

Лекції 11-12
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 9 ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗУБЧАТИХ
КОЛІС
Тема 10 Зуборізний інструмент

1 Основні питання проектування зуборізних інструментів

Циліндричні зубчасті колеса широко застосовують в машинобудуванні і приладобудуванні. Нарізування зубів коліс може здійснюватися шляхом фасонного копіювання і методом обкатування або огинання.

При методі копіювання профіль западини між зубами колеса повністю відповідає профілю зубів інструмента. Нарізування всіх зубів колеса виконується способом поділу, в результаті чого даний метод не відрізняється точністю. Тому даний спосіб використовується рідко, головним чином в одиничному виробництві та ремонтних цілях.

При методі обкатування нарізування всіх зубів колеса виконується безперервно в результаті кочення без ковзання початкової окружності або початкової прямої рейки зуборізних інструментів по початковій окружності колеса. В результаті цього профіль зуба, що нарізується виходить як огинаюча до ряду послідовних положень різальних кромek інструменту.

Існує ще *метод бесцентроїдного огинання*, при якому центроїди відсутні, кочення початкових кіл одне за одним немає, а профіль зуба колеса є огинаючим до різних положень поверхні інструменту. За цим методом надрізаються гвинтові і шевронні зубчасті колеса дисковими і пальцевими фрезами.

2 Інструменти, що працюють з профілюванням по методу фасонного копіювання

Зуборізними інструментами, які працюють методом фасонного копіювання, є дискові і пальцеві зуборізні фрези, зубодовбальні головки і протяжки.

Профіль зубів інструментів визначається за профілем западини між зубами колеса, що нарізується. Евольвентний профіль западини або зубів колеса залежить від кута зачеплення, числа зубів, діаметра ділильної окружності.

Крім того, повинні бути відомі модуль, товщина зуба по ділильній окружності в нормальному перетині, висота головки і ніжки зуба колеса.

Складають розрахункову схему таким чином, щоб початок координат збігався з центром колеса, що нарізується.

2.1 Дискові модульні фрези

Дискові зуборізні фрези застосовують для нарізування прямозубих і косозубих циліндричних коліс 11-9 ступенів точності. У першому випадку вони

працюють методом фасонного копіювання, у другому випадку, при нарізанні косозубих коліс, вони працюють методом бесцентроїдного огинання. У всіх випадках процес послідовної обробки за один проход проводиться шляхом ділення заготовки на один окружний крок. Цей метод обробки зубів є малопродуктивним і низькою точності, що обумовлюється похибкою подільного механізму, похибками установки осі симетрії зуба фрези по осі симетрії западини між зубами колеса.

Дискові модульні фрези проектують і виготовляють наборами по 8 і 15 штук (залежно від кількості зубів, що нарізаються 1 – 13, а 8 – 135 і більше).

До конструктивних і геометричних параметрів фрези відноситься: діаметр фрези (D), діаметр посадкового отвору (d), параметри шпонкового паза ($b_{ш}$ і C_1), ширина фрези (B), кількість зубів (Z), висота зуба фрези (H), кут профілю фрези (α') відповідає куту профілю (зацеплення) колеса, яке надрізається, геометричні параметри різального клина (кути γ і α), кут стружкової канавки (θ), радіус дна канавки (r).

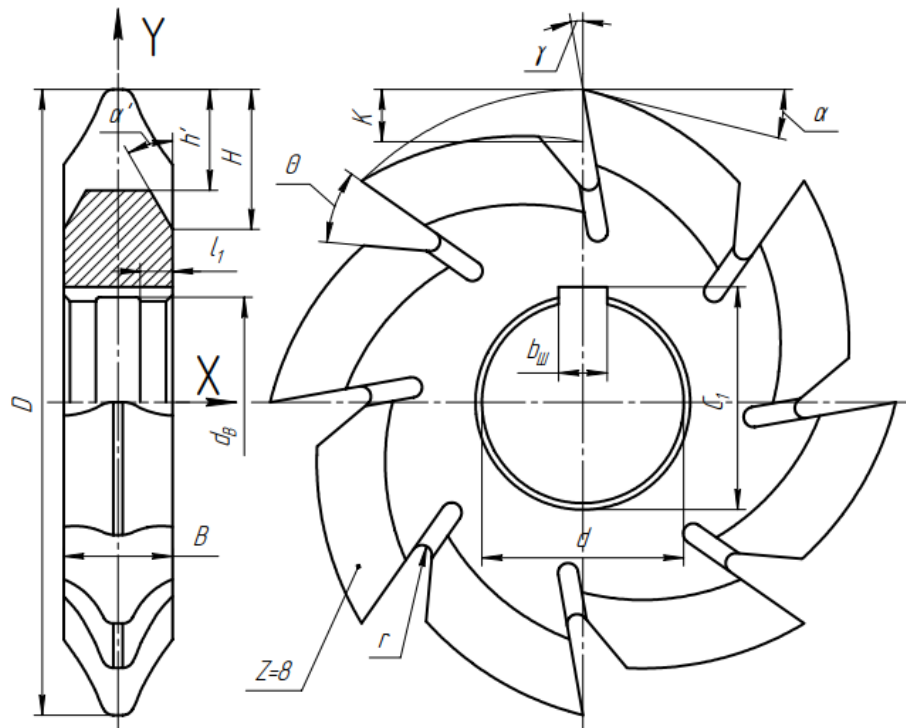


Рисунок 1 – Дискова модульна фреза

2.2 Пальцеві модульні фрези

Пальцеві модульні фрези застосовують для обробки крупномодульних прямозубих, косозубих і шевронних циліндричних зубчастих коліс. Так само як і дискові зуборізні фрези, при нарізанні прямозубих коліс вони працюють методом копіювання і ділення, а при нарізанні косозубих і шевронних коліс – методом бесцентроїдного огинання і ділення. В першому випадку профіль зубів фрези відповідає профілю западини зубчастого колеса, у другому випадку цієї відповідності немає. Профільюються вони так само, як і дискові зуборізні фрези.

Істотним недоліком цих фрез є низька продуктивність і точність. Низька продуктивність пояснюється малим числом зубів, консольним кріпленням, нераціональною геометрією. Низька точність – похибками подільного механізму і спотворенням профілю при переточуваннях.

Метод виготовлення коліс пальцевими модульними фрезами, так само як і дисковими, використовується в умовах одиничного і ремонтного виробництва.

До конструктивних і геометричних параметрів фрези відноситься: діаметр фрези (D), діаметр і довжина посадочного циліндра ($d_{\text{пц}}$, h), розмір під ключ (S), довжина фрези (L), довжина робочої частини (l) кількість зубів (Z), кут профілю фрези (α), геометричні параметри різального клина (кути γ і α), кути стружкової канавки (θ і θ_1), радіус дна канавки (r).

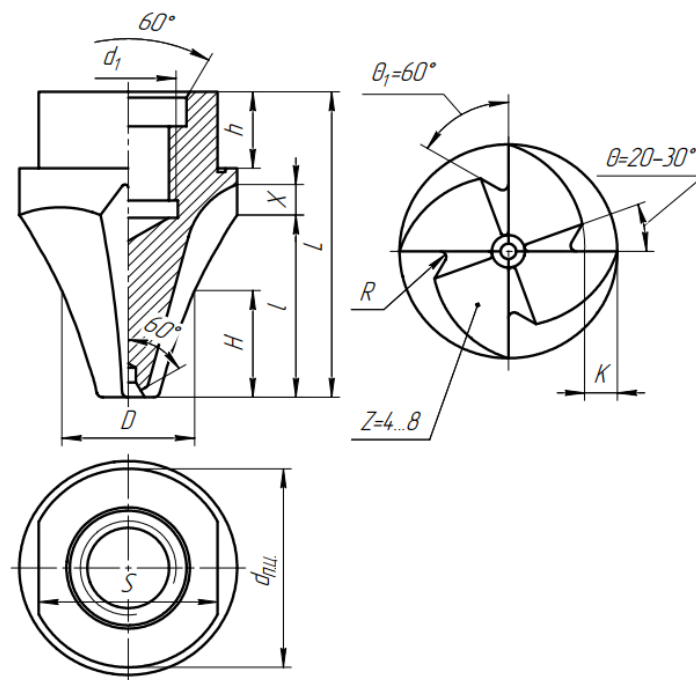


Рисунок 2 – Пальцева модульна фреза

Напрямок утворення задніх кутів, тобто напрямком затилювання впливає на ступінь зміни нормальних задніх кутів і діаметральні розміри ріжучої частини при переточуваннях фрези. При утворенні задніх кутів в радіальному напрямку при переточуваннях фрези виходять великі зміни товщини зубів колеса. Вони не можуть бути компенсовані переміщенням фрези уздовж її осі, так як при цьому виходять великі спотворення профілю зубів колеса.

Компенсація зміни діаметральних розмірів робочої частини фрези при її переточуваннях можлива у фрез з осьовим напрямком затилювання за рахунок збільшення висоти западини, але при цьому методі затилювання виходять малі значення нормальних задніх кутів на ділянках ріжучих кромek, що обробляють профіль зубів у колі западин.

Для отримання достатніх нормальних задніх кутів і мінімальних відхилень форми і розмірів зубів при переточуваннях фрези затилування проводять під кутом 10 ... 15°.

2.3 Зубодовбальні головки

Зубодовбальні головки застосовують для одночасного нарізування всіх зубів циліндричних і блокових шестерень на спеціальних верстатах в масовому виробництві. Працюють вони методом фасонного копіювання. Профіль різців головки відповідає профілю западини колеса, що нарізується. Тому така головка призначена тільки для нарізування колеса з певним числом зубів. В процесі роботи головка нерухома, а заготовка, здійснюючи зворотно-поступальне переміщення, здійснюючи тим самим рух різання.

Зубодовбальні головки застосовують в умовах масового виробництва.

3 Інструменти, що працюють з профілюванням за методом обкатування

Особливістю кінематики та роботи обкатних інструментів є наявність обкатаного руху різальних кромки інструменту щодо оброблюваних поверхонь заготовки. Цей рух створює безперервну зміну інструментальної поверхні, утвореної ріжучими кромками інструмента в процесі головного руху. Метод обкатування дозволяє нарізати зуби коліс безперервно при їх плавному обертанні навколо своїх осей.

Внаслідок цього підвищується продуктивність і точність обробки. Крім того, одним інструментом даного модуля можна нарізати колеса з будь-яким числом зубів.

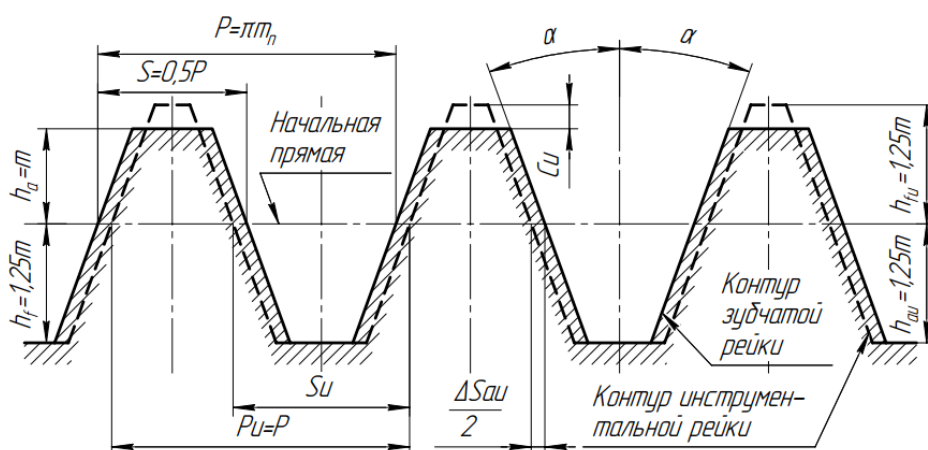
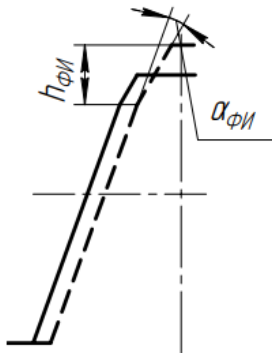


Рисунок 3 – Метод обкатування

Інструментальна рейка лежить в основі утворення вихідної і похідної поверхонь. Параметри контуру інструментальної рейки відрізняються від вихідного контуру рейки наступними елементами:

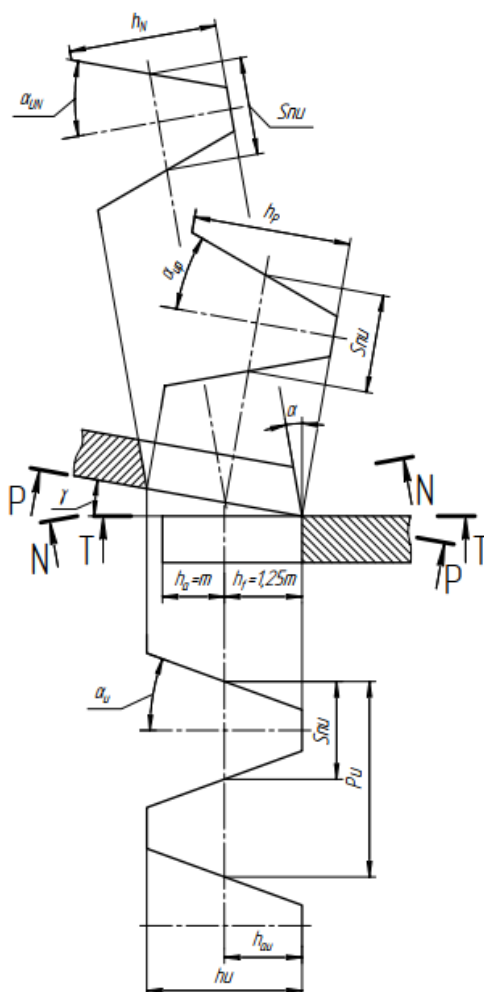
1 Висота ніжки інструментальної рейки h_{fu} більше висоти головки зубчастої рейки h_a на величину $C_n = (0,25 \div 0,3) \times m_n$. Це необхідно для того, щоб виключити з процесу різання западину інструментальної рейки, тобто зовнішній діаметр колеса інструментальної рейкою не обробляється при зубонарізуванні.

2 Товщина зуба інструментальної рейки S_n більше товщини зуба зубчастої рейки S на $\Delta S \approx 0,1 (m_n)^{-1}$. Збільшення товщини зуба інструментальної рейки, необхідно для стоншування зуба колеса, що нарізується, щоб утворити бічний зазор у сполучених колесах з фланкованими зубами. У нефланкованих колесах цей зазор можна отримати зміщенням інструменту до центру колеса.



3 Для коригування зубів коліс у зубчастої рейки роблять фланк, що представляє зріз головки на величину h_f під кутом α_f . На відміну від зубчастої рейки фланк інструментальної рейки являє собою потовщення ніжки зуба, що визначається висотою $h_{фн}$ і кутом $\alpha_{фн}$ фланка. Зазвичай висота фланка $h_{фн} = 0,5m_n$, а кут $\alpha_{фн} = 5^\circ$.

3.1 Зубостругальні гребінки



Гребінка - найпростіший по конструкції обкатний інструмент, виконаний у вигляді зубчастої рейки, і призначений для нарізування коліс зовнішнього зачеплення з прямими, гвинтовими і шевронними зубами на спеціальних зубостругальних верстатах. Для повного нарізування зубів колеса довжина гребінки повинна дорівнювати довжині початкової окружності оброблюваного колеса, проте гребінка вийде занадто довгою, а верстати більш складної конструкції. Тому гребінки роблять обмеженої довжини для нарізування від одного до трьох зубів колеса.

Розміри профілю гребінки в перетині Т-Т рівні розмірам профілю вихідної інструментальної рейки. В інших перетинах змінюється лише висота зуба гребінки, а осеві розміри залишаються постійними.

За технологічним призначенням зуборізні гребінки бувають чорнові, шліфувальні і чистові.

Чорнові гребінки застосовують для попередньої обробки, шліфувальні – для обробки зубів коліс під подальше шліфування, чистові – для остаточного нарізування зубчастих коліс 6 - 9-го ступеня точності.

Геометричні параметри стандартної гребінки: $\gamma = 6^\circ 30'$, $\alpha = 5^\circ 30'$. У чорнових гребінок передній кут приймається в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу.

3.2 Зуборізні довбачі

Залежно від характеру оброблюваних деталей довбачі діляться на три групи:

- 1) прямозубі - для нарізування прямозубих коліс;
- 2) косозубі - для нарізування коліс з гвинтовим зубом і шевронних коліс;
- 3) спеціальні - для нарізування зубчастих деталей неевольвентного зачеплення (зірочки, шліцьові вали тощо).

За конструкцією довбачі класифікуються на наступні групи:

- а) дискові - застосовуються для коліс внутрішнього і зовнішнього зачеплення при великих діаметрах;
- б) чашкові - для нарізування зубів в упор;
- в) хвостові - для коліс внутрішнього зачеплення малого діаметра, де неприпустимо застосування та виготовлення дискового довбача;
- г) втулкові - є видозміненим типом хвостового довбача;
- д) збірні.

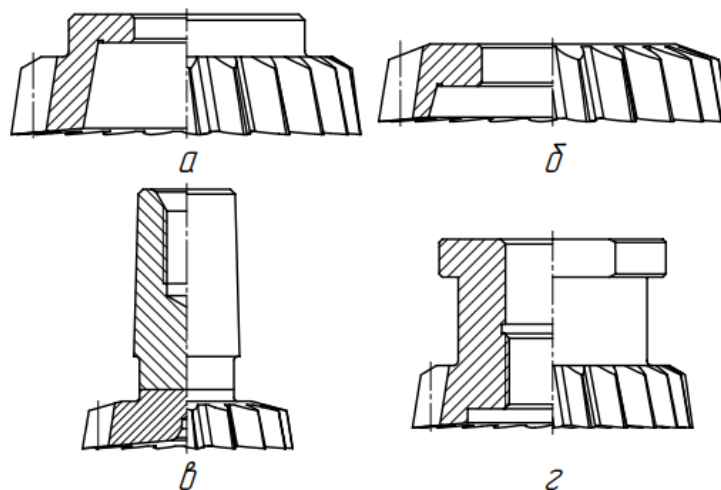


Рисунок 3 – Типи довбачів

Згідно ГОСТ 9323-79 довбачі виготовляють 5-ти типів і 3-х класів точності:

- 1 - дискові прямозубі (АА, А, В);
- 2 - дискові косозубі (А, В);
- 3 - чашкові прямозубі (АА, А, В);
- 4 - хвостові прямозубі (В);

5 - хвостові косозубі (В).

Класи точності застосовують:

АА - для нарізування коліс 6-го ступеня точності;

А - для нарізування коліс 7-го ступеня точності;

В - для нарізування коліс 8-й ступеня точності;

Конструктивні та геометричні параметри довбача. Довбач як інструмент виходить з циліндричного зубчастого колеса шляхом створення передніх і задніх кутів по всьому контуру різальних кромки. В результаті цього задані поверхні виходять схожими на конічне колесо з рівновисоким зубом. Однак на відміну від конічного колеса, у якого твірна початкового конуса розташована на конічній поверхні, у довбача твірна початкового (ділильного) циліндра лежить на циліндричній поверхні. Ділильний діаметр є постійним в будь-якому перетині, перпендикулярному до осі довбача.

Для створення задніх кутів на вершині зубів (α_B) і на його бічних сторонах (α_b), зуби довбача утворюються шляхом зміщення вихідної рейки і мають в кожному перетині перпендикулярному до осі довбача свою особливу величину зміщення контуру χ .

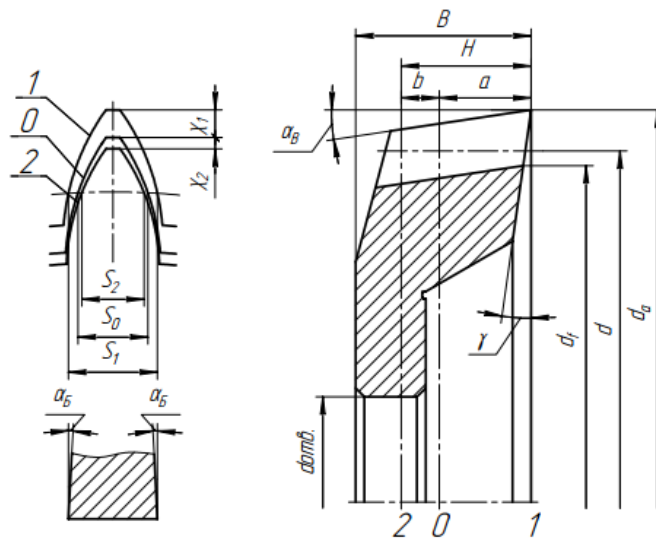


Рисунок 4 – Геометрія довбача

Розрізняють три основні перетини довбача, перпендикулярних до його осі.

Перетин 1 - 1, що проходить через вершинні ріжучі кромки нового довбача, називається початковим. У цьому перетині зсув вихідного контуру рейки буде позитивним і максимальним.

Перетин 0 - 0 називається вихідним. У ньому зміщення вихідного контуру дорівнює нулю. Це перетин називається також і розрахунковим, так як в ньому визначаються основні параметри довбача.

Перетин 2 - 2 називається кінцевим, відповідає остаточно сточеному довбачу. Перетин утворено негативним зміщенням вихідного контуру рейки.

У будь-якому перетині профіль зуба буде окреслено по евольвенті. Щоб уникнути спотворень профілю, евольвенти повинні бути утворені від одного і того ж основного циліндра.

Згідно ГОСТ 9324-79 довбачи роблять з номінальними ділильними діаметрами рівними 25, 38, 50, 75, 100, 125, 160, 200, 360. Фактичний ділильний діаметр відрізняється від номінального. Переважно приймати число зубів в межах від 30 до 60 якщо довбач не фланкований.

Кути різання. Передній кут на вершині зубів γ у чистових довбачів приймають рівним 5° , а у чорнових від 10 до 12° .

Задній кут на вершині зубів α_v у стандартних довбачів дорівнює 6° , у чистових довбачів збільшують до величини $8-9^\circ$, а для чорнових до 12° .

При визначенні параметрів косозубого довбача розрахунки залишаються тими ж, лише необхідно враховувати кут нахилу зубів β при розрахунку делительного діаметра.

3.3 Черв'ячні фрези

Черв'ячні фрези застосовують для обробки прямозубих, косозубих і шевронних циліндричних коліс, а також для нарізування зубів черв'ячних коліс з різними видами зачеплення.

Черв'ячна фреза як інструмент виходить з черв'яка шляхом прорізання канавок, що утворюють передню поверхню зубів і простір для розміщення стружки і затилування зубів для створення задніх кутів по всьому профілю.

При проектуванні черв'ячних фрез на базі евольвентного зачеплення використовують архимедів черв'як з прямолінійним трапецієподібним профілем в осьовому перерізі або конвалютний черв'як з прямолінійним профілем в нормальному перетині.

Черв'ячні фрези бувають: цільними і збірними (з припаяними ($6 < m < 15$ мм) або зі вставними гребінками при $m > 15$ мм).

Цілісні черв'ячні фрези виготовляють 5-ти класів точності (AA, A, B, C, D). Збірні фрези роблять 4-х класів точності (A, B, C, D). Фрези класу точності AA застосовують для нарізування зубчастих коліс 7-го ступеня точності, A - 8, B - 9, C і D - 10.

Конструктивні та геометричні параметри фрези. Діаметр посадочного отвору ($d_{\text{отв.}}$) повинен забезпечувати необхідну жорсткість оправки, на якій встановлюється фреза. Діаметр отвору приймається з нормального ряду: 19, 22, 27, 32, 50 і далі через 10.

Діаметр фрези (D) впливає на її конструкцію, точність одержуваних зубів коліс, похибка конструкції фрези і продуктивність процесу обробки.

Число зубів фрези (Z) має бути по можливості найбільшим. Зі збільшенням числа зубів, збільшується число різців, зменшується шорсткість поверхні, зменшується товщина шару, що зрізається. Число зубів насадних цільних фрез обмежується умовами затилування, а збірних - умовами кріплення зубів. Для черв'ячних фрез звичайної точності прийнято $Z = 12 \div 9$, для прецизійних $Z = 16 \div 12$, для збірних затилованих $Z = 10 \div 8$.

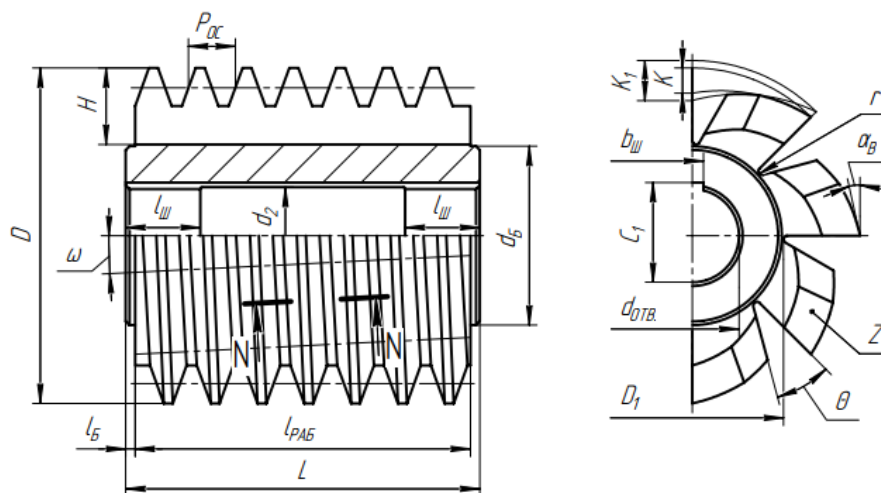


Рисунок 5 – Конструктивні параметри та геометрія черв'ячної фрези

Канавки, що утворюють передню поверхню зубів і простір для розміщення стружки, можуть бути гвинтовими, перпендикулярними виткам зубів фрези на дільному діаметрі в розрахунковому перерізі, і прямими, що проходять через вісь, якщо передній кут $\gamma = 0$, або паралельними осі, якщо $\gamma \neq 0$.

Стандартні фрези виготовляють з канавками першого типу. Передні кути для лівої і правої ріжучих кромки у таких фрез виходять однаковими.

Розміри профілю зубів фрези. Для фрез, профільованих на основі конволютного черв'яка, профіль лежить в нормальній перетині до витків, і його розміри визначаються в цьому перетині. Кут профілю таких фрез приймається рівним куту профілю, а вихідного контуру зубчастої рейки.

Для фрез, профільованих на основі архимедового черв'яка, профіль задається в осьовому перерізі фрези.

Внаслідок затилування бічних поверхонь кути профілю для лівого і правого боків у них будуть різними.

Стандартні черв'ячні фрези мають передній кут $\gamma = 0^\circ$ і задній кут по зовнішньому діаметру $\alpha_B = 10 - 12^\circ$. Черв'ячні фрези можуть проектуватися і виготовлятися і з позитивним переднім кутом $\gamma = 10 - 15^\circ$, проте в даному випадку необхідно провести корекційний розрахунок профілю фрези, що ускладнює їх розрахунок. У перетині, нормальній до бічних ріжучих кромки, задній і передній кути мають бути обраними, значно меншими, ніж для вершинної різальної кромки.

3.4 Шевери

Шевери - це складні зуборізні інструменти, що застосовуються для чистової, фінішної обробки прямозубих і косозубих циліндричних коліс, як зовнішнього, так і внутрішнього зачеплення. Вони підвищують точність і знижують шорсткість оброблюваної поверхні. Шевери бувають дискові (рис. 5, а), рейкові (рис. 5, б) для обробки циліндричних коліс та черв'ячні (рис. 5, в) для обробки черв'ячних коліс. Найбільшого поширення мають дискові шевери у вигляді шестерні з гвинтовими зубами.

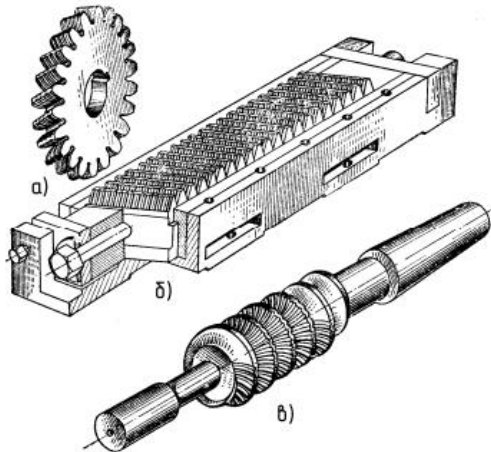


Рисунок 5 – Типи шеверів

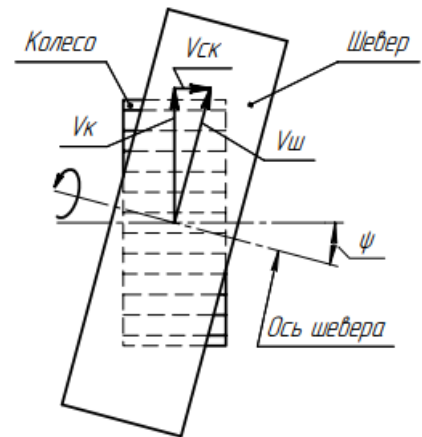
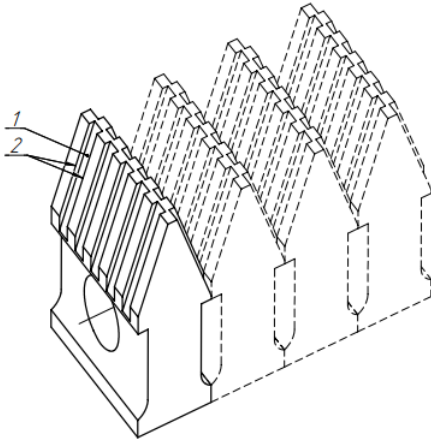


Рисунок 6 – Процес шевінгування

Шевери застосовуються для чистової обробки циліндричних коліс з модулем від 0,2 до 8,0 мм з прямими і гвинтовими зубами зовнішнього і внутрішнього зачеплення. Шевінгування підвищує точність коліс, як правило, приблизно на одну ступінь, при цьому виправляються профіль зубів, крок, напрямок зубів, биття зубчастого вінця, а шорсткість поверхні зубів знижується з $Ra - 3,2 \div 1,6$ мкм до $Ra = 0,80 \div 0,40$ мкм. Гірше виправляється накопичена похибка кроку.

Суть процесу шевінгування полягає в видаленні (соскабливанні) великих гребінців шорсткості у вигляді дрібної стружки з бічних сторін зуба (рис. 6). Шевінгування здійснюється при вільному безззорному зачепленні зубів шевера і заготовки. Примусове обертання передається шеверу, колесо, перебуваючи з ним в зачепленні, вільно обертається на оправці, встановленій в центрах. Для обробки колеса по всій довжині здійснюється подовжня подача колеса щодо шевера. Наприкінці подовжнього ходу передветься радіальна подача $S_{рад.}$ - зближення осей шевера і заготовки. Радіальна подача забезпечує врізання різальних кромek шевера в оброблювану поверхню зубів заготовки. Колова швидкість на початковій окружності шевера зі швидкорізальної сталі $V_0 = 100 \dots 120$ м/хв, швидкість подовжньої подачі $V_{спр.} = 0,15 \dots 0,10$ мм/об заготовки, швидкість радіальної подачі $V_{спад.} = 0,02 \dots 0,04$ мм/подв.хід. Зазвичай прямозубі колеса обробляються косозубими шеверами, а косозубі - прямозубими.

3.5 Шевер-рейка



Являє собою зуборізну рейку, пов'язану з оброблюваним колесом, що складається з окремих зубів, змонтованих в корпусі, на бічних поверхнях яких прорізані стружкові канавки 1 (шириною 0,8 ... 1,0 мм, глибиною 1 мм, з кроком 1,6 ... 2 мм) з ріжучими крайками 2.

Довжина шевер-рейки L , мм, вибирається з умови обробки всіх зубів колеса. Ширина шевер-рейки береться в 3 - 4 рази більше ширини колеса, що дозволяє за рахунок періодичних переміщень заготовки колеса поперек рейки збільшити термін служби шевер-рейки.

Шевер-рейки не набули широкого поширення через дорожнечу, складності виготовлення і монтажу.

3.6 Діскові шевери

Дісковий шевер є циліндричний колесо з прямими або похилими зубцями, на бічних поверхнях яких нарізані канавки і утворені ріжучі кромки (рис. 7).

У процесі остаточного утворення зубів колеса його зуби і зуби шевера повинні зачіпатися з однієї і тієї ж косозубою інструментальною рейкою. Тому у шевера і колеса в перерізі, нормальному до напрямку їх зубів, повинні бути рівні кроки, кути профілю і висотні розміри зубів.

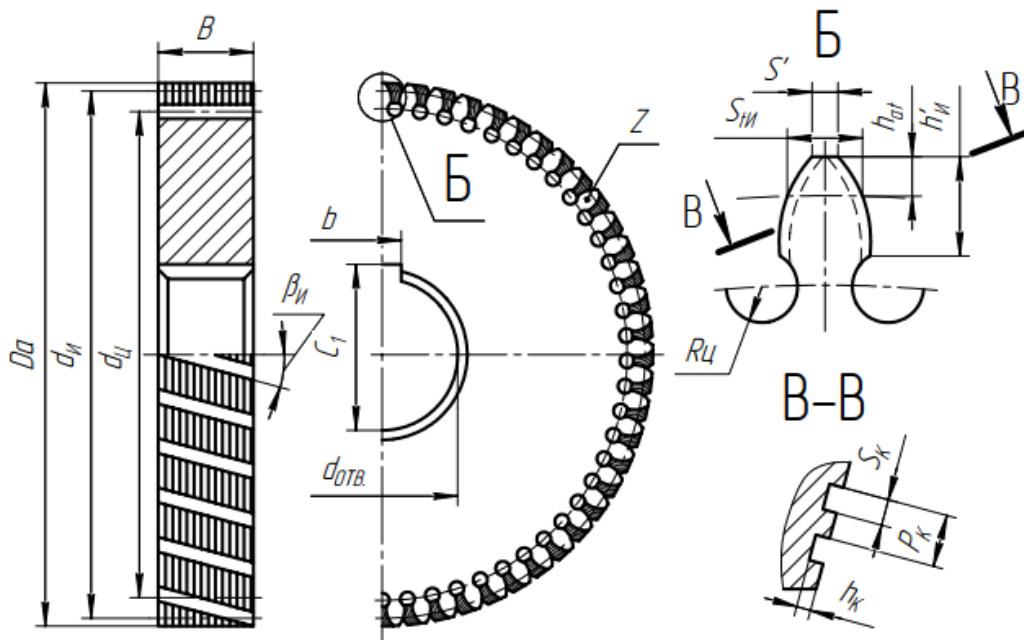


Рисунок 7 – Дісковий шевер

Діаметральні розміри шевера визначають в торцевому перетині, тому розміри повинні бути перераховані в торцеве розтин.

При шевінгуванні кожна западина зубів колеса обробляється одним зубом шевера. При кратному числі зубів шевера і колеса може повторюватися збіг їх зубів в процесі обробки. Для того щоб уникнути збігу контакту одних і тих же зубів при наступних оборотах колеса, число зубів шевера не повинно мати загальних множників з числом зубів оброблюваного колеса. Для дотримання цієї умови число зубів стандартних шеверів приймають з ряду первинних чисел: 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 61, 67, 73, 83 і тільки в одному випадку 27 (для $m = 8$ мм).

Висота головки зуба шевера повинна забезпечити повну обробку активної робочої частини профілю зуба колеса, тому її роблять трохи більше висоти головки зуба сполученого колеса, але головка зуба шевера не повинна обробляти дно западини зуба колеса.

Зазвичай для обробки коліс з $h'a = 1$ коефіцієнт висоти головки зуба шевера приймають рівним 1,1. Тупі шевери відновлюють шліфуванням задніх поверхонь зубів. Нові шевери проектуєть з урахуванням припуску на переточування по товщині зуба і відповідно по голівці зуба. По мірі переточувань зміщення зменшується. Коефіцієнт зміщення X_0 нового шевера визначається припуском ΔS на перешліфовці, тобто збільшенням товщини зуба в нормальному перетині на обидві сторони.