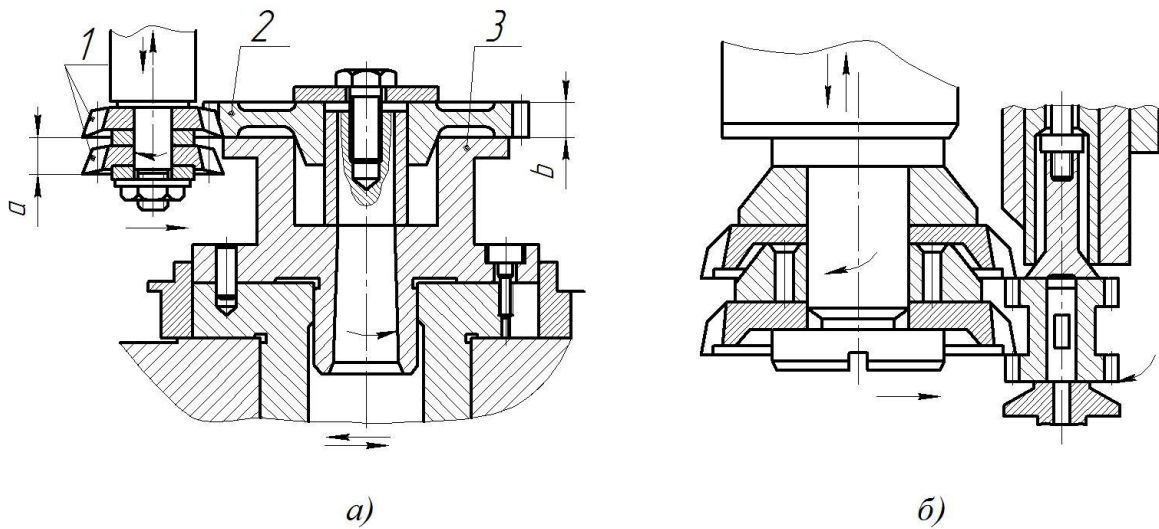


Рисунок 15.16 – Налаштування для підвищення продуктивності зубодовбання:  
*a* – чорнове і чистове довбання; *б* – одночасне довбання двох коліс

Оброблення зубів на довбальних верстатах по методу копіювання здійснюється одночасним довбанням всіх впадин зубчастого колеса фасонними зуборізними головками (рис. 15.17). Висока продуктивність процесу зумовлена одночасним обробленням всіх зубів колеса, але через складності переналадки, зазвичай призначається для оброблення певних коліс (з одним числом зубів).

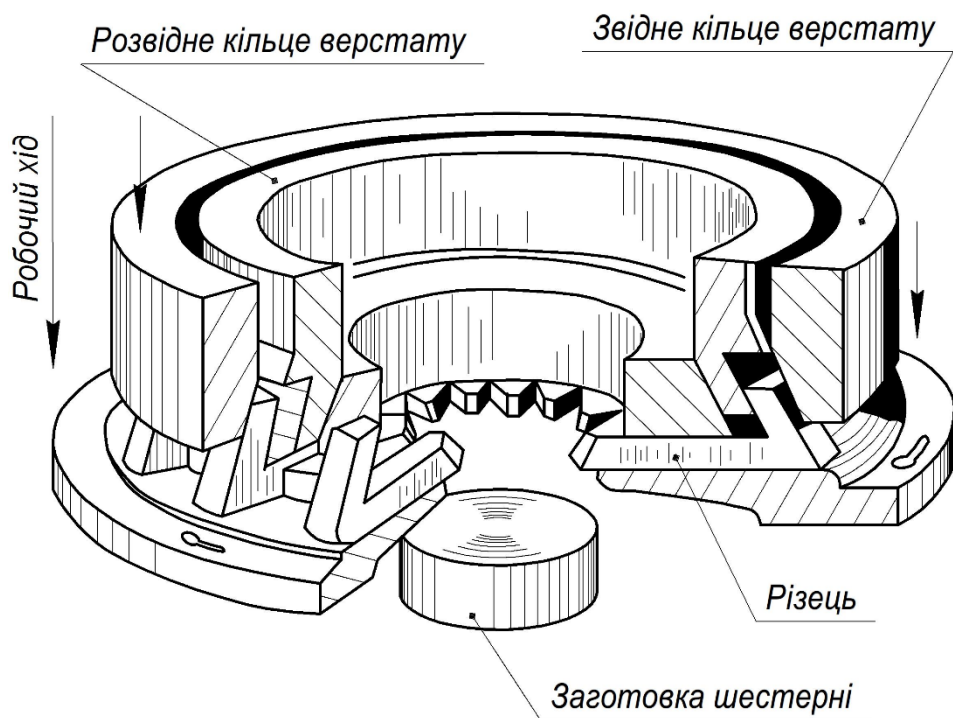


Рисунок 15.17 – Фасонна зуборізна головка

При нарізуванні зубів за цим методом для кожного колеса, яке обробляється, відповідно до його модуля і числа зубів повинна бути виготовлена спеціальна зубодовбальна головка, оснащена фасонними різцями.

Зубодовбальні головки одночасно обробляють всі впадини зубів коліс, різцями, що мають профіль впадини оброблюваних коліс. Різці розміщені в пазах корпуса головки і періодично переміщуються в радіальному напрямі перед кожним робочим ходом (рис. 15.18). Подача різців здійснюється за рахунок конусів корпуса зубодовбальної головки.

Принцип дії таких головок полягає в тому, що фасонні різці, кількість яких відповідає кількості впадин (зубів) оброблюваного зубчастого колеса, укріплені в головці, проводять за один прохід довбання всіх впадин, після чого розвідне кільце відводить різці.

Схема рухів при нарізуванні зубів циліндричних коліс багаторізцевими зубодовбальними головками показана на рис. 15.18. Зубодовбальна головка нерухома, а головний рух здійснює заготовка. Рух подачі здійснюється в радіальному напрямку за рахунок переміщення різців після кожного робочого ходу заготовки. Величина подачі на початку роботи різців встановлюється до 0,4 мм на подвійний хід, а наприкінці зменшується до 0,025 мм на подв. хід.

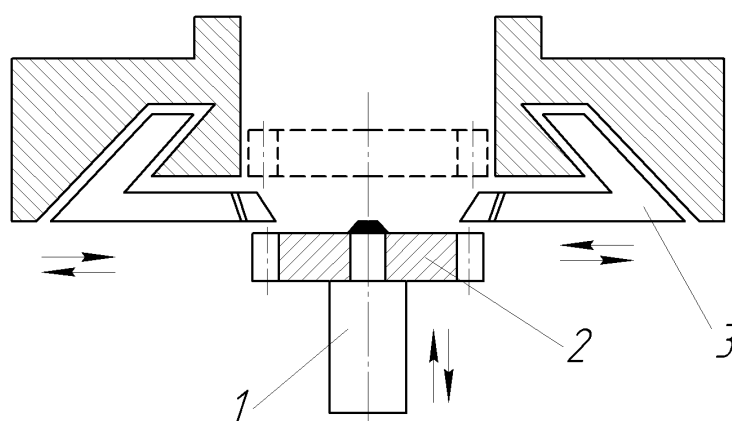


Рисунок 15.18 – Схема рухів при нарізуванні зубів циліндричних коліс багаторізцевими зубодовбальними головками:

1 – штоссель (різцетримач) рухомий верстата; 2 – колесо зубчасте; 3 – різці

Для усунення тертя різців по обробленій поверхні перед ходом заготовки вниз різці розводяться на 0,5 мм, чим забезпечується їх більша стійкість. Різці взаємозамінні і являють собою інструмент, що не змінює свого профілю при переточуваннях, тобто фасонний інструмент. Швидкість різання від 3 до 10 м/хв. Вітчизняні конструкції зубонарізних головок дозволяють нарізувати колеса з модулем від 2 до 10,5 мм, числом зубів від 20 до 50 і зовнішнім діаметром до 250 мм.

Особливість цього методу полягає у складності виготовлення інструмента і вузькій спеціалізації виробництва при його застосуванні, економічно себе виправдує тільки в крупносерійному і масовому виробництві для чистового оброблення коліс 7 і 8 ступеня точності, а також для напівчистового нарізування під шевінгування.

### 15.5 Оброблення зубів гребінками

Крупномодульні прямозубі і косозубі циліндричні колеса можна обробляти гребінками, принцип роботи якої аналогічний рейковому зачепленню (рис. 15.19).

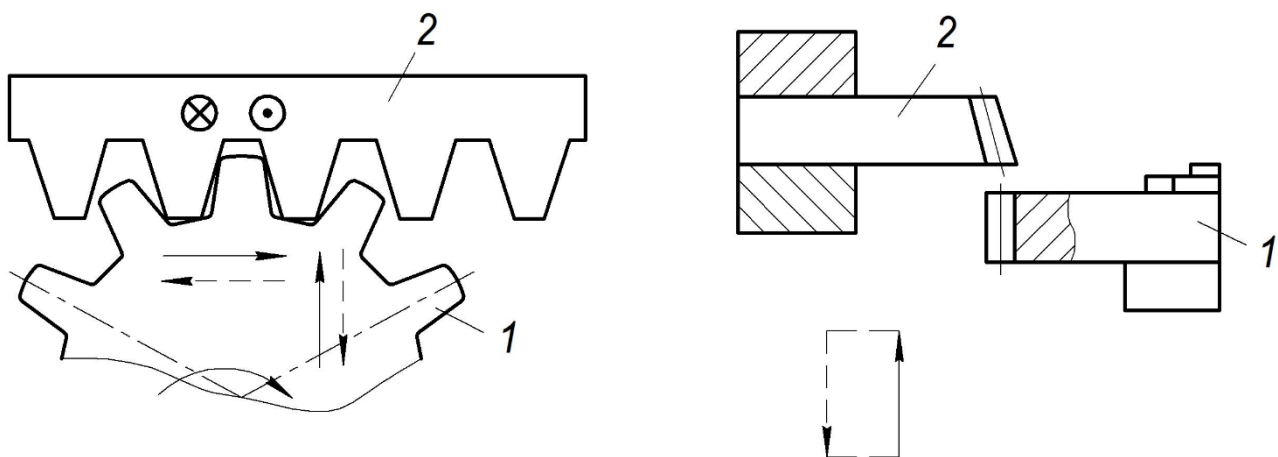


Рисунок 15.19 – Схема нарізування зубів коліс зубчастими гребінками:

1 – колесо, яке обробляється; 2 – зубчаста гребінка



Зубчаста рейка замінюється інструментом – гребінкою. Колесо, яке нарізають, обертається і переміщається уздовж гребінки, яка у свою чергу здійснює зворотно-поступальний рух аналогічно круглому довб'яку, тобто після кожного робочого ходу, вона відводиться від заготовки і повертається в початкове положення.

Гребінка виготовляється із значно меншим числом зубів, ніж колесо, яке обробляється, тому обкат колеса по гребінці багато разів повторюється. Однією гребінкою можна нарізувати прямозубі і косозубі циліндрові колеса. Профіль зубів гребінки прямолінійний, як у рейки. Зуборізні гребінки за рахунок державки встановлюються на верстаті так, щоб їх передній кут складав  $5 - 6^\circ$ , а задній  $12 - 18^\circ$ .

Рейками або гребінками нарізують прямі і косі зуби на зубостругальних верстатах. При нарізуванні косозубих коліс рейка повертається на кут нахилу зубів. Технологія виготовлення та переточування зношених рейок простіша, ніж фрез і довб'яків. Однак продуктивність нарізування рейками нижча, ніж фрезами та довб'яками. Тому широкого застосування цей інструмент при нарізуванні зубів не отримав.

## **15.6 Протягування зубів**

Протягування застосовують для оброблення зубчастих коліс як з внутрішніми, так і зовнішніми зубами. При обробленні внутрішнього зубчастого профілю коліс протяжки виготовляються аналогічно евольвентним шліцам отворів. Зовнішні протяжки для оброблення зубів можуть бути однопрофільні секторні і охоплюючі. Однопрофільні протяжки послідовно обробляють впадину між зубами коліс з поворотом заготовки на кутовий крок. Протяжки можуть виготовлятися у вигляді шпонок або кругів. Кругове протягування не має холостих ходів і є продуктивним і перспективним методом оброблення.

Головний рух кругових фрез-протяжок (рис. 15.20) – обертовий,

одночасно відбувається переміщення інструменту в напрямку впадини, яка обробляється, різальні кромки послідовно вступають в роботу і утворюють різні ділянки профілю впадини.

Протяжки секторного типу обробляють одночасно групу зубів, потім колесо, яке обробляється, повертається для оброблення наступного сектора зубів. При застосуванні протяжок охоплюючого типу робочий рух подачі надається заготовці. Різальні зуби охоплюючої протяжки розташовуються по всьому оброблюваному контуру зубчастого колеса. Вони мають форму впадин, які нарізаються. Протяжки виготовляються збірними у вигляді набору кілець (рис. 15.21) або окремих шпонкових протяжок.

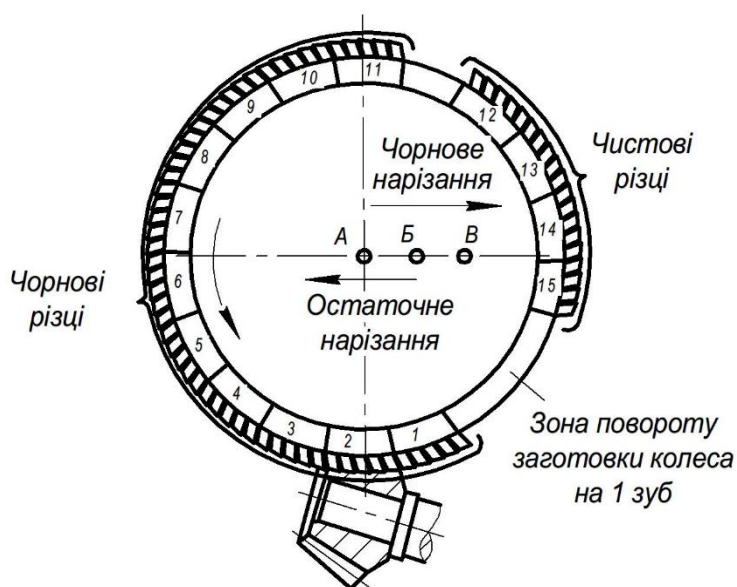


Рисунок 15.20 – Кругова протяжка

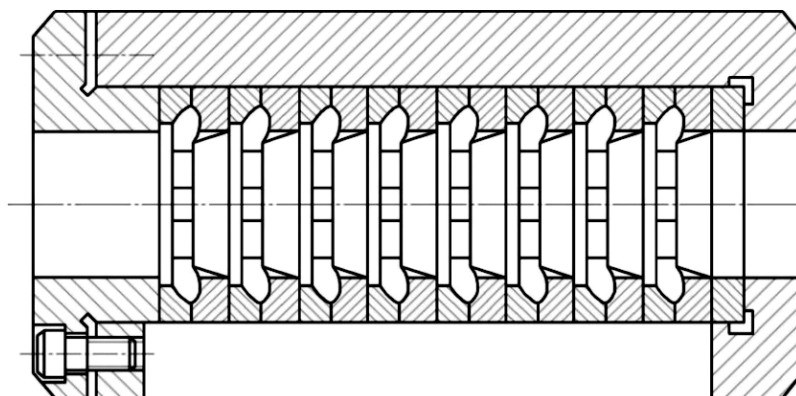


Рисунок 15.21 – Охоплююча протяжка

Проте конструкції охоплюючих протяжок, які призначені для одночасного оброблення всіх впадин зубів коліс дуже складні у виготовленні і мають високу вартість. Тому в промисловості успішно застосовується високопродуктивний і відносно простий метод однопрофільного кругового протягування для виготовлення зубчастих коліс. Різальним інструментом служить кругова протяжка (рис. 15.20), що складається з декількох секцій фасонних різців (15 секцій по п'ять різців в кожній секції) яка безперервно обертається з постійною швидкістю проти годинникової стрілки, оброблюючи за один оберт тільки одну впадину колеса. Під час різання заготовка нерухома, для оброблення наступної впадини вона повертається на один зуб в той час, коли підходить вільний від різців сектор кругової протяжки.

Продуктивність даного методу і стійкість інструменту порівнянна з протягуванням охоплюючими протяжками, але за рахунок технологічності, процес значно дешевший.

Кругове протягування прямих зубів циліндричних коліс виконується на спеціальних зубопротяжних верстатах і відноситься до методу копіювання і, отже, точність зубонарізування у значній мірі залежить від точності виготовлення інструменту, зокрема, зубів кругової протяжки.

Різцеві блоки протяжки зазвичай мають чотири - шість зубів і два - три отвори для кріплення блоку на корпусі протяжки (рис. 15.22).

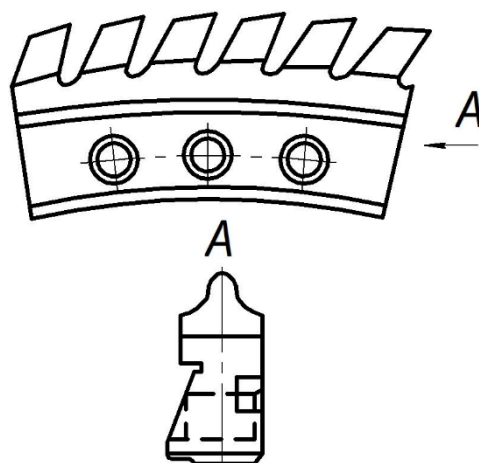


Рисунок 15.22 – Схема блочного різця на головці для кругового протягування

Переточують різці тільки по передній грані. Різці зі змінним профілем, розташовані в протяжці в послідовному порядку для чорнового, напівчистового і чистового нарізування зубів. Кожен різець при обертанні кругової протяжки знімає певний шар металу із заготовки відповідно до величини припуску. Протяжка обертається з постійною кутовою швидкістю і в той же час здійснює поступальний рух, швидкість якого різна на окремих ділянках пройденого шляху ( $A-B-B$ ) (рис. 15.20). За один оберт протяжки вона повністю обробляє одну впадину зубчастого колеса.

Відсутність руху подачі, поєднання чорнового і чистового оброблення, одночасне оброблення двох бічних сторін впадин забезпечує значну перевагу даному методу оброблення зубів. Підйом на зуб чорнових блоків зазвичай складає 0,2 мм. При модулі менше 5 мм чорнова і чистова частина протяжки легко об'єднуються в одному інструменті. Різальні частини зубів кругової протяжки утворюють дугові поверхні, тому зуби циліндричних коліс можуть мати лише наближену до евольвентної форму. Для забезпечення евольвентної бічної поверхні зубів циліндричних коліс процес протягування може доповнюватися процесом фрезерування.

### **15.7 Накатування зубів**

Метод накатування зубів є продуктивнішим, ніж зубонарізування. Накатування здійснюється в холодному або гарячому стані. Інструментом є накатник – зубчасте колесо з модулем зубів оброблюваного колеса (рис. 15.23).

При накатуванні заготовка 2 і накатник 1 обертаються. Накатник має осьову або радіальну подачу. Зуби на заготовці формуються при вдавлюванні зубів накатники в метал. Накатування зубів в холодному стані проводиться на токарних і горизонтально-фрезерних верстатах.

Схема накатування дрібномодульного колеса у холодному стані з поздовжньою подачею на токарних верстатах показана на рис. 15.24, а.

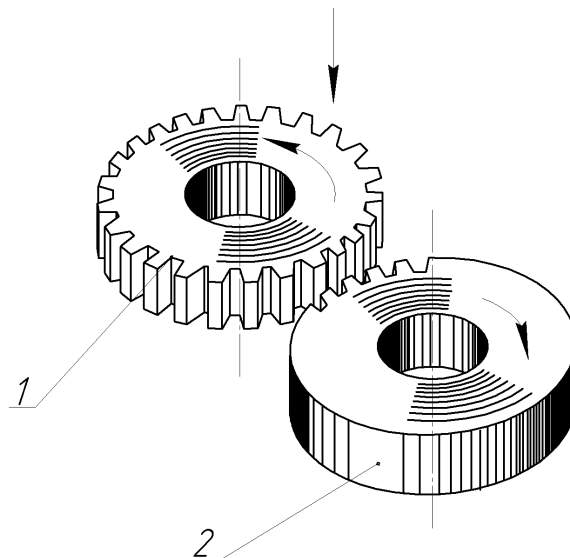


Рисунок 15.23 – Схема накатування зубів:

1 – накатник; 2 – заготовка

У передньому 1 і задньому 5 центрах (рис. 15.24, а) встановлюється оправка, яка обертається від шпинделя верстата. На оправці встановлюються заготовки 4 і ділильне зубчасте колесо 2, що знаходиться на початку процесу в зачепленні з двома або трьома накатниками, закріпленими на супорті верстата. Після виходу із зачеплення з ділильним колесом 2 накатники приводяться в обертання зубами накатаної частини заготовки. Для утворення симетричного профілю накатування проводять спочатку в одному, а потім у зворотному напрямі з прискореним обертанням шпинделя. Накатники 3 і 6 є зубчастими колесами з модулем, який дорівнює модулю колеса, яке накатується. Кожен накатник має забірну частину для поступового утворення зубів, які накатуються.

Для накатування зубів в гарячому стані застосовуються спеціальні верстати. При гарячому накатуванні заготовки нагрівають струмами високої частоти до 1000-1200°C за 20-30 секунд до накатування зубів. Накатування проводиться двома накатниками. Гаряче накатування проводиться як з поздовжньою, так і з радіальною подачею.

Схема накатування з радіальною подачею зображена на рис. 15.24, б. Накатники 2 обертаються на шпинделях 1, що пересуваються в поперечному напрямі. Заготовка 3, яка накатується, закріплюється на оправці 4. Заготовка

обертається під впливом зубів накатників. На обох кінцях накатників є реборди 5, які сприяють кращому заповненню форми зубів.

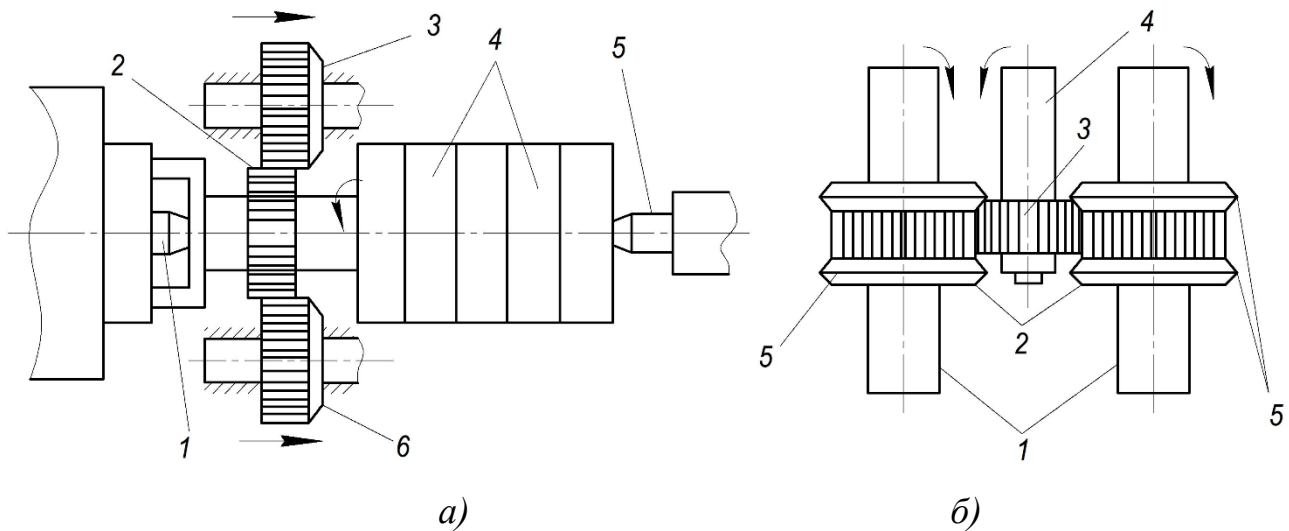


Рисунок 15.24 – Методи накатування зубчастих коліс:  
*а* – на токарному верстаті; *б* – на спеціальному верстаті

Зуби з модулем до 2 мм накатують в холодному стані, а з модулем до 10 мм – в гарячому. При холодному накатуванні забезпечується 7-8 ступінь точності зубів з шорсткістю 0,04-0,63 мкм, при гарячому – 9-10 ступінь точності, а шорсткість поверхні становить 1,25-2,5 мкм. Після гарячого накатування зуби піддають механічному обробленню або накатують в холодному стані.

## 16. Нарізування зубів конічних зубчастих коліс

Для нарізування зубів конічних зубчастих коліс 7 - 8 ступеня точності потрібні спеціальні зуборізні верстати, за відсутності їх конічні зубчасті колеса з прямим і косим зубом можна нарізувати на універсально-фрезерних верстатах за допомогою ділильної головки дисковими модульними фрезами. Точність оброблення при цьому способі, як правило, нижча 9-10 ступеня.

Заготовку 1 (рис. 16.1, *а*) конічного зубчастого колеса встановлюють на оправці в шпindelю ділильної головки 2, який повертають у вертикальній

площині до тих пір, поки впадина твірної між двома зубами не займе горизонтального положення.

Нарізаються зуби зазвичай за три ходи і лише при малих модулях – за два ходи. При першому проході фрезерується впадина між зубами шириною  $b_2$  (рис. 16.1, б), форма фрези відповідає формі впадини на її вузькому кінці. Другий прохід проводять модульною фрезою, профіль якої відповідає зовнішньому профілю зуба, повертаючи при цьому стіл з ділильною головкою на кут  $\alpha$ :

$$\operatorname{tg} \alpha = (b_1 - b_2) / 2l,$$

де  $b_1$  – ширина впадини між зубами на її широкому кінці;

$b_2$  – ширина впадини між зубами на її вузькому кінці;

$l$  – довжина впадини.

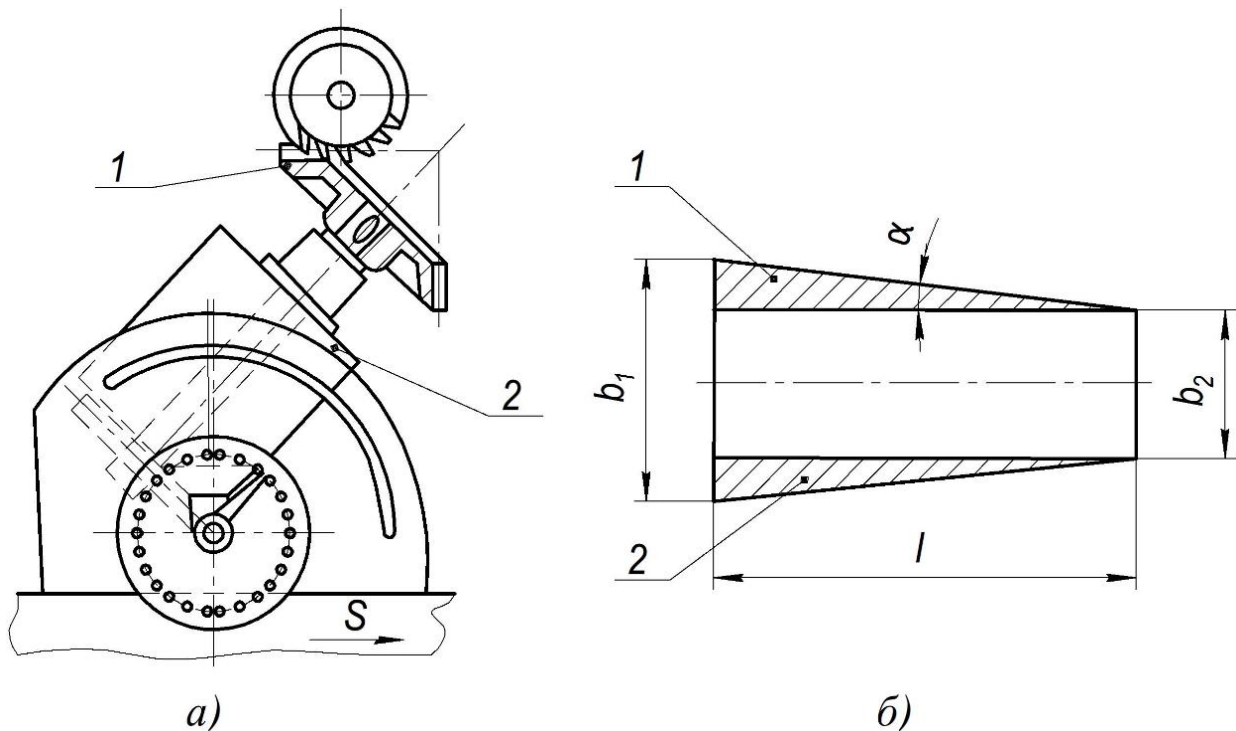


Рисунок 16.1 – Зубофрезерування конічного зубчастого колеса:  
 а – встановлення заготовки на оправці ділильної головки; б – схема фрезерування впадини прямозубого конічного колеса

При такому положенні фрезеруються всі ліві сторони зубів (сектор 1, рис.16.1, б). За третій прохід фрезеруються всі праві боки зубів (сектор 2), для цього ділильну головку повертають на той же кут, але в протилежному напрямі. Цей спосіб нарізування зубів малопродуктивний, а точність оброблення відповідає приблизно 10 ступеню точності.

Для нарізування прямих зубів точних конічних зубчастих коліс в серійному і масовому виробництві застосовують більш продуктивні верстати – зубостругальні, на яких оброблення зубів проводиться методом обкатування. При обробленні зубів з модулем понад 2,5 мм, їх заздалегідь прорізують профільними дисковими фрезами методом ділення; таким чином, складні зубостругальні верстати не завантажуються попередньо грубим обробленням і, отже, вони краще використовуються для точного оброблення.

На рис. 16.2 зображено попереднє фрезерування зубів трьох конічних зубчастих коліс одночасно на спеціальному верстаті, який використовується у крупносерійному і масовому виробництві.

Верстат забезпечений пристроєм для автоматичного ділення і одночасного повороту всіх заготовок, які обробляються.

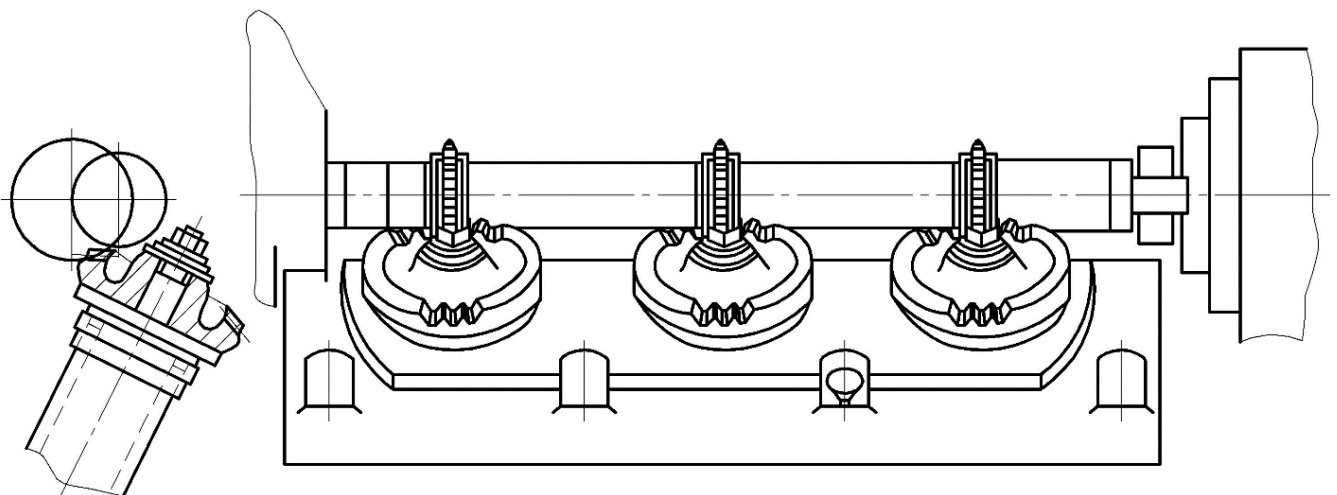


Рисунок 16.2 – Попереднє фрезерування одночасно трьох заготовок конічних зубчастих коліс



Схему попереднього фрезерування зубів двома дисковими фрезами на спеціальному верстаті зображено на рис. 16.3.

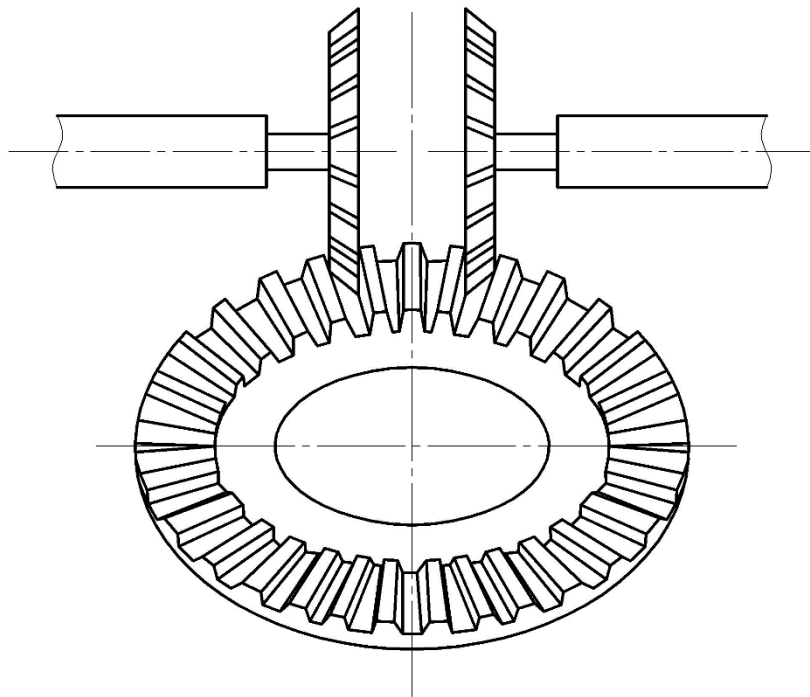


Рисунок 16.3 – Схема попереднього фрезерування зубів двома дисковими фрезами

Остаточне чистове нарізування зубів приблизно 8-го ступеня точності проводять струганням на зубостругальних верстатах (рис. 16.4, *а*). Ці верстати працюють методом обкатування (рис. 16.4, *б*): два стругальних різці 1 і 2 здійснюють прямолінійні зворотно-поступальні рухи уздовж зубів заготовки; при зворотному ході різці трохи відводяться від поверхні, яка обробляється, для зменшення зношування різальної кромки внаслідок тертя.

Взаємне обкатування заготовки і різців забезпечує отримання профілю евольвенти. Час нарізування зуба, залежно від матеріалу, модуля, припуску на чорнове оброблення та інших чинників коливається від 3,5 до 30 секунд.

Для оброблення прямих зубів невеликих конічних зубчастих коліс застосовують метод кругового протягування зубів (рис. 16.5) на спеціальних зубопротягувальних верстатах. Кругове протягування не має холостих ходів і є продуктивним і перспективним методом оброблення.

Протяжка, виготовлена у вигляді диска, який безперервно обертаючись з постійною швидкістю проти годинникової стрілки, обробляє за один оберт одну впадину колеса.

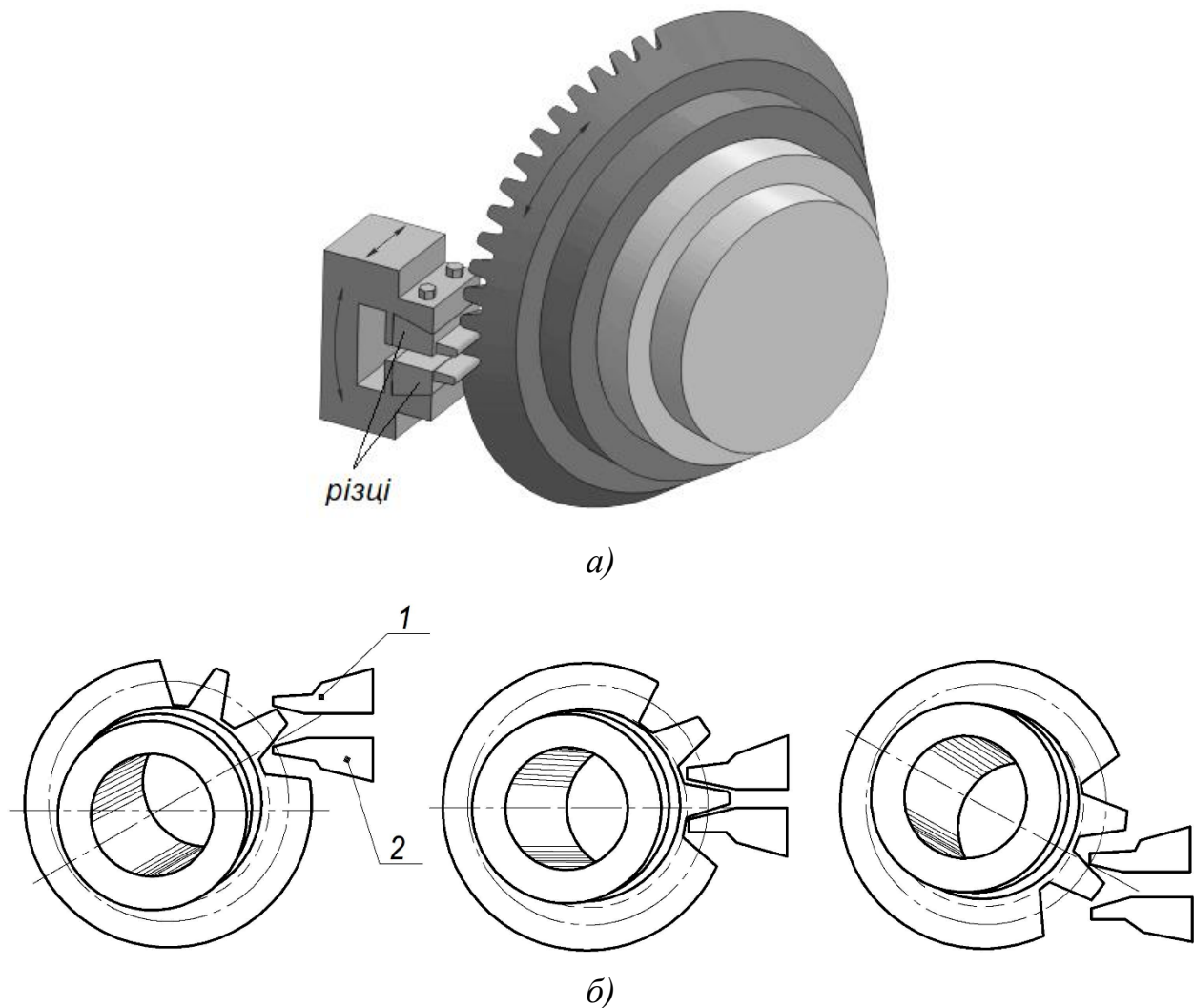


Рисунок 16.4 – Нарізування конічного зубчастого колеса на зубостругальному верстаті:

*a* – встановлення різців; *б* – схема обкатування

Кругова протяжка зазвичай складається з 15 зубчастих блоків, в кожному по 5 зубів, і двох секторів, не заповнених зубчатими блоками. Перші 10 блоків є чорновими, наступний блок напівчистовий і останні 4 чистові блоки виконують остаточну профілізацію западини.

Зуби кругової протяжки затиловані по Архімедовій кривій. Чорнові різці мають підйом в радіальному напрямі, тобто так само, як у стержневих протяжок

кожен наступний зуб вищий попереднього на величину, що називається перепадом. Чистові зуби підйому не мають і обробляють тільки бічні сторони впадини.

При переміщенні осі кругової протяжки з  $O_1$  в  $O_2$  (рис. 16.5) в різанні беруть участь зуби перших 11 блоків і фасковий різець, встановлений в пристосуванні, що знаходиться в проміжку між 11 і 12 м блоками. При зворотному русі протяжки з  $O_2$  в  $O_1$  в різанні беруть участь зуби чотирьох чистових блоків і проводиться поворот заготовки на кутовий крок (в той момент, коли навпроти заготовки колеса виявляється сектор протяжки, не заповнений різальними зубами). Таким чином, тут не потрібно для індексування зупиняти обертання протяжки і відводити заготовку.

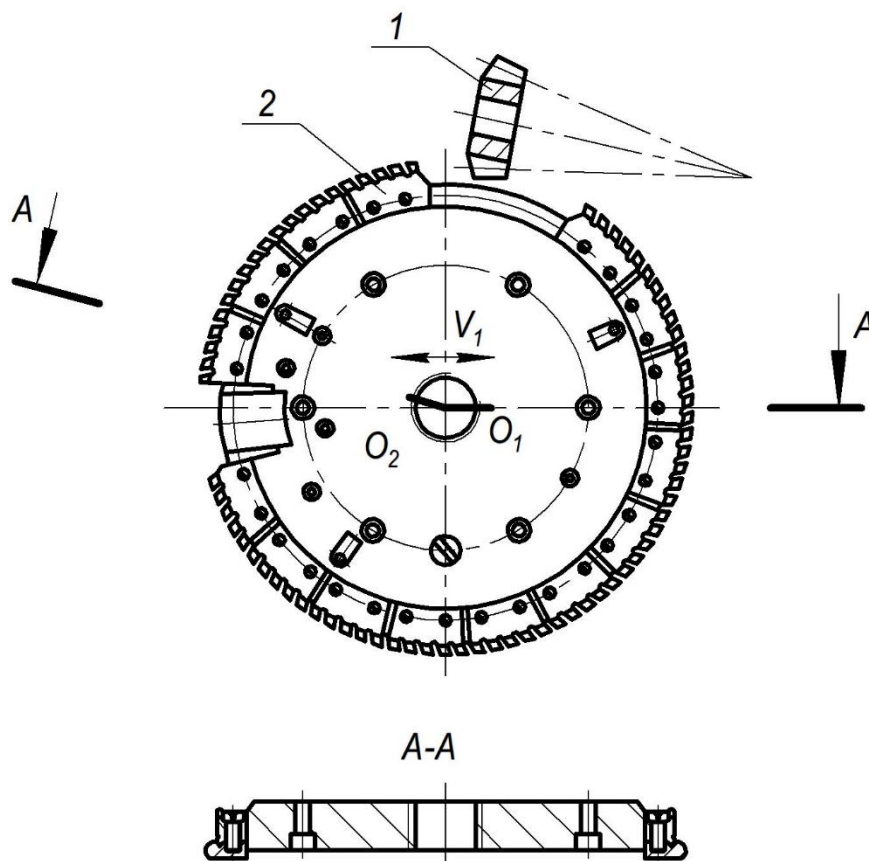


Рисунок 16.5 – Нарізування конічних прямозубих коліс методом кругового протягування:

1 – колесо, яке нарізають; 2 – кругова протяжка

В процесі кругового протягання впадин заготовка нерухома. Кругова протяжка є досить складним зуборізним інструментом спеціальної конструкції. На верстаті для кругового протягування обертовий і зворотно-поступальний рухи кругової протяжки узгоджені так, що кожен чистовий різець остаточно профілює свою певну ділянку на бічних поверхнях зубів. В результаті дії різальних лез 20 чистових зубів, профіль конічної впадини сусідніх зубів, виявляється повністю сформованим. Швидкістю різання тут прийнято вважати колову швидкість протяжки на максимальному діаметрі, а подачею є величина перепаду кожного наступного зуба відносно попереднього.

Описаний спосіб нарізування зубів відрізняється високою продуктивністю (у 2-3 рази вищою в порівнянні із струганням), в той же час точність оброблення відповідає точності, що досягається при нарізуванні методом обкатки.

При нарізуванні конічних коліс із круговими зубами відтворюється рух обкатування заготовки по уявній конусній твірній колеса з круговими зубами (рис. 16.6).

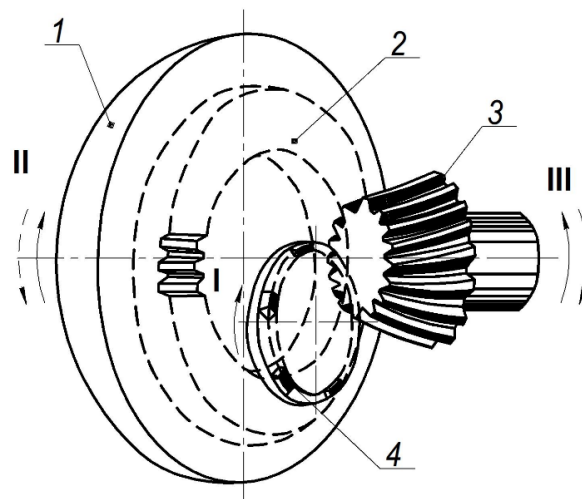


Рисунок 16.6 – Схема нарізування конічних коліс із круговими зубами торцевими зуборізними головками:

- 1 – інструментальний барабан; 2 – утворююче коло;
- 3 – колесо, яке нарізають; 4 – різцева головка

Нарізування конічних зубчастих коліс з криволінійними зубами проводиться на спеціальних верстатах, що працюють методом копіювання і

методом обкатування. Різальним інструментом є різцеві головки (рис. 16.7) переважно двох типів – суцільні і з вставними різцями.

Суцільні головки виготовляють з номінальним діаметром від 12,7 мм (1/2") до 50,8 мм (2") для нарізування зубчастих коліс дрібних модулів. Різцеві головки діаметром 88,9 мм (3 1/2") і до 457,2 (18") виготовляють зі вставними різцями.

Різцеві головки поділяються за видами оброблення, для якого вони призначені: на чорнові (для чорнових проходів) і чистові (для чистових проходів). Розрізняють також одно-, дво- і тристоронні різцеві головки.

Головки можуть бути дворядними, що мають нерегульовані зовнішні і внутрішні різці, і трирядними, у яких, крім зовнішніх і внутрішніх різців, існують ще і середні, що прорізують дно западини на 0,2-0,25 мм глибше бічних сторін для полегшення чистового нарізування зубів.



Рисунок 16.7 – Фрезерування зубчастого колеса різцевою головкою

Різцева головка закріплюється на інструментальному барабані (рис. 16.7), що повертається навколо осі в одну та іншу сторону. Рух різання I (рис.16.6) одержує різцева головка від окремого приводу. Цей обертовий рух не пов'язаний із процесом обкатування, тому швидкість різання можна вибирати за стійкістю різців чи іншими технологічними чинниками. В процесі нарізування зубів сам

барабан разом з обертовою різцевою головкою одержує повільний обертовий рух II навколо осі утворюючого колеса. Обертання барабана II і заготовки III кінематично зв'язане між собою. Рух обкатування являє собою результат погодженого обертання барабана з різцевою головкою і обертання заготовки. Коли впадина зуба готова, ділильний пристрій разом із заготовкою відводиться від різцевої головки. Барабан з головкою робить зворотний прискорений хід, а заготовка в цей період повертається на один зуб.

Чорнове нарізування малого і великого конічних коліс зубчастої пари проводиться чорновими головками, що обробляють опуклу та увігнуту сторони зуба. Для чорнового нарізування зубів застосовують дво- і трибічні різцеві головки. Двобічні головки застосовують при нарізуванні зубів методом обкатування і копіювання, а трибічні – лише при роботі методом копіювання.

Двобічні головки різуть зовнішніми і внутрішніми різцями, розташованими по черзі. Кожен різець одночасно обробляє бічну сторону зуба і частину впадини (рис.16.8, а). Трибічні головки на відміну від двосторонніх мають зовнішні, внутрішні і середні різці. Зовнішні і внутрішні різці обробляють тільки бічні сторони зуба, а середні різці – тільки впадини зубів (рис. 16.8, б, в).

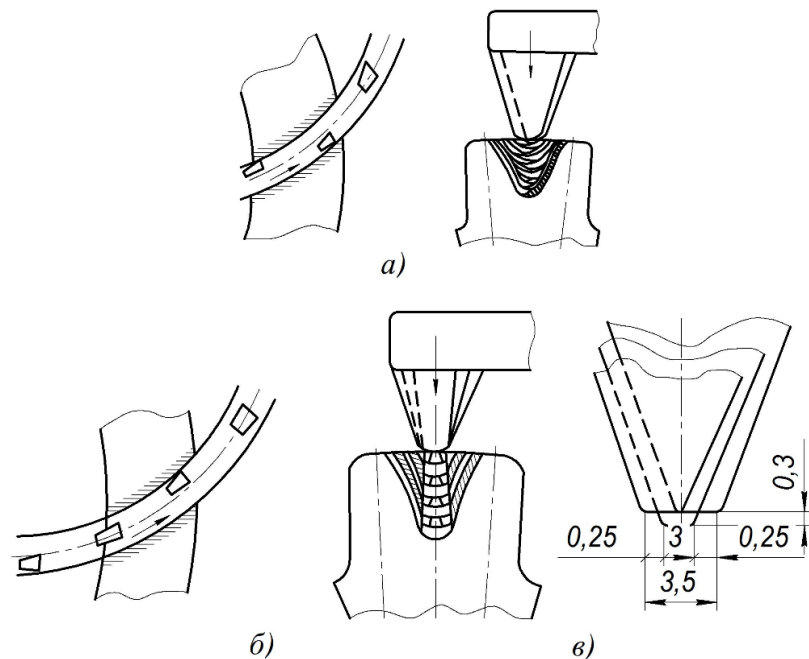


Рисунок 16.8 – Нарізування конічного зубчастого колеса з криволінійними зубами:

а – схема роботи двобічної головки; б, в – схема роботи трибічної головки

Чистові різцеві головки – одно- і двобічні використовуються головним чином для остаточного нарізування зубів після чорнового оброблення. В однобічних головок різці всі зовнішні або всі внутрішні. Зовнішні різці служать для увігнутої сторони зубів, внутрішні – для опуклої. Різці чистових головок зрізають тільки метал з бічних сторін зубів.

Чорнове зубонарізування конічних коліс з великою кількістю зубів проводиться методом копіювання, коли заготовка закріплена нерухомо, а різцева головка, що обертається, переміщається уздовж осі і прорізає впадини зубів по черзі. Цей метод продуктивніший ніж метод обкатування і використовується для нарізування коліс з малою кількістю зубів.

Чистове нарізування зубів конічних коліс зазвичай проводиться методом обкатування; колеса з великою кількістю зубів нарізаються як правило двобічними головками, а з малою кількістю – однобічними.

## 17 Нарізування черв'яків

В циліндричного черв'яка (рис. 17.1, *а*) перетин витків осьовою площиною являє собою рейку з прямолінійними або криволінійними бічними сторонами. Осьовий перетин глобоїдного черв'яка (рис. 17.1, *б*) має форму кругової прямобічної рейки.

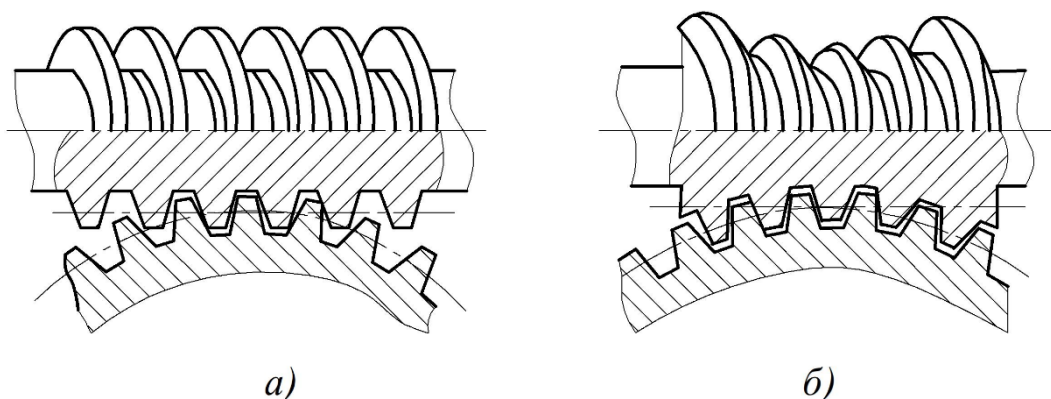


Рисунок 17.1 – Типи черв'яків:  
*а* – циліндричний; *б* – глобоїдний

Серед циліндричних черв'яків найбільшого поширення для відповідальних передач набув гвинтовий, або архімедовий черв'як, який являє собою звичайний гвинт з трапецієвидною різьбою. Гвинтова поверхня цього черв'яка утворюється обертанням навколо осі і одночасним переміщенням вздовж осі (за кожен оберт) прямої, що проходить через вісь черв'яка і нахиленої під деяким кутом до осі. При перетині площиною, що проходить через вісь черв'яка, витки мають трапецеїдальний профіль (рис. 17.2, *а*). Черв'ячна пара з таким черв'яком має низьким ККД і швидко зношується, тому її застосовують в невідповідальних, тихохідних і низько навантажених передачах.

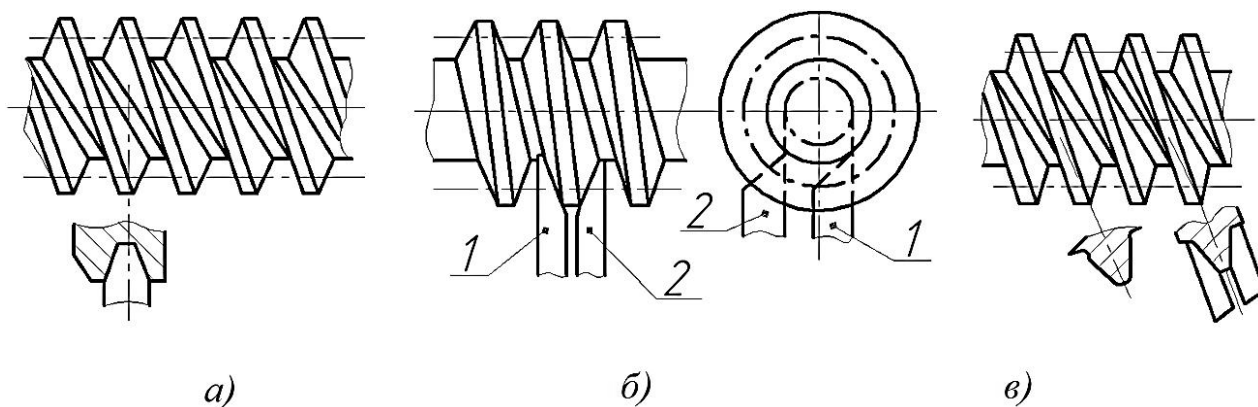


Рисунок 17.2 – Профілі витків у черв'яків:

*а* – гвинтовий (архімедовий); *б* – евольвентний; *в* – конволютний

Іншим різновидом циліндричного черв'яка є евольвентний черв'як (рис. 17.2, *б*). Він є як би циліндричним зубчастим колесом з евольвентною гвинтовою поверхнею. У перетині черв'яка площинами, які перпендикулярні осі основного циліндра, утворюються евольвенти, в зв'язку з цим цей черв'як і отримав свою назву. Черв'ячні пари з евольвентними черв'яками часто використовують у відповідальних передачах при великих навантаженнях і швидкостях, але виготовлення таких передач вимагає застосування спеціального устаткування і складних методів оброблення.

Третім різновидом циліндричного черв'яка є черв'як з прямолінійним профілем в нормальному перетині витка і з подовженою евольвентою бічної сторони витка в перетині, поперечному до осі (рис. 17.2, *в*). Такий черв'як



називають конволютним черв'яком. Ці черв'яки простіші в обробленні, ніж евольвентні і забезпечують достатню точність зачеплення черв'ячної передачі, мають високий ККД і зносостійкість.

Глобоїдні черв'яки характеризуються великою поверхнею контакту витків черв'яка з зубами черв'ячного колеса, що обумовлює зниження тиску, а отже, і зношення поверхні зубів черв'ячної пари. Гвинтова нитка цього черв'яка утворюється при гвинтовому русі профілю не по циліндричній поверхні, а по глобоїдній. Не дивлячись на складність виготовлення, їх широко застосовують для передачі великих потужностей.

Простим видом оброблення черв'яків є нарізування їх на токарному верстаті різцем з прямолінійним профілем. Для отримання правильного профілю витків профіль різця повинен мати контур впадини між зубами черв'яка в певному його січенні і суміщатися при нарізуванні з площиною цього перетину.

Щоб отримати архімедовий черв'як, профіль різця з прямолінійними кромками повинен бути суміщений з площиною, що проходить через вісь черв'яка (рис. 17.2, а).

Проте із збільшенням кута підйому витка нарізування черв'яка одним різцем стає утрудненим через зміну величини кута, що спричиняє вихід з ладу різального інструменту. Тому архімедові черв'яки при великому куті підйому витків замінюють евольвентними або конволютними.

Евольвентний черв'як нарізують двома різцями 1 і 2 (рис. 17.2, б), різальні кромки яких суміщені з площинами, розташованими дотично до поверхні основного циліндра з двох сторін. В міру збільшення діаметра основного циліндра, встановлення різців вище і нижче центра викликає певні труднощі внаслідок змін кутів різання. Тому при нарізуванні евольвентних черв'яків застосовують профільні різці, які відповідають контуру нормального перетину впадини черв'яка при встановленні площини профілю нормально до її осі.

Конволютний черв'як нарізують різцем, встановленим своїм профілем в площині, паралельній осі черв'яка, вище або нижче за неї на певну висоту або похило до неї, з суміщенням осі симетрії профілю різця з віссю черв'яка.

Конволютні черв'яки з прямолінійним робочим профілем (рис. 17.2, в) оброблюють двома різцями.

Глобоїдний черв'як нарізують різцем з прямолінійною різальною кромкою, при цьому вісь різця обертається синхронно з черв'яком, який нарізають, для відтворення відносного руху профілів зубів черв'яка і черв'ячного колеса в зачепленні. Цей вид черв'яків оброблюють на зубофрезерних верстатах.

Черв'яки нарізують також профільним різцем і фрезами на фрезерних і різьбофрезерних верстатах. Нарізування черв'яків дисковою фрезою більш продуктивний спосіб оброблення, але при цьому спотворюється профіль черв'яка в результаті підрізування, що виникає через відмінності кутів підйому витка при основі і вершині, особливо у багатозахідних черв'яків. Тому цей спосіб зазвичай застосовують для попереднього оброблення профілю черв'яка.

При нарізуванні дисковою фрезою (рис. 17.3) з ріжучими кромками прямолінійного профілю, вісь обертання фрези *A* розташовується під кутом до осі черв'яка, рівним куту підйому витків черв'яка.

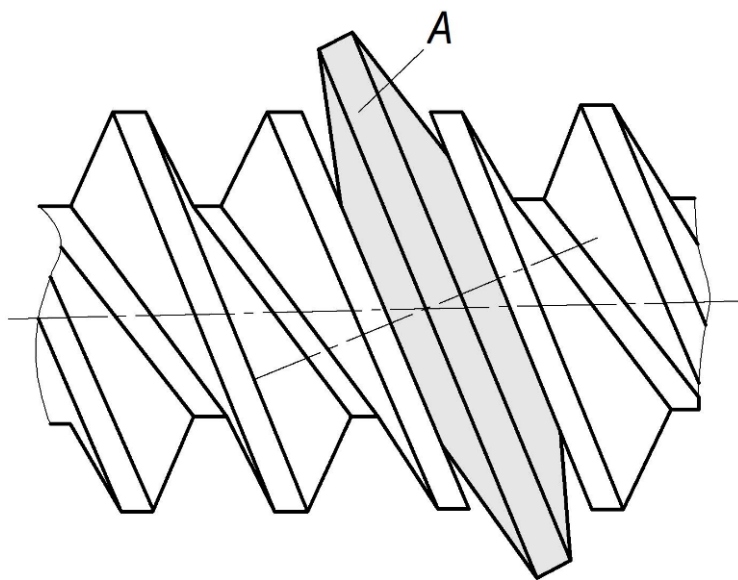


Рисунок 17.3 – Нарізування черв'яка дисковою фрезою

Різні види черв'яків можна нарізувати черв'ячною фрезою на звичайних зубофрезерних верстатах. Так, при обробленні черв'ячною фрезою з

прямолінійними різальними кромками зуба, виготовляють евольвентні черв'яки. Для нарізування архімедових і конволютних черв'яків застосовують спеціальні черв'ячні фрези з криволінійним профілем різальних кромок. Цей спосіб оброблення при високій продуктивності вимагає наявність складного інструменту; оскільки він приводить до спотворення профілю поверхонь витків черв'яка, тому його застосовують для попереднього оброблення.

Продуктивним методом оброблення, що забезпечує високу точність, є нарізування черв'яків на спеціальних верстатах довб'яком (рис. 17.4). Довб'яку 1 надають рух подачі вздовж осі черв'яка 2. Крім того, довб'яку і черв'якові надають обертовий рух обкатування. В результаті поєднання цих рухів нарізуються всі витки черв'яка. При цьому методі оброблення профіль, поверхні черв'яка не спотворюється. Проте необхідність виготовлення довб'яків для кожного кута підйому витків черв'яків збільшує витрати на підготовку виробництва, тому застосування цього методу економічно доцільно лише у крупносерійному або масовому виробництві.

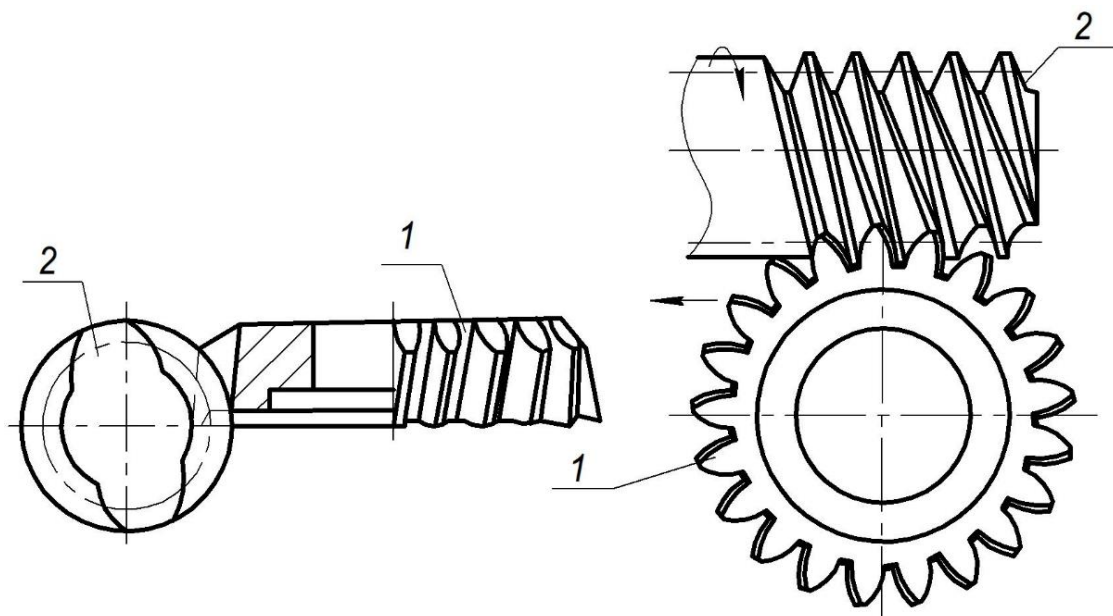


Рисунок 17.4 – Нарізування черв'яка довб'яком

Після нарізування витків черв'як зазвичай піддають термообробленню з подальшим шліфуванням опорних шийок і витків. Шліфування архімедових

черв'яків здійснюють дисковим конусним або тарілчастим кругом (рис. 17.5) з припуском 0,1-0,2 мм на сторону, залежно від модуля черв'яка.

Шліфування черв'яків з малим модулем проводять на різешліфувальному верстаті або на токарному, але із спеціальним пристроєм. У крупносерійному і масовому виробництві шліфування профілю витків черв'яка з великий модулем (3 і більше) здійснюється на спеціальному черв'ячно-шліфувальному верстаті конічним дисковим кругом великого діаметру (800 мм і більше). Цей метод забезпечує велику продуктивність. Таким кругом можна отримати різні профілі черв'яка шляхом його переміщення в горизонтальній площині.

Шліфування проводиться при трьох рухах (рис. 17.5): обертанні круга ( $n_k$ ), повільному обертанні черв'яка ( $n_d$ ) і поступальному переміщенні круга ( $S_k$ ) на величину одного кроку ( $t$ ) (ходу для багатозахідних черв'яків) за один оберт виробу.

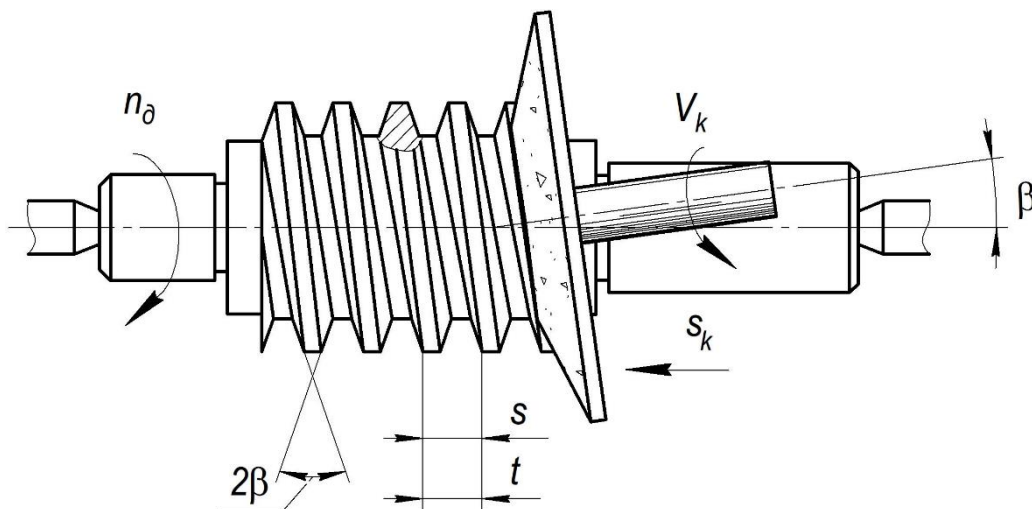


Рисунок 17.5 – Шліфування черв'яка

Для оброблення витків черв'яків відповідальних передач застосовують притирання їх чавунними або фібровими притирами, що мають форму черв'ячного колеса. Як абразивний матеріал застосовують мікропорошки з мастилом, а для отримання високої чистоти – пасту ГОИ. Чистове оброблення черв'яків здійснюють також методом обкатування загартованим роликком.

## 18. Нарізування зубів черв'ячних коліс

Нарізування зубів черв'ячних коліс здійснюють на зубофрезерних верстатах черв'ячними фрезами методом обкатування при неперервному обертанні фрези і колеса, що відтворюють зачеплення черв'ячної пари (рис. 18.1).

Для одержання правильних зубів на черв'ячному колесі необхідно дотримуватися таких умов.

1. Робоча частина фрези за формою повинна відповідати формі поверхні черв'яка, з яким колесо буде працювати в парі.

2. Зовнішній діаметр фрези слід вибирати більшим від зовнішнього діаметра черв'яка на величину подвійного радіального зазору в передачі.

3. Розташування фрези відносно колеса, яке нарізується, повинно відповідати розташуванню черв'яка і колеса, що працюють в парі.

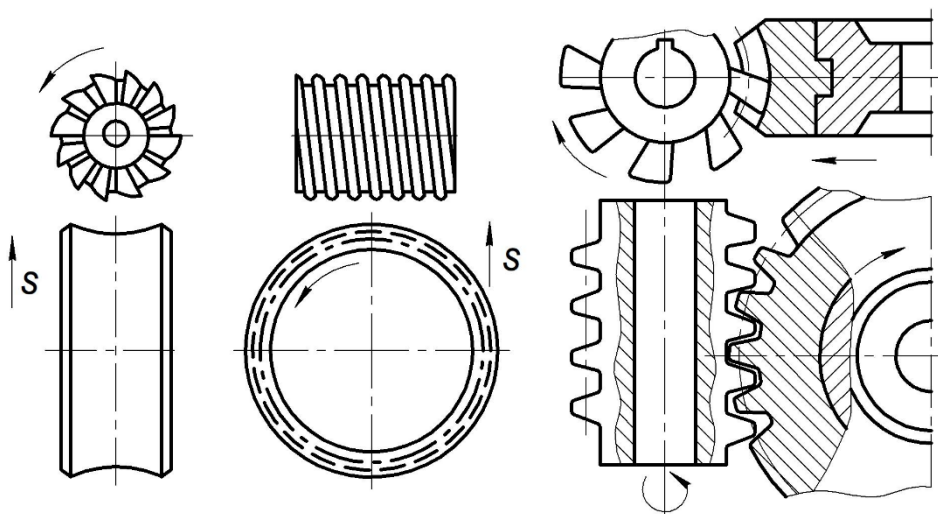


Рисунок 18.1 – Нарізування зубів черв'ячних коліс черв'ячними фрезами методом радіальної подачі

Фрезерування зубів черв'ячних коліс можна здійснити з радіальною, тангенціальною і діагональною подачами фрези. У першому випадку інструментом є черв'ячна фреза, що конструктивно не відрізняється від фрези для оброблення циліндричних коліс. Встановлення зводиться до строго

горизонтального розташування її осі в середній площині черв'ячного колеса (рис. 18.1) Осьові переміщення в цьому випадку виключаються. Подача на врізання здійснюється радіальним переміщенням заготовки колеса, що продовжується доти, поки зуби не будуть прорізані на всю глибину. У деяких конструкціях верстатів радіальна подача здійснюється фрезою.

Зачищення зубів після нарізування відбувається за рахунок одного-двох додаткових обертів колеса без радіальної подачі. За один оберт фрези черв'ячне колесо повертається на число зубів, рівне числу заходів фрези.

Переваги методу нарізування з радіальною подачею: висока продуктивність і простота налагодження; простота конструкції різального інструмента, для нарізування зубів коліс середньої точності немає необхідності у використанні зубофрезерних верстатів, обладнаних протяжним супортом; метод досить добре задовольняє вимоги попереднього оброблення точних коліс на звичайних зубофрезерних верстатах.

До недоліків методу можна віднести: невисоку точність і якість поверхні зубів, які нарізають, що пояснюється тим, що попереднє і чистове нарізування виконується тими самими зубами інструменту; перекручування профілю зуба, зв'язане зі зміною діаметра фрези і збільшенням кута підйому гвинтової лінії після декількох переточувань; підрізання бічних поверхонь зубів колеса на вході і виході зубів фрези, що відбувається через розходження у величинах кутів підйому гвинтових ліній на зовнішньому діаметрі фрези і на бічних сторонах зубів колеса; збільшення похибок профілю зубів при викінчувальних проходах, зв'язане з відключенням радіальної подачі, а отже, і зі зміною пружних відхилень системи.

Спосіб тангенціальної подачі фрези застосовується, як правило, для нарізування черв'ячних коліс та багатозахідних черв'яків. Для нарізування черв'ячних коліс з тангенціальною подачею фрези (рис. 18.2) використовується зубофрезерний верстат, обладнаний спеціальним протяжним супортом, що надає фрезі осьову подачу.

Відмінною рисою методу тангенціальної подачі є те, що фреза, точно

встановлена на величину заданої міжцентрової відстані  $H$  (рис. 18.2), одержує рух вздовж своєї осі по дотичній до ділильного кола колеса I (рух подачі). У зв'язку з цим черв'ячному колесу надається додаткове обертання II, що відповідає величині осьової подачі фрези (дворот).

Конструктивно фреза для нарізування коліс по методу тангенціальної подачі відрізняється тим, що складається з двох частин: забірної і профілюючої. Зуби забірної частини зрізані на конус по вершинах, а профілюючої – не зрізані. Відповідно до цього відбувається і нарізування зубів: забірною частиною – попереднє, а профілюючою – остаточне. Усі зуби навантажені рівномірно, а тому точність висока.

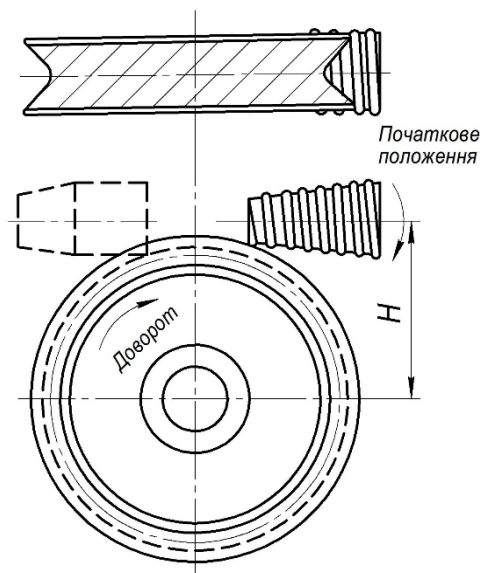


Рисунок 18.2 – Зубонарізування черв'ячних зубчастих коліс черв'ячними фрезами методом тангенціальної подачі

При нарізуванні особливо точних коліс застосовують фрези з покращеною конструкцією, що не спотворюють профіль зубів шляхом його підрізання. Нарізування зубів по цьому методу рекомендується проводити за одне встановлення для забезпечення високої точності оброблення. Іноді застосовують спеціальні комбіновані фрези, що виконують послідовно чорнове, чистове і викінчувальне оброблення зубів черв'ячного колеса. Різальна частина таких фрез складається з забірної конічної частини, чистової циліндричної і викінчувальної.

Режими різання при нарізуванні черв'ячних коліс призначають залежно від методу подачі і величини модуля. Наприклад, для коліс з  $m = 3-12$  мм величина радіальної подачі на один оберт заготовки встановлюється в межах  $S_{rad} = 0,55-1,0$  мм і збільшується приблизно в два рази при тангенціальній подачі ( $S_m = 1,1-1,6$  мм). Швидкість різання при обробленні обома методами вибирається в межах  $V = 20-26$  м/хв.

Переваги радіального і тангенціального методів полягають в високій продуктивності першого і високій точності і якості поверхонь зубів другого.

Глобоїдні передачі характеризуються одночасним контактом з витком черв'яка декількох зубів колеса, що вимагає особливої уваги до точності виконання поверхонь, які контактують, і ретельного профілювання спеціальної черв'ячної фрези для нарізування глобоїдних коліс.

## **19 Викінчувальні методи оброблення зубчастих коліс**

Метою викінчувальних операцій є підвищення точності зубчастих коліс за рахунок виправлення похибок попереднього оброблення. Ці операції застосовуються при виготовленні коліс 7 ступеня точності і вище. Зубчасті колеса експлуатуються в загартованому та незагартованій стані, тому викінчувальні методи оброблення для них дещо відрізняються.

### **19.1. Викінчувальні методи оброблення незагартованих зубчастих коліс**

#### **19.1.1 Шевінгування**

Шевінгуванням називається процес чистового оброблення зубів незагартованого зубчастого колеса, що полягає в знятті дуже дрібних волосиноподібних стружок, завдяки чому значно виправляються ексцентриситет початкового кола, похибки кроку, профілю евольвенти і кроку підйому гвинтової



лінії. Шевінгування застосовується для оброблення зубчастих коліс з прямими і косими зубами в передачах із зовнішнім і внутрішнім зачепленням. Точність зубів підвищується на 1-2 ступені. Шорсткість поверхні становить 0,8-2 мкм.

Процес різання при шевінгуванні здійснюється за рахунок відносного ковзання поверхонь, які контактують, притаманного гвинтовим передачам (рис. 19.1). Шевінгування (або інакше шевінг-процес) проводиться двома способами. За першим способом шевінгування виконується за допомогою спеціального інструменту – шевера, за другим методом – шевер-рейкою.

Шевер – це різальне зубчасте колесо з прорізними на бічних сторонах кожного зуба канавками завглибшки 0,8 мм (рис. 19.2). Ці канавки утворюють різальні кромки, які і знімають дуже дрібну волосоподібну стружку.

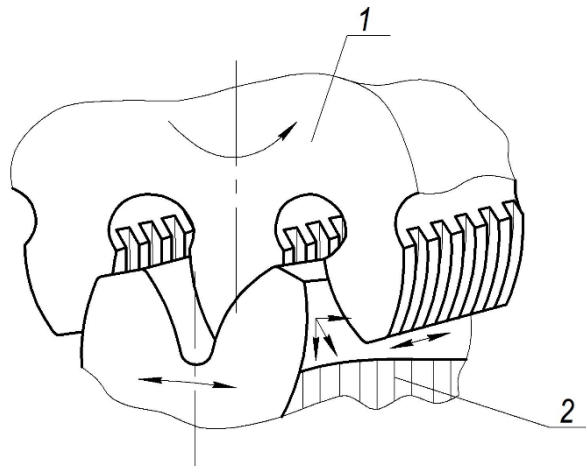


Рисунок 19.1 – Схема шевінгування:

1 – шевер; 2 – зубчасте колесо

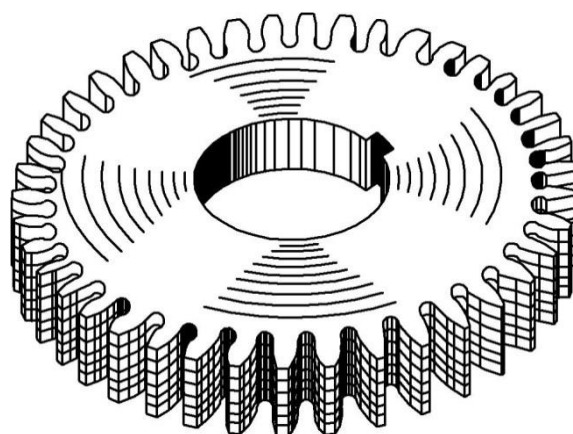


Рисунок 19.2 – Дисковий шевер

Для оброблення прямозубих коліс використовується косозубий шевер, для косозубих коліс – шевер з прямими зубами. Шевінгування проводять на верстатах моделей 5701, 5702В і ін. Схема встановлення шевера та колеса на верстаті зображена на рис. 19.3.

Зубчасте колесо 2 (рис. 19.3) встановлюється в центрах на оправці. Шевер 1 закріплюють в шпindelній бабці. У зачепленні колесо і шевер утворюють гвинтову передачу, що складається з циліндричних зубчастих коліс з перехресними осями, де ведучою ланкою є шевер. В процесі оброблення стіл з колесом здійснює осьовий зворотно-поступальний рух з подачею 0,15-0,3 мм на один оберт колеса. При зворотному ході стола шевер змінює напрямок обертання, і зуби обробляються з протилежного боку. Для видалення припуску в кінці кожного ходу стола міжосьова відстань зменшується подачею колеса столом в радіальному напрямку.

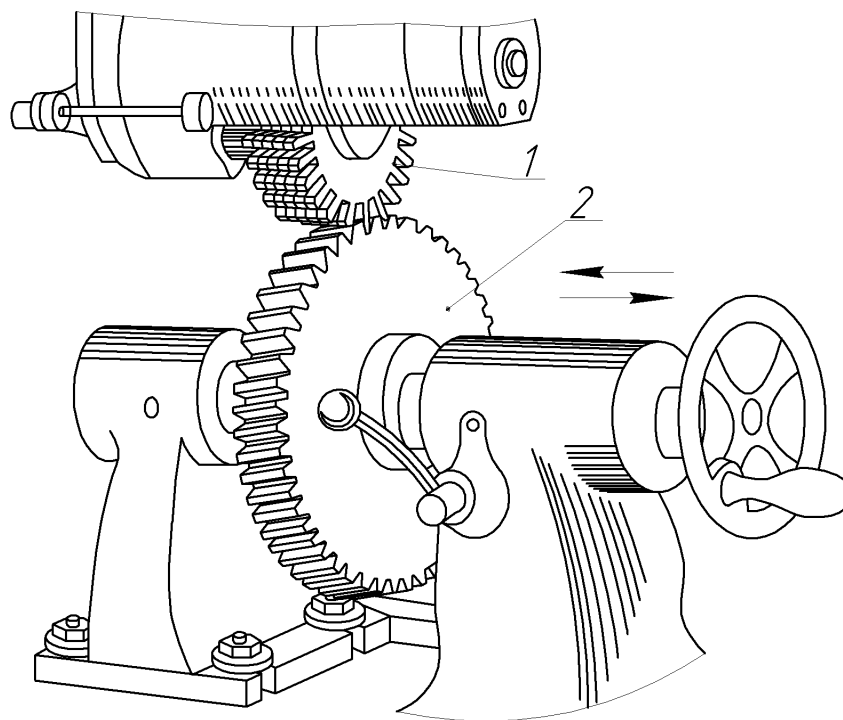


Рисунок 19.3 – Встановлення шевера і колеса на верстаті

Припуск на шевінгування залежить від модуля колеса і становить 0,05 - 0,12 мм на сторону зуба.

За другим способом шевінгування проводиться за допомогою шевер-рейки (рис. 19.4, *a*), що складається з окремих зубів з канавками, які створюють ріжучі кромки на стороні кожного зуба. В процесі оброблення стіл верстата з закріпленою на ньому шевер-рейкою має зворотно-поступальний рух. Так само як і звичайний (дисковий) шевер, шевер-рейка виготовляється з похилими зубами для оброблення зубчастих коліс з прямим зубом; для випадку оброблення зубчастих коліс з косим зубом (з кутом нахилу біля  $15^\circ$ ) шевер-рейка має прямі зуби, розташовані перпендикулярно осі. У тому і іншому випадку утворюється гвинтове зубчасте зачеплення з оброблюваним зубчастим колесом. Оброблення одного зубчастого колеса проводиться приблизно за 15-20 подвійних ходів столу.

На рис. 19.4, *б* зображена схема, що пояснює здійснення поздовжнього ковзання зубів шевер-рейки по зубах зубчастого колеса. Якщо оброблюване зубчасте колесо 1 вільно котити по шевер-рейці 2 з положення *A*, то воно повинно було б переміститися в положення *B*. Але оскільки зубчасте колесо і шевер-рейка є як би гвинтовою зубчастою парою з осями, що схрещуються, то колесо пересунеться не в положення *B*, а в положення *B'*.

В результаті створюється відносне ковзання зубів оброблюваного зубчастого колеса і шевер-рейки, яке визначається відрізком між положеннями зубчастих коліс *B* і *B'*. При цьому різальні кромки шевера зрізують тонку стружку з поверхні зубів колеса. Після кожного ходу столу зубчасте колесо переміщається у вертикальному напрямі вниз; таким чином, здійснюється вертикальна подача в межах 0,025-0,04 мм. На рис. 19.4, *в* зображена схема шевінгування черв'ячної шестерні спеціальним черв'яком-шевером.

Шевінгування зазвичай проводять з мастильно-охолоджуючою рідиною – сульфифрезолом або індустріальним маслом.

Внаслідок високої собівартості інструменту, поганого вимивання стружки із зубів шевер-рейки, неможливості оброблення бочкоподібних зубів шевінгування шевер-рейкою не має широкого застосування.

Термічне оброблення зубчастих коліс дещо знижує досягнуту точність і

шорсткість поверхні. Проте при виготовленні точних зубчастих коліс шевінгування застосовують до термічного оброблення, з тим щоб в максимально виключити помилки механічного оброблення.

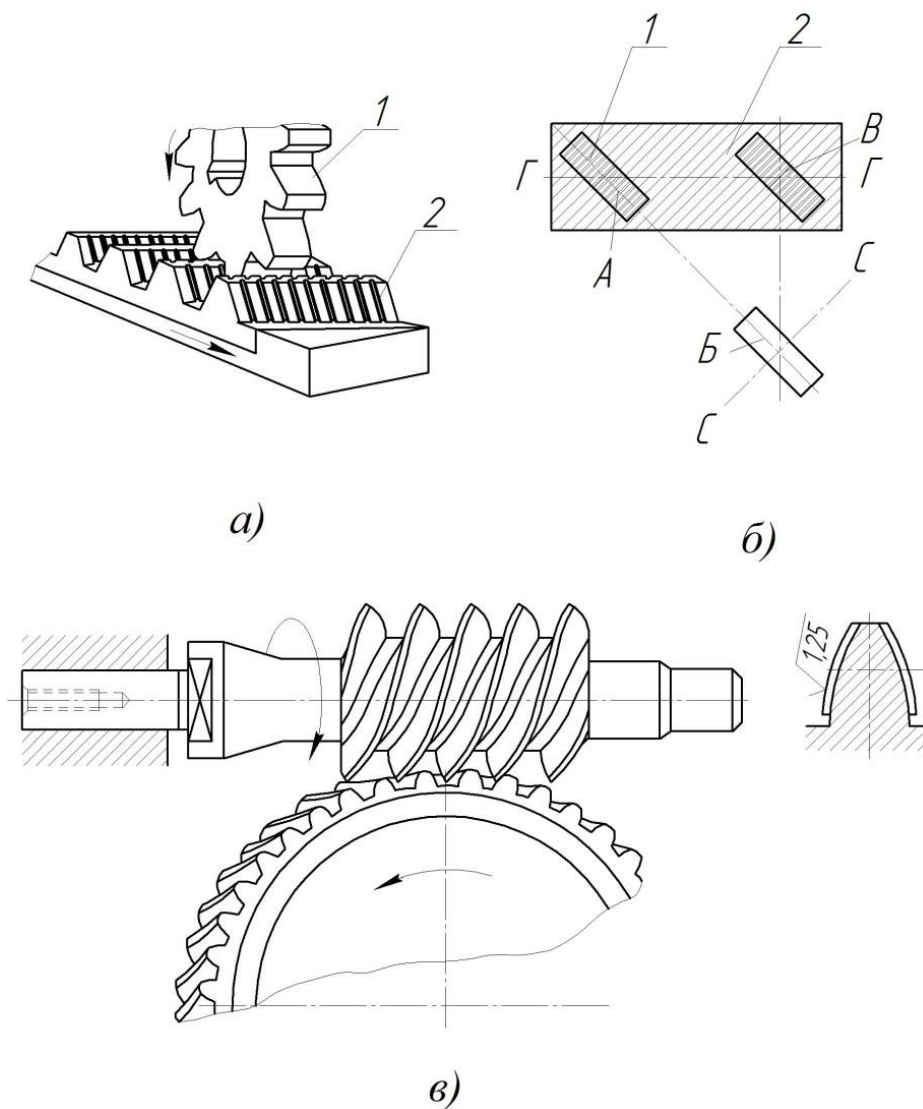


Рисунок 19.4 – Шевінгування шевер-рейкою і шевер-черв'яком:

*a* – шевер-рейкою; *б* – схема ковзання шевер-рейки по зубах зубчастого колеса;  
*в* – шевер-черв'яком; *Г – Г* і *С – С* – відповідно вісі шевер-рейки і зубчастого колеса, яке обробляється

Однією з основних переваг шевінгування є можливість обмежуватися тільки нарізуванням зубів на зубофрезерних верстатах (з подальшим шевінгуванням), не вдаючись до чистового нарізування на зубодовбальних верстатах.

### **19.1.2 Обкатування**

Обкатування застосовується замість шевінгування для оброблення незагартованих зубчастих коліс з модулем до 4 мм і діаметром до 150 мм. Процес здійснюється в масляному середовищі без зняття стружки за рахунок пластичної деформації без абразивного порошку в парі з одним або декількома загартованими колесами-еталонами. В якості інструменту використовується накатник – загартоване до високої твердості зубчасте колесо підвищеної точності.

Колесо, яке обробляють, встановлюють між двома накатниками, які приводяться у обертання і притискаються до колеса. Відстань між осями накатників і колеса поступово зменшується до отримання необхідного розміру зубів. Продуктивність обкатування в 4 - 5 разів вища шевінгування.

Обкатування здійснюється в спеціальних пристроях на горизонтально-фрезерних верстатах.

В результаті тиску зубів коліс-еталонів на поверхнях зубів, які обробляють, виникає наклеп, згладжуються нерівності. Зважаючи на те що при обкатуванні профіль і крок зуба не виправляються, а у ряді випадків створюється додаткові внутрішні напруження, що збільшують спотворення профілю при подальшому термічному обробленні, цей спосіб оброблення застосовується для зубчастих коліс, що не вимагають високої точності, а також для коліс, що не підлягають термічному обробленні.

### **19.1.3 Припрацювання**

Метою припрацювання є деяке підвищення чистоти поверхні зубів і прискорення процесу їх взаємного припрацювання в зібраній передачі. Припрацювання полягає у взаємному обкатуванні двох коліс, які згодом будуть працювати в парі. Припрацювання може проводитися або безпосередньо у вузлі

в процесі монтажу, або на спеціальних зубообкатних верстатах. Для прискорення процесу між зубами вводиться мастило з абразивним порошком, проте припрацювання часто здійснюється і без застосування абразиву.

Припрацювання зубчастих коліс відрізняється від обкатування тим, що проводиться для зубчастих коліс, що працюють в парі і після закінчення обробки направляються комплектом на складання, щоб забезпечити парне встановлення при складанні машини.

Точність елементів колеса в процесі припрацювання не підвищується. Має місце навіть деяке погіршення профілю. Однак парні профілі взаємно припрацьовуються один до одного, чистота поверхні підвищується і плавність зачеплення покращується. Зменшується також шум в передачі. Припрацювання найбільш ефективно при кратному співвідношенні чисел зубів двох коліс, наприклад: 18:36; 30: 30 і т. В цьому випадку кожен зуб одного колеса завжди припрацьовує лише певні впадини іншого. Припрацювання зубчастих коліс виключає взаємозамінність, в цьому полягає найбільш істотний недолік процесу.

## **19.2 Викінчувальні методи оброблення загартованих зубчастих коліс**

### **19.2.1 Зубошліфування**

Зубошліфування є основним видом викінчувального оброблення загартованих зубів і здійснюється двома методами: копіювання та обкатування. Цим методом забезпечується 4 - 6 ступінь точності і шорсткість поверхонь зубів коліс  $Ra$  від 1,2 - 0,32 мкм, твердість поверхонь коліс, які обробляються може сягати 60 HRC і більше.

Метод копіювання при шліфуванні аналогічний нарізуванню зубів дисковою модульною фрезою, тут круг також має евольвентний профіль, який відповідний впадині зубів.

При шліфуванні методом копіювання абразивному кругу надається обертовий (головний) і зворотно-поступальний рух подачі вздовж напрямку зуба

(рис. 19.5). Поперечна подача на глибину шліфування здійснюється періодично після кожного подвійного ходу. Для повороту заготовки круг доводиться виводити із зони різання і лише після цього здійснювати поворот заготовки.

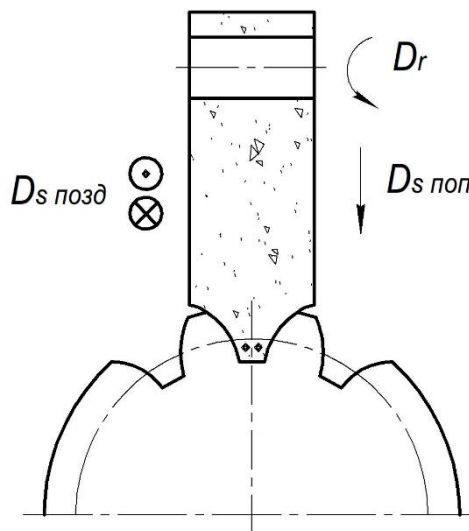


Рисунок 19.5 – Схема шліфування дисковим профільним кругом впадин колеса методом копіювання

Шліфування зубів малого модуля можна проводити без попереднього чорнового оброблення.

Круг правлять трьома алмазами (рис. 19.6) за допомогою копіювального пристрою і одночасно шліфують дві сторони двох сусідніх зубів. Метод копіювання застосовується для оброблення прямозубих коліс, точність яких не перевищує 6 ступеня. Більш високу точність отримати досить важко через зношування круга.

Метод обкатування при шліфуванні дозволяє одержати більш високу точність. Існують два різновиди цього методу: з періодичним поворотом зубчастого колеса і з безперервним його обертанням.

Суть методу обкатки з періодичним поворотом зубчастого колеса полягає в тому, що в процесі шліфування відтворюється зачеплення зубчастої пари – рейки і колеса. Частиною контуру рейки є твірна (або твірні) шліфувального круга.

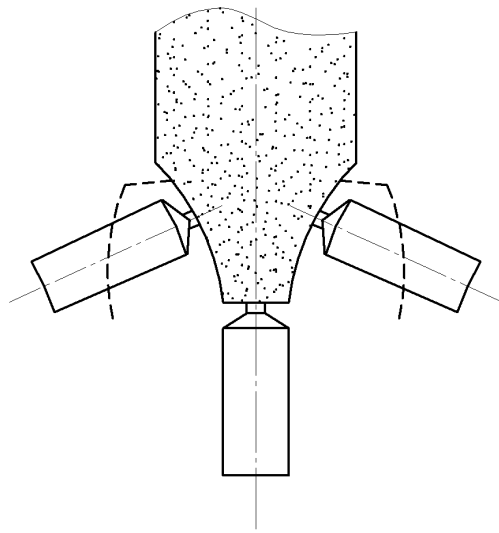


Рисунок 19.6 – Схема правки круга для шліфування зубів методом копіювання

Шліфування здійснюється двома тарілчастими або одним конічним кругом (рис. 19.7). При шліфуванні тарілчастими кругами вони розміщуються під кутом, при якому проекція торця круга 1 збігається з контуром рейки 2. Зубчасте колесо 3 обертається, переміщуючись перпендикулярно своїй осі і здійснює зворотно-поступальні рухи вздовж зуба. Після оброблення бічних поверхонь зубів колесо повертається у вихідне положення і провертається на один зуб.

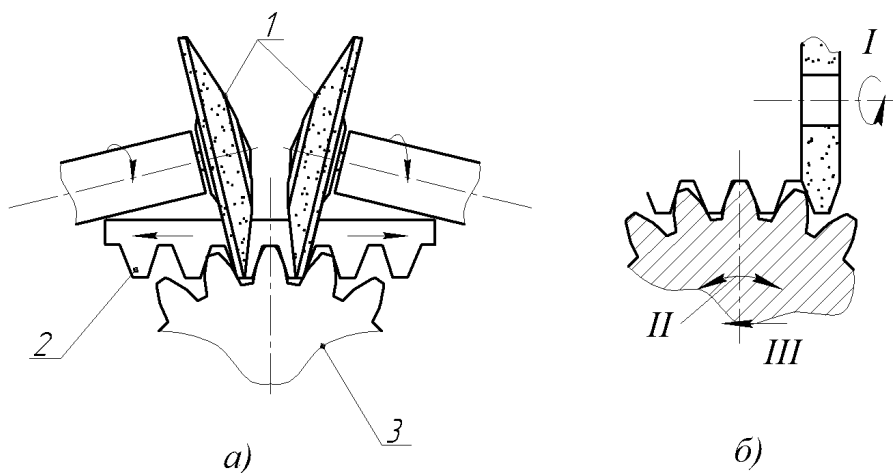


Рисунок 19.7 – Схема шліфування зубів методом обкатки:

*a* – двома тарілчастими кругами; *б* – одним конічним кругом

При шліфуванні одним конічним кругом його профіль співпадає з контуром одного зуба рейки (рис. 19.7, *б*). Зубчасте колесо робить ті ж рухи, що



і в попередньому випадку. При шліфуванні методом обкатки з періодичним поворотом зубчастого колеса забезпечується 5- та степінь точності зубів.

Продуктивність методу оброблення коліс конічним кругом нижча, ніж профільним, але точність оброблення вища. Метод шліфування тарілчастими кругами менш універсальний, але забезпечує високу якість оброблюваних поверхонь.

Найбільш перспективним можна вважати метод оброблення зубів коліс абразивним черв'ячним кругом (рис. 19.8), призначеним для зубошліфування обкаткою, коли круг спільно із заготовкою в процесі оброблення утворюють гвинтову зубчасту передачу.

При обробленні зубчастого колеса черв'ячним кругом рух різання здійснюється безперервно за рахунок обкатувально-обертального руху заготовки і поступального руху витка абразивного черв'яка в осьовому напрямі. При цьому відсутні холості ходи, що забезпечує даному способу оброблення високу продуктивність.

Шліфувальному кругу, який виготовлений у вигляді одно- або двозахідного черв'яка діаметром 300 мм в процесі оброблення надають два рухи: обертовий (I) – навколо осі (рух різання) із швидкістю 20 – 30 м/с і поступальний (II) – вздовж осі заготовки (рух подачі) із швидкістю 0,6 мм за один оберт колеса.

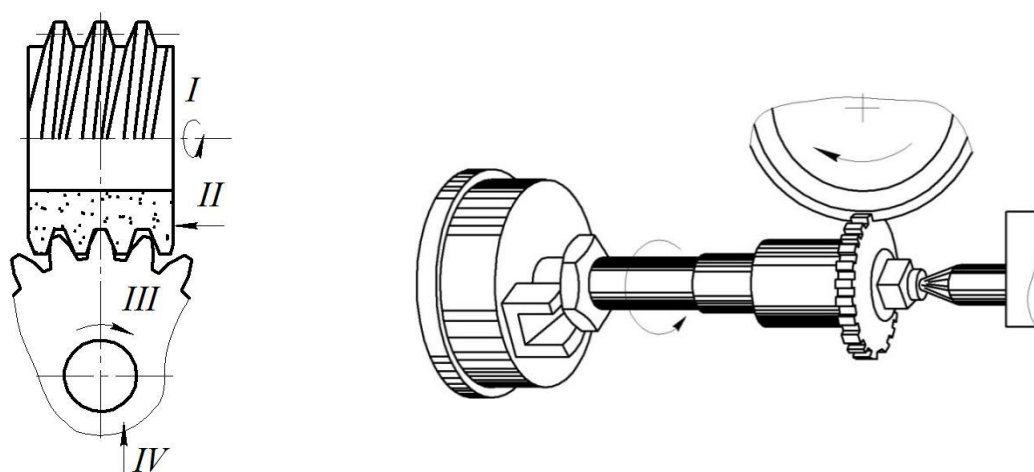


Рисунок 19.8 – Шліфування зубів методом обкатування абразивним черв'ячним кругом

Зубчасте колесо здійснює обертовий рух (III) навколо своєї осі, узгоджений з обертанням абразивного черв'яка, і періодичний радіальний рух подачі (IV). Точність оброблення однозахідним черв'яком відповідає 6 ступеню точності, двозахідним – 7 ступеню точності. Шорсткість обробленої поверхні складає 0,8-0,1 мкм. В процесі оброблення круг обертається і переміщується вздовж своєї осі, що забезпечує рівномірне зношення круга по довжині.

Цим методом обробляють зуби з модулем не більше 5 мм. Черв'ячним шліфувальним кругом досягається 3-4 ступінь точності і шорсткість  $Ra$  0,63 мкм. Найбільшу стійкість забезпечують алмазні, ельборові і мінералокерамічні круги.

Найбільш продуктивним методом шліфування є безперервне профільне обкатування абразивним черв'яком із зовнішнім контуром глобоїдної форми. Профіль абразивного черв'яка відповідає профілю зубів колеса і контакт між ними має лінійну форму. Електронне управління приводом інструменту і заготовки забезпечує високу точність взаємопов'язаних рухів. Шліфування проводиться на спеціальних верстатах.

Абразивним черв'ячним кругом можна також прорізати зуби з модулем до 1 мм в суцільному металі.

Шліфування прямих зубів конічних зубчастих коліс методом обкатування двома дисковими абразивними кругами (рис. 19.9) проводиться на нових верстатах, сконструйованих на базі зубостругальних.

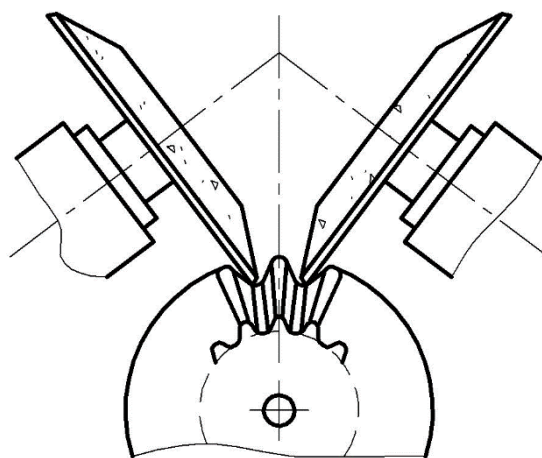


Рисунок 19.9 – Зубошліфування конічного зубчастого колеса з прямим зубом

Криволінійні зуби конічних зубчастих коліс шліфують чашковим абразивним кругом. Перетин бічної сторони круга повинен мати профіль зуба рейки. Чашковий круг, обертаючись із швидкістю 20-30 м/с, обкатує робочу поверхню профілю шліфованого зуба.

При шліфуванні зазвичай виділяється значна кількість тепла, тому для запобігання утворення на поверхні, яка обробляється, тріщин, пригарів та інших дефектів термічного походження, оброблення слід вести з застосуванням мастильно-охолоджуючих рідин. Зубошліфувальні верстати забезпечуються пристроями для подачі мастильно-охолоджуючої рідини звичайним способом або через шліфувальний круг, що запобігає відпуску зубів в процесі шліфування.

### **19.2.2 Зубохонінгування**

Зубохонінгування необхідне для зменшення мікронерівностей, ліквідації похибок профілю, кроку і биття, які викликані термічним обробленням.

Процес хонінгування зубів доцільно застосовувати після шевінгування і гартування зубчастих коліс, хоча і можливий варіант, що виключає процес шевінгування, тобто після зубофрезерування або зубодовбання і гартування зубів. Проте слід враховувати, що чим точніше виготовлена заготовка перед зубохонінгуванням, тим довший термін служби дорогого хону, вища продуктивність і якість оброблюваних поверхонь.

Хонінгування зубів зовнішнього зачеплення, з погляду кінематики, дуже близьке до шевінгування. Осцилюючі рухи інструменту дозволяють як врізне, так і поздовжнє хонінгування. Головний рух інструменту – обертовий, зубчасте колесо знаходиться з ним у вільному зачепленні відносно переміщення (руху подачі) як в поздовжньому, так і поперечному напрямках.

Зубохонінгування здійснюють на тих же верстатах що і шевінгування. Інструментом є хон – абразивне зубчасте колесо з прямими або косими зубами, виготовлене з пластмаси з наповнювачем з абразивних зерен, розмір яких

залежить від вимог до шорсткості поверхні. Процеси зубохонінгування і шевінгування аналогічні. Застосування зубохонінгування дозволяє підвищити точність після шліфування на 1-2 ступеня і довести шорсткість до 0,25 мкм. при продуктивності до 0,5 секунд на зуб. Товщина шару металу, що знімається при обробленні не перевищує 0,005-0,025 мм на сторону.

При зубохонінгуванні інструмент обертається зі швидкістю близько 7- 10 м/с, коливальні рухи відбуваються з частотою 200-300 коливань за хвилину і амплітудою 1,5 мм, а колесо, яке обробляють, здійснює зворотно-поступальний рух з частотою 2-3 подвійних ходи за хвилину. Процес ведуть із застосуванням мастильно-охолоджуючих рідин. Знаходячись в постійному контакті, зуби хона стають тоншими, тому зовнішній діаметр хона потребує періодичної правки

### **19.2.3 Притирання**

Найбільшого поширення зубопритирання знаходить в умовах масового і серійного виробництва, де потрібне виготовлення зубчастих коліс високої точності. Притирання надає поверхні високої якості, воно згладжує нерівності, зменшує шорсткість і надає дзеркальний блиск поверхні, значно зменшуючи шум і збільшуючи плавність роботи зубчастих коліс. Однак точність зубчастих коліс підвищується не більше ніж на один ступінь.

Притирання дає кращу за якістю поверхню зубів, ніж шліфування, але за умови правильного виготовлення зубчастого колеса, оскільки притиранням можна виправити лише незначні похибки. За наявності ж значних похибок зубчасті колеса необхідно спочатку шліфувати, а потім притирати.

Зубопритирання – викінчувальний метод оброблення деталей, що працюють в парі, для забезпечення якнайкращого контакту робочих поверхонь зубчастих коліс, який застосовується замість шліфування після термічного оброблення.

Притирають зуби циліндричних і конічних коліс (що мають твердість

більше 58 HRC), щоб зменшити висоту мікронерівностей робочих поверхонь зубів, забезпечити задану форму плями контакту і зменшити рівень шуму передач.

Процес притирання полягає в тому, що зубчасте колесо, яке обробляють, обертається в зачепленні з чавунними шестернями-притирами, які приводяться в обертання і змащуються пастою, яка складається з суміші дрібного абразивного порошку з машинним мастилом. Окрім цього зубчасте колесо, яке обробляється, і притири мають в осьовому напрямі зворотно-поступальний рух один відносно одного. Такий рух прискорює процес оброблення і підвищує його точність. Переважно рух в осьовому напрямі надається зубчатому колесу, яке притирається.

Притир являє собою зубчасте колесо 5-6 ступеня точності, яке виготовлене з дрібнозернистого чавуну. Під час притирання притир притискається до оброблюваного колеса в радіальному напрямі. Необхідне зусилля притискання створюється гідравлічними гальмами (рис. 19.10, б), що діють на шпинделі притирів.

Існує дві схеми зубопритирання: з паралельними осями оброблюваного колеса (рис. 19.10, а) і притирання з перехресними осями (рис. 19.10, б).

За першою схемою (рис. 19.10, а) притирання проводиться одним притиром того ж модуля і супроводжується взаємним обкатуванням колеса і притира і осьовим зворотно-поступальним рухом.

За другою схемою (рис. 19.10, б), що отримала найбільше поширення, відбувається взаємне обкатування зубчастого колеса трьома притирами.

Зубчасте колесо 1, яке обробляється, встановлене на шпинделі притирального верстата, знаходиться одночасно в зачепленні з чавунними притирами 2, 3, 4. Осі двох притирів 2 і 3 нахилені до оброблюваного зубчастого колеса 1, яке обробляється. Вісь третього притира 4 паралельна осі колеса; цей притир обертається по чергово в різних напрямках для забезпечення рівномірного оброблення зуба з обох сторін. Крім обертання притири мають зворотно-поступальний рух в осьовому напрямку на довжину 25 мм.

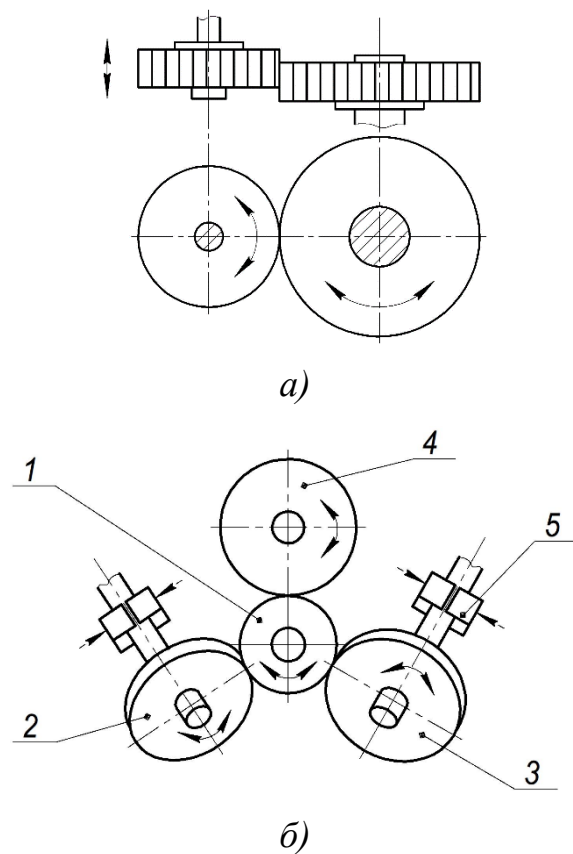


Рисунок 19.10 – Схеми притирання зубів циліндричних зубчастих коліс:  
 а – з паралельними осями притирів; б – з перехресними осями притирів;  
 1 – зубчасте колесо, яке обробляється; 2,3,4, – притири, 5 –гідравлічні гальма

До основних параметрів процесу притирання належать: колова швидкість, число подвійних ходів, радіальне тиск. Колова швидкість при зубопритиранні становить 30-60 м/хв; швидкість взаємного переміщення – 0,8-5 м/хв при 40-200 подвійних ходах в хвилину. Величина припуску, що знімається при притиранні, становить 0,02-0,05 мм на сторону. Зубопритирання забезпечує виправлення вихідних похибок у межах припуску, та отримання 6-7 ступеня точності, і шорсткості  $Ra$  0,32 мкм. Для коліс модулем 2-5 мм час притирання, що припадає на один зуб, становить 0,05-0,1 хв. Колесо середнього розміру притирається за 2- 4 хв.

Зубопритирання здійснюється на зубопритиральних верстатах, зокрема, моделей 573, 5735, ЕЗ-8. Іноді застосовують притирання зубів зубчастих коліс чавунним черв'ячним притиром діаметром 300-400 мм, використовуючи для цього зубофрезерні верстати.

#### 19.2.4 Зубозаокруглення

Метод обробки торцевих кінців зубів зубчастих коліс називається зубозаокругленням. В даний час застосовується багато таких зубчастих коліс, які перемикаються шляхом осьового переміщення без зупинки роботи механізму. З метою полегшення введення зубів у впадини спряжених коліс, а також для усунення ударів і викришування крайок проводиться заокруглення зубів.

Зубозаокруглення проводиться на спеціальних зубозаокруглюючих верстатах пальцевою або чашковою фрезами після нарізування зубів до термооброблення.

При обробленні пальцевою фрезою, фреза обертаючись огинає з торця по дузі кромку зуба. Після оброблення зуба колесо відводиться від фрези, повертається на один зуб і знову подається до фрези (рис. 19.11, *а*).

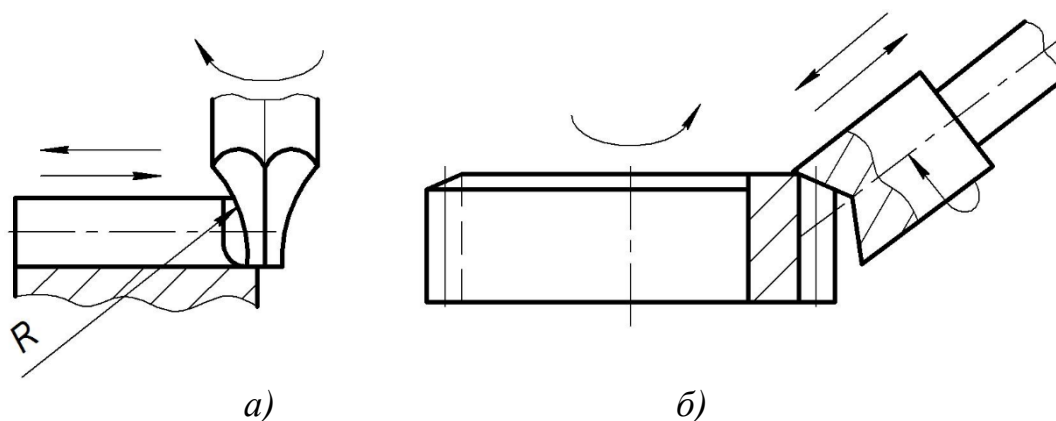


Рисунок 19.11 – Схема заокруглення зубів:

*а* – пальцевою фрезою; *б* – чашковою фрезою

Більш продуктивним є заокруглення зубів чашковою фрезою (рис. 19.12, 19.13). При обробленні фреза здійснює зворотно-поступальні рухи уздовж своєї осі і обробляє протилежні сторони двох сусідніх зубів (рис. 19.11, *б*). При зворотному ході фрези колесо повертається на один зуб. Для підвищення продуктивності застосовуються верстати для одночасного заокруглення зубів на обох торцях колеса (рис 19.14).

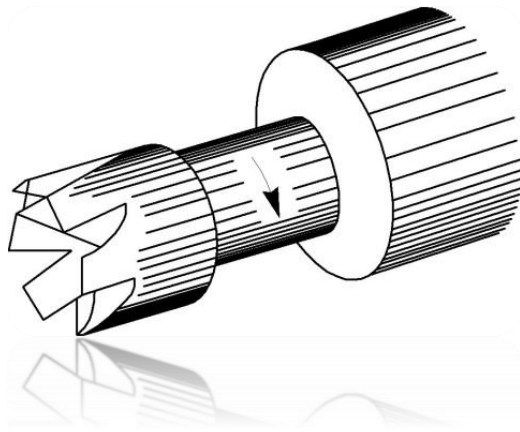


Рисунок 19.12 – Чашкова фреза

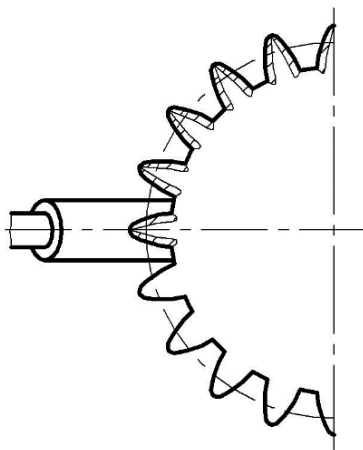


Рисунок 19.13 – Зуби колеса при заокругленні

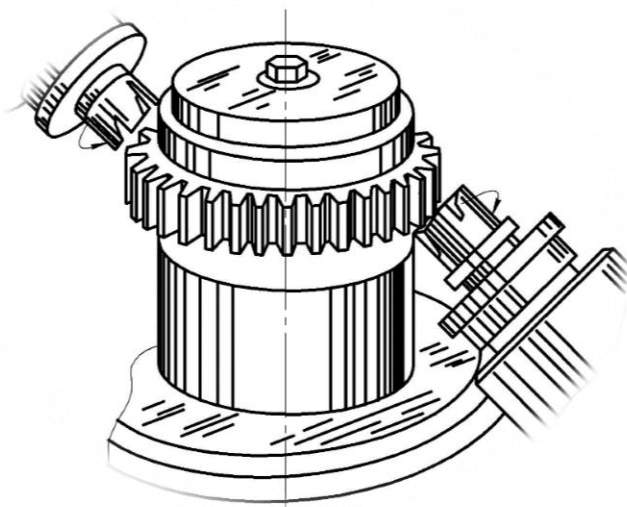


Рисунок 19.14 – Верстат для заокруглення зубів двома чашковими фрезами



## 20 Контроль зубчастих коліс

Виробництво зубчастих коліс є трудомістким і складним процесом. Висока якість зубчастого колеса і економічність його виготовлення формується на всіх етапах виробництва, починаючи з проектування і закінчуючи його виготовленням, що вимагає великої виробничої культури і спеціальних знань з теорії зачеплення, різання металів, металознавства, технології машинобудування.

Контроль зубчастих коліс має велике значення для підвищення надійності і довговічності зубчастих передач. Залежно від призначення та етапів проведення контролю розрізняють приймальний, профілактичний і технологічний контроль зубчастих коліс і передач.

Приймальний контроль проводять для оцінки відповідності точності виробу вимогам, які визначаються призначенням зубчастих коліс. При контролі слід надавати перевагу комплексним показникам, які дають змогу встановити сумарну похибку зубчастого колеса або передачі.

Профілактичний контроль застосовується для визначення геометричної і кінематичної точності зубообробних верстатів і зуборізного інструменту. Профілактичний контроль включає в себе контроль засобів виробництва: верстата – геометричний і кінематичний; інструменту – нового і після заточування; пристосування – поза верстатом і на верстаті; заготовки – після її обробки, на верстаті – перед виконанням технологічних операцій обробки виробу, з метою забезпечення необхідної точності виготовлення зубчастих коліс. Цей вид контролю особливо ефективний при виробництві зубчастих коліс, черв'яків і черв'ячних коліс, оскільки є тісний зв'язок між точністю засобів виробництва і точністю готового виробу.

Технологічний контроль застосовують при налагоджуванні технологічного обладнання і для з'ясування причин браку. Поелементно контролюють установчі технологічні бази показників, що дає повніше уявлення про хід і стан технологічного процесу.

Точність виготовлення зубчастих коліс регламентується відповідними стандартами. Передбачено 12 ступенів точності, більш точні колеса мають менші ступені точності. Кожен ступінь точності регламентує три норми – кінематичної точності, плавності роботи і контакту зубів в передачі, а також шість видів сполучень і вісім видів допусків на бічний зазор. Норми точності можуть призначатися в залежності від сфери застосування зубчастого колеса. При цьому змінюється характер допустимих похибок і величина похибки, наприклад, для ділільних і планетарних передач важлива кінематична точність, для високошвидкісних передач головним є плавність роботи передачі, для важко навантажених тихохідних передач необхідно забезпечити повноту контакту зубів, а для реверсивних відлікових передач важлива величина бічного зазору .

Для кожної норми точності стандарти визначають основні відхилення зубчастого колеса, які впливають на дану норму. Всього стандартом визначено 24 похибки, що підлягають контролю.

7 похибок визначають кінематичну точність (кінематична похибка зубчастого вінця, накопичена похибка кроку колеса, накопичена похибка кроків, похибка обкату, коливання довжини загальної нормалі, радіальне биття зубчастого вінця, коливання вимірювальної міжосьової відстані за оборот колеса.

Плавність роботи залежить також від 7 похибок (місцева кінематична похибка колеса, циклічна похибка зубцевої частоти, циклічна похибка зубчастого колеса, похибка профілю зуба, відхилення кроку зачеплення, відхилення кроку, коливання міжосьової відстані на одному зубі).

Точність контакту зубів визначається 4 параметрами (похибка напрямку зуба, похибка контактної лінії, відхилення осьових кроків по нормалі, сумарна пляма контакту).

Бічний зазор у передачі визначається 6 параметрами (додаткове зміщення вихідного контуру, відхилення довжини загальної нормалі, відхилення середньої довжини загальної нормалі, відхилення товщини зуба, граничні відхилення міжосьової відстані, відхилення розміру по роликах).

Для вимірювання практично кожного з цих параметрів потрібні спеціалізовані метрологічні засоби, до яких належать:

- прилад для комплексного однопрофільного контролю;
- прилад для абсолютного вимірювання накопиченої похибки кроку;
- прилади для відносного вимірювання накопиченої похибки кроку;
- кінематомер;
- зубомірний мікрометр для контролю довжини загальної нормалі;
- нормалемір для визначення відхилень від номінального значення довжини загальної нормалі;
- биттеміри;
- прилад для двопрофільного контролю (міжцентромір);
- хвилемір (для контролю циклічної похибки);
- евольвентоміри;
- крокомір накладний;
- ходомір (для контролю лінії зуба);
- зубоміри зсуву;
- штангензубоміри.

Відхилення основного кроку перевіряють крокоміром за різницею дійсної і номінальної відстаней між паралельними дотичними до двох сусідніх однойменних профілів зубів (рис. 21.1, *a*). Жорсткий упор 1 і пересувний упор 2 мають дві паралельні площини, які відтворюють обкатування колеса з рейкою. Ціна поділки індикатора 5 мкм. У лабораторіях основний крок може бути перевірений також на стаціонарних приладах;

Різницю кругових кроків контролюють за допомогою приладу за різницею відстаней між будь-якими круговими кроками по одному колу колеса (рис. 21.1, *б*), в приладі упор 1 жорсткий, інший 2 рухомий і зв'язаний з індикатором 3;

Товщину зубів коліс можна виміряти кромковим штангензубоміром (рис. 21.1, *в*); зміщення початкового контуру – тангенціальним зубоміром як

радіальне положення вихідного контуру відносно кола виступів (рис. 21.1, з);  
 радіальне биття зубчастого вінця – на приладі (рис. 21.1, д) вимірюванням  
 відхилення показів індикатора 1 по ролику 2, вставленому у впадини зубів.  
 Довжину загальної нормалі перевіряють індикаторною або жорсткою плоско-  
 паралельною скобою.

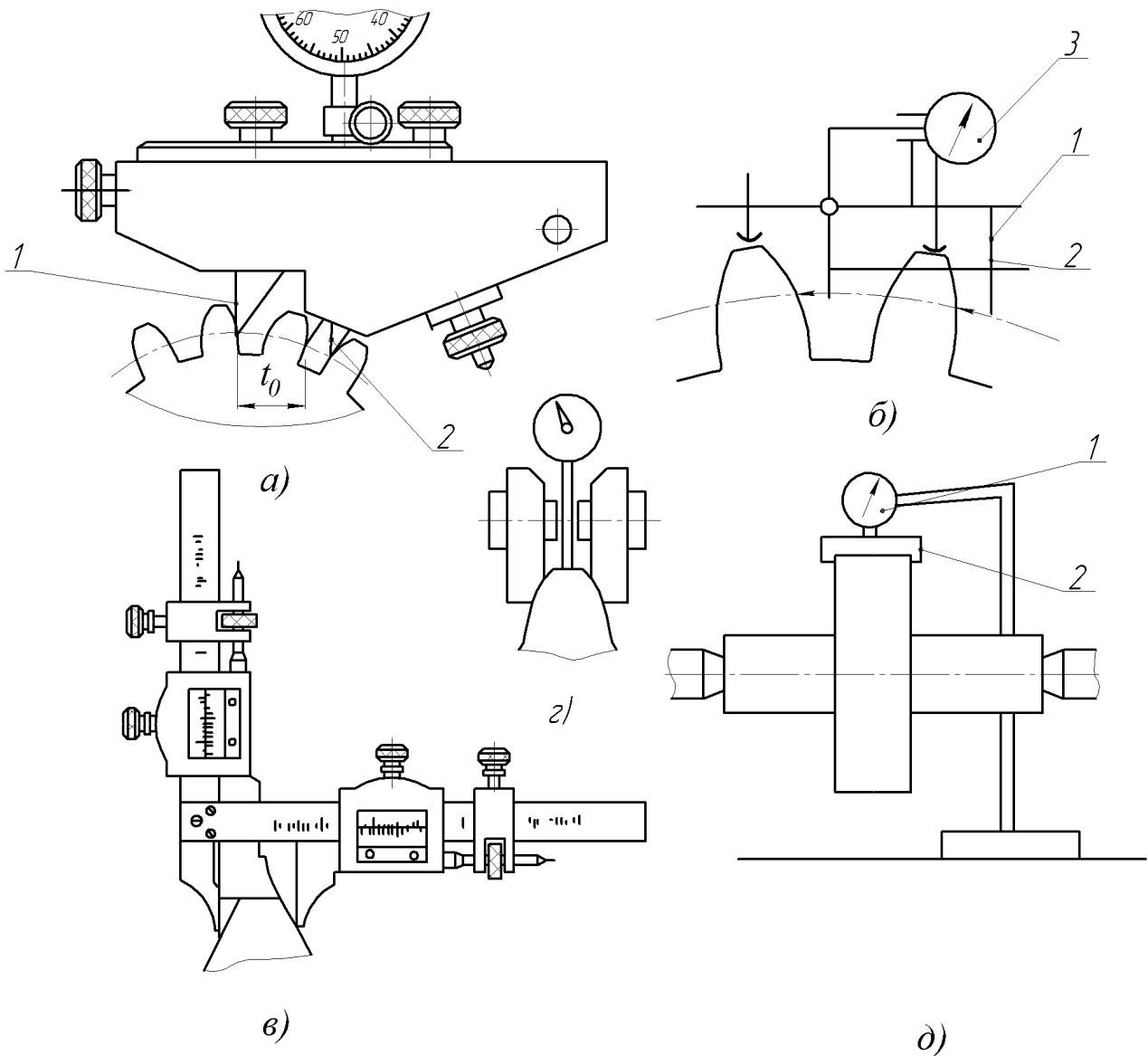


Рисунок 20.1 – Схеми основних способів перевірки зубчастих коліс

В умовах сучасного виробництва широкого застосування набули активні методи контролю. При активному контролі зубчасте колесо вимірюється під час виконання технологічної операції і за результатами вимірювання проводиться регулювання процесу його обробки. В інших випадках активного контролю

колесо вимірюють після закінчення зубооброблення на даній операції і результати вимірювання використовуються для підналагодження процесу обробки подальших виробів.

В автоматизованому виробництві зубчастих коліс зазвичай використовують автоматизовані засоби вимірювання, іноді у вигляді групи приладів, підключених до керуючої ЕОМ. Застосування цифрових систем управління дозволяє безпосередньо застосувати результати вимірювання зубчастих коліс для підвищення якості. У традиційних технологіях підвищення точності вимагало зміни технології, зміни конструкції пристроїв, ремонту та модернізації верстатів. Для верстатів з ЧПК достатньо ввести в коректори значення похибки обробленої деталі і при обробці наступної деталі похибки вже будуть компенсовані. Таким чином, отримані в результаті вимірювання зубчастого вінця значення відхилень застосовуються в сучасній технології для коригування налагодження верстата. Метою цього коригування може бути не тільки підвищення якості обробленого вінця, але й оптимізація параметрів зубчастого зачеплення. Як наслідок, методи та обладнання для контролю зубчастих вінців все глибше інтегруються у виробничий процес механічної обробки.

Ще однією причиною глибокої інтеграції сучасних методів контролю є необхідність паспортизації та сертифікації виготовлених деталей, особливо при виготовленні деталей по кооперації. Одержувач продукції хоче бути впевнений у її якості та вимагає надання сертифікатів міжнародного зразка, що дають вичерпну інформацію про якість зубчастого вінця. Одержувач готового виробу повинен бути впевнений в якості окремих компонентів і мати відповідне документальне підтвердження.

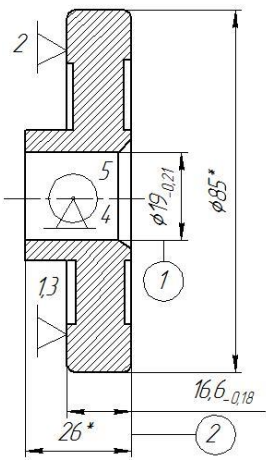
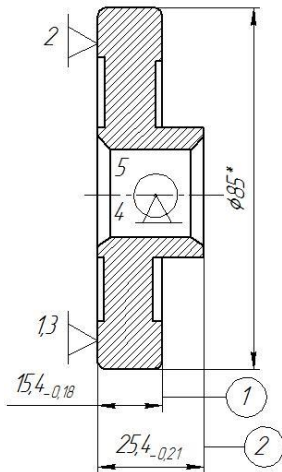
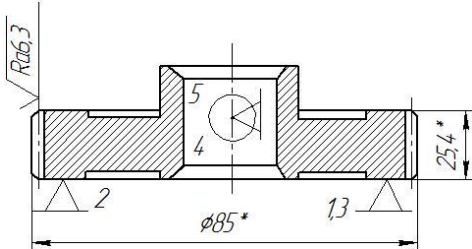
Основними тенденціями розвитку контролю зубчастих коліс є не просто вимірювання деталі з висновком «придатна / непридатна», а аналіз відхилень зі зворотним зв'язком з виробництвом; забезпечення більш високої точності та швидкості вимірювань; можливість контролю безпосередньо в процесі виробництва; впровадження нових стандартів вимірювання та оцінки якості.

## 21 Приклади типових маршрутів виготовлення зубчастих коліс

В табл. 21.1 наведено стислий опис операцій та операційні ескізи виготовлення зубчастого колеса з маточиною, а в табл. 21.2 – вала-шестерні.

Таблиця 21.1 – Технологічний процес виготовлення зубчастого колеса

Операція	Операційний ескіз
<p>005. Токарно-гвинторізна.                      Верстат токарний багаторізцевий напівавтомат 1723.                      1. Підрізати торці 5 і 4 начорно.                      2. Точити поверхню 1 до кулачка патрона.                      3. Розточити отвір 6 на прохід начорно.                      4. Точити поверхні 2 і 3 начорно.                      5. Точити фаски.</p>	<p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra12,5}</math></p>  <p style="text-align: center;">*Розміри для довідок</p>
<p>010. Токарно-гвинторізна.                      Верстат токарний 16K20 з ЧПК.                      1. Підрізати торець 1.                      2. Точити поверхню 4 начорно.                      3. Точити поверхні 2 і 3.                      4. Розточити фаски.</p>	<p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra12,5}</math></p> 
<p>020. Термічна.                      Нормалізація.</p>	<p style="text-align: center;">—</p>

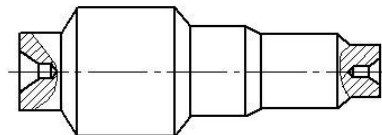
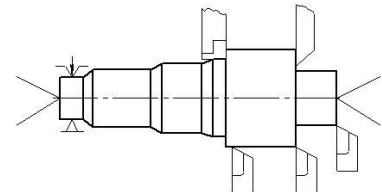
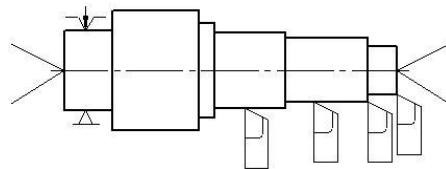
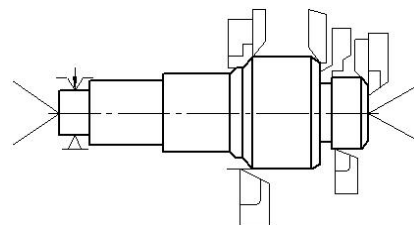
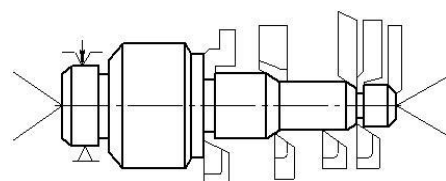
Операція	Операційний ескіз
<p>025. Токарно-гвинторізна. Верстат токарний 16К20 з ЧПК. 1. Підрізати торець 2 під шліфування. 2. Розточити отвір 1 під шліфування. Розточити і точити фаски.</p>	<p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra12,5}</math></p> 
<p>030. Токарно-гвинторізна. Верстат токарний 16К20. 1. Підрізати торець 1 начисто. 2. Підрізати торець 2 під шліфування. 3. Розточити і точити фаски.</p>	<p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra12,5}</math></p> 
<p>035. Зубофрезерна. Верстат зубофрезерний напівавтомат моделі 5306К. 1. Фрезерувати 40 зубів (<math>m=2</math>) під шліфування.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Зсув вихідного контуру <math>E_s=0,1; T_H=0,15</math></i></p>
<p>040. Слюсарна. Напівавтомат для зняття задирок 5525. 1. Зачистити заусенці на торцях зубів.</p>	<p style="text-align: center;">—</p>
<p>045. Термічна. Установка для гартування СВЧ. 1. Гартування зубів</p>	<p style="text-align: center;">—</p>

Операція	Операційний ескіз
<p>050. Круглошліфувальна. Торцекруглошліфувальний верстат 3Т15Е. 1. Шліфувати поверхні 1, 2 начисто.</p>	
<p>055. Внутрішньошліфувальна. Верстат Внутрішньошліфувальний 3А227. 1. Шліфувати поверхні 1 і 2 начисто</p>	
<p>060. Плоскошліфувальна. Верстат плоскошліфувальний 3Б740. 1. Шліфувати поверхню 1 начисто.</p>	
<p>065. Довбальна. Верстат довбальний 7А412. 1. Довбати шпонковий паз 1 (Операція може виконуватися після операції 50).</p>	

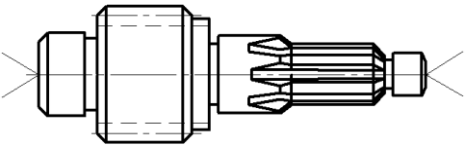
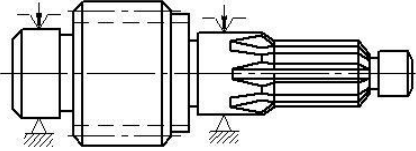
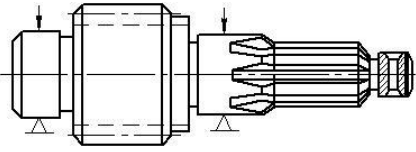


Операція	Операційний ескіз
<p>070. Зубошліфувальна.</p> <p>Верстат зубошліфувальний напівавтомат 5В833.</p> <p>1. Шліфувати начорно і начисто 40 зубів (<math>m = 2</math>).</p>	 <p>Зсув вихідного контуру <math>E_{fs}=0,08; T_f=0,1</math></p>

Таблиця 21.2 – Технологічний процес виготовлення вала-шестерні

Операція	Операційний ескіз
<p>005. Фрезерно-центрувальна.</p> <p>Фрезерно-центрувальний верстат моделі 4815.</p> <p>1. Фрезерування і центрування торців заготовки.</p>	
<p>010. Токарна.</p> <p>Токарний багаторізцевий верстат моделі 1720.</p> <p>1. Попереднє токарне оброблення лівого кінця.</p>	
<p>2. Попереднє токарне оброблення правого кінця.</p>	
<p>3. Чистове токарне оброблення лівого кінця.</p>	
<p>4. Чистове токарне оброблення правого кінця.</p>	

Операція	Операційний ескіз
<p>015. Вертикально-свердлильна. Вертикально-свердлильний верстат моделі 2А125 з двошпindelною головкою. 1. Свердління двох отворів на торці.</p>	
<p>020. Вертикально-свердлильна. Вертикально-свердлильний верстат моделі 2А125 з двошпindelною головкою. 1. Нарізування різи в двох отворах.</p>	
<p>025. Зубофрезерна. Зубофрезерний верстат моделі 5320. 1. Нарізування зубів.</p>	
<p>030. Зубошевiнгувальна. Зубошевiнгувальний верстат моделі 5714 з пристосуванням для бочкоподiбного зуба.</p>	
<p>035. Круглошліфувальна. Круглошліфувальний верстат моделі 312М. 1. Шліфування лівої шийки і торця.</p>	
<p>2. Шліфування правої шийки і шийки під нарізування шліців.</p>	

Операція	Операційний ескіз
<p>040. Шліцефрезерна. Горизонтальний шліцефрезерний верстат моделі 5618.</p>	
<p>045. Різефрезерна. Різефрезерний верстат моделі 563В.</p>	
<p>050. Вертикально-свердлильна. Вертикально-свердлильний верстат моделі 2А125. 1. Свердління і зенкування отворів <math>\varnothing 6</math> з двох сторін.</p>	

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Атимонов, А.М. Технология машиностроения. Часть 1. Технология производства машин: конспект лекций [Текст] / А.М. Атимонов. – Уральский государственный технический университет, УПИ. – Екатеринбург, 2007. – 93 с.
2. Балакшин, Б.С. Основы технологии машиностроения [Текст] / Б.С. Балакшин. – Издание 3-е. – М.: Машиностроение, 1969. – 358 с.
3. Глухов, С.Ю. Основы технологий машиностроения: электронный конспект лекций / С.Ю. Глухов. – Чебоксарский машиностроительный техникум. – Шумерля, 2011. – 198 с.
4. Данилевский, В.В. Технология машиностроения (общий курс): учебник для машиностроительных техникумов [Текст] / В.В. Данилевский. – М.: Высшая школа, 1963. – 506 с.
5. Егоров, М.Е. Технология машиностроения: учебник для вузов [Текст] / М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – Изд. 2-е, доп. – М.: Высшая школа, 1976. – 534 с.
6. Картавов, С.А. Технология машиностроения (специальная часть) [Текст] / С.А. Картавов. – К.: Вища школа, 1984. – 272 с.
7. Клепиков, В.В. Технология машиностроения: учебник [Текст] / В.В. Клепиков, А.Н. Бодров. – М.: Форум: ИНФРА-М. – 2004. – 860 с.
8. Корсаков, В.О. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов [Текст] / В.О. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1974. – 336 с.
9. Руденко, П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: навчальний посібник [Текст] / П.О. Руденко. – К.: Вища школа, 1993. – 414 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2т. – Т. 2; под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – 5-е изд., пераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 905 с.

11. Сысоев, С.К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов: учебное пособие [Текст] / С.К. Сысоев, А.С. Сысоев, В.А. Левко. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 352 с.
12. Текст лекций по дисциплине «Технологические основы машиностроения» для студентов специальности «Оборудование химических предприятий и производств строительных материалов» [Текст]: в 2 ч. – Ч. 1; сост. И.М. Ченкина. – Северодонецк: ТИ, 2008. – 130 с.
13. Технология машиностроения. Часть 2. Проектирование технологических процессов: учеб. пособие [Текст] / Э.Л. Туков, И.И. Козарь, Б.Я. Розовский, В.В. Дегтярев, А.М. Соловейчик; под. ред. С.Л. Мурашкина. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 498 с.
14. Технология машиностроения: учебник для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / Л.В. Лебедев, В.У. Мнацаканян, А.А. Погонин и др. – М.: Академия, 2006. – 528 с.
15. Технология машиностроения: спец. часть: учебное пособие для вузов [Текст] / Б.Л. Безпалов, Л.А. Глейзер, И.М. Колесов и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
16. Ткачев, А.Г. Типовые технологические процессы изготовления деталей машин: учебное пособие [Текст] / А.Г. Ткачев, И.Н. Шубин. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 112 с.

## ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

**Головка зуба** – частина зуба, що лежить поза ділильним колом.

**Головка ділильна** – спеціальний верстатний пристрій, який застосовується для періодичного повороту заготовки на рівні або нерівні кути фрезерування багатогранників, западин між зубцями коліс, канавок різальних інструментів і ті, а також для безперервного обертання заготовки узгоджено із поздовжньою подачею.

**Ділильне коло** – коло зубчастого колеса, на якому його крок і кут зачеплення відповідно дорівнюють теоретичному кроку і куту зачеплення інструменту (наприклад, рейки).

**Довб'як** – різальний інструмент для нарізання зубчастих коліс методом обкатування у вигляді загартованого зубчастого колеса з коригованими зубами, кожен з яких має різальні кромки і необхідні кути різання.

**Зуб** – виступи на колесі, що передають рух шляхом дії на виступи другого колеса.

**Зубозаокруглення** – метод обробки торцевих кінців зубів зубчастих коліс, який проводиться на спеціальних зубозаокругляючих верстатах пальцевою або чашковою фрезами після нарізування зубів до термооброблення.

**Зубопритирання** – викінчувальний метод оброблення деталей, що працюють в парі, для забезпечення якнайкращого контакту робочих поверхонь зубчастих коліс, який застосовується замість шліфування після термічного оброблення.

**Зубчаста передача** – механізм, призначений для передачі обертового руху, а також для перетворення обертового (коливального) руху в поступальний або навпаки, поступального в обертовий рух.

**Зубчасте колесо** – колесо з замкнутою системою зубів.

**Колеса зубчасті прямозубі циліндричні** – зубчасті колеса, в яких напрям кожного зуба співпадає з твірною початкової поверхні.

**Колеса зубчасті косо зубі циліндричні** – зубчасті колеса, в яких напрям кожного зуба складає постійний кут з твірною початкової поверхні.

**Колеса шевронні циліндричні** – поєднання двох косо зубих коліс з правим і лівим направленням зубів.

**Метод копіювання** – метод виготовлення зубчастих коліс, при якому профіль зальної частини інструменту повинен збігатися з профілем западин між зубами, які нарізуються.

**Метод обкатування** – метод виготовлення зубчастих коліс, який полягає в тому, що різальному інструменту і заготовці надають такий же відносний рух, який виникає при нормальному зачепленні колеса з рейкою і при якому різальні кромки інструменту, переміщуючись, займають відносно профілів зубів коліс ряд послідовних положень, вирізаючи метал між зубами і формуючи їх профілі

**Накатник** – інструмент для виготовлення зубчастих коліс методом накатування у вигляді зубчастого колеса з модулем зубів колеса, яке обробляється.

**Обкатування** – метод викінчувальної обробки незагартованих зубчастих коліс з модулем до 4 мм і діаметром до 150 мм, який здійснюється в масляному середовищі без зняття стружки за рахунок пластичної деформації без абразивного порошку в парі з одним або декількома загартованими колесами-еталонами з використанням в якості інструменту накатника.

**Передача циліндрична** – передача між валами з паралельними осями.

**Передачі конічні** – зубчасті передачі між валами, вісі яких перетинаються або перехрещуються і розташовуються під прямим, тупим чи гострим кутом.

**Передачі черв'ячні** – передачі, які застосовуються для обертання валів, розташованих під прямим кутом.

**Передаточне відношення** – відношення кутової швидкості, частоти обертання (числа обертів за хвилину) і діаметрів одного з валів до

відповідних параметрів іншого вала, що обертається разом з першим валом.

**Припрацювання** – метод оброблення зубчастих коліс, який полягає у взаємному обкатуванні двох коліс, які згодом будуть працювати в парі.

**Протяжка** – багатолезовий інструмент, леза різальної ділянки якого розміщені одне за другим у напрямку головного руху різання, виступають одне над другим у напрямку, перпендикулярному до напрямку цього руху, який здійснюється без руху подачі.

**Рейкові передачі** – передачі, які застосовуються для перетворення обертового руху валу в поступальний (коливальний) рух певної деталі (вузла машини) або, навпаки, поступального руху в обертовий.

**Фреза дискова зуборізна (модульна)** – фреза, яка служить для попереднього і остаточного нарізування циліндричних прямозубих і косозубих коліс і шевронних коліс з канавкою між зубчастими вінцями на обід для виходу інструменту.

**Фреза фасонна** – фреза, що має фасонну різальну кромку й використовується для обробки криволінійного профілю, що повторює форму її різальної кромки.

**Фреза черв'ячна** – черв'як, що має профіль гвинтових ниток в осьовому січені у вигляді зубчастої рейки, і поздовжні канавки, які створюють різальні зуби рейки.

**Хонінгування** – метод обробки внутрішніх циліндричних поверхонь шляхом поєднання обертального і зворотно-поступального руху інструменту – хона із закріпленими на ньому розсувними абразивними брусками.

**Шевінгування** – процес чистового оброблення зубів незагартованого зубчастого колеса, що полягає в знятті дуже дрібних волосиноподібних стружок, завдяки чому значно виправляються ексцентриситет початкового кола, похибки кроку, профілю евольвенти і кроку підйому гвинтової лінії.