

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

С. В. ШВЕЦЬ

МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету



Суми
Сумський державний університет
2019

УДК 621.9.02(07)
Ш35

Рецензенти:

І. В. Луців – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя, заслужений працівник освіти України;

В. В. Ступницький – доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування Національного університету «Львівська політехніка»

*Рекомендовано до видання
вченою радою Сумського державного університету
як навчальний посібник
(протокол № 10 від 21 березня 2019 року)*

Швець С. В.

Ш35 Металорізальні інструменти : навчальний посібник /
С. В. Швець. – Суми : Сумський державний університет, 2019. –
272 с.

ISBN 978-966-657-780-4

У навчальному посібнику викладені основні узагальнювальні положення проектування металорізальних інструментів. Надані рекомендації щодо призначення геометрії лез та конструктивних параметрів різних інструментів. Запропоновані нові математичні моделі, що підвищують ступінь автоматизації інструментальної підготовки виробництва. Звернена увага читача на єдність процесів конструювання і виготовлення інструментів, що дозволяє продовжувати термін експлуатації інструменту та виготовляти якісну, економічно вигідну продукцію.

Посібник розрахований насамперед на студентів та може бути корисним й інженерам-механікам.

УДК 621.9.02(07)

© Швець С. В., 2019
ISBN 978-966-657-780-4 © Сумський державний університет, 2019

ЗМІСТ

	С.
Передмова.....	7
1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	9
1.1 Робоча частина інструменту.....	9
1.2 Приєднувальна частина.....	13
1.3 Забезпечення якості інструменту.....	17
1.4 Схеми різання і методи утворення поверхонь.....	19
<i>Контрольні питання</i>	21
2 РІЗЦІ.....	23
2.1 Проектування форми робочої частини.....	23
2.2 Схеми силового замикання і механізми, що їх створюють.....	23
2.3 Геометрія.....	26
2.4 Приєднувальна частина.....	33
2.5 Креслення.....	34
2.6 Фасонні різці.....	36
2.6.1 Задачі проектування.....	36
2.6.2 Вибір геометрії.....	39
2.6.3 Визначення зовнішнього діаметра круглого різця.....	39
2.6.4 Графічна побудова профілю.....	40
2.6.5 Аналітичний розрахунок профілю.....	47
2.6.6 Конструкторське доопрацювання інструменту.....	51
2.6.7 Креслення фасонного різця.....	57
2.6.8 Послідовність проектування фасонного різця.....	58
<i>Контрольні питання</i>	58
3 ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ.....	60
3.1 Свердла.....	60
3.1.1 Перове свердло.....	60
3.1.2 Спиральне свердло.....	61
3.1.3 Центрувальні свердла.....	67
3.1.4 Конічні свердла.....	68
3.1.5 Свердла для глибокого свердління.....	69
3.1.6 Свердла для кільцевого свердління.....	72
3.2 Зенкери.....	72
3.2.1 Призначення і типи.....	72
3.2.2 Конструктивні елементи зенкера.....	74
3.2.3 Допуск на діаметр зенкера.....	81
3.2.4 Приєднувальна частина.....	82

3.2.5	Послідовність проектування зенкера.....	83
3.2.6	Робоче креслення зенкера.....	84
3.3	Розвертки.....	85
3.3.1	Призначення і типи розверток.....	85
3.3.2	Конструктивні параметри циліндричних розверток.....	87
3.3.3	Допуск на діаметр розвертки.....	96
3.3.4	Послідовність проектування розвертки.....	97
3.3.5	Робоче креслення.....	97
	<i>Контрольні питання.....</i>	98
4	ФРЕЗИ.....	100
4.1	Типи фрез.....	100
4.2	Форми і кількість зубів.....	102
4.3	Циліндричні фрези.....	106
4.3.1	Конструктивні елементи.....	106
4.3.2	Геометрія зубів циліндричної фрези.....	112
4.3.3	Послідовність розрахунків циліндричної фрези.....	113
4.3.4	Робоче креслення.....	113
4.4	Конструювання «гнізд» для базування та закріплення багатограних непереточуваних пластин.....	114
4.4.1	Механізм реалізації схеми <i>S</i>	114
4.4.2	Послідовність проектування фрези БНП.....	116
	<i>Контрольні питання.....</i>	117
5	ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ НАРІЗУВАННЯ РІЗІ.....	119
5.1	Різці.....	119
5.2	Мітчики.....	121
5.2.1	Особливості конструкції.....	121
5.2.2	Різальна частина.....	122
5.2.3	Калібрувальна частина.....	125
5.2.4	Напрямок канавок.....	127
5.2.5	Кількість канавок.....	128
5.2.6	Профіль канавки.....	129
5.2.7	Геометрія.....	133
5.2.8	Приєднувальна частина.....	135
5.2.9	Розміри різі мітчиків.....	136
5.2.10	Допуски на параметри різі мітчиків.....	137
5.2.11	Машинні мітчики.....	145
5.2.12	Гайкорізи.....	146
5.2.13	Ручні мітчики.....	148
5.2.14	Алгоритм проектування мітчиків.....	149
5.2.15	Робоче креслення мітчика.....	151

5.3	Плашки.....	151
5.3.1	Типи плашок та їх конструкції.....	151
5.3.2	Товщина плашки.....	155
5.3.3	Кількість стружкових отворів.....	155
5.3.4	Різальна частина.....	156
5.3.5	Калібрувальна частина.....	157
5.3.6	Ширина пера.....	157
5.3.7	Розмір і розміщення стружкових отворів.....	158
5.3.8	Геометрія.....	159
5.3.9	Отвори для кріплення і регулювання плашки.....	159
5.4	Гребінки.....	160
5.5	Різенарізні головки.....	162
5.6	Дискові різенарізні фрези.....	163
5.7	Гребінчасті фрези.....	163
5.8	Головка для «вихрового» різьфрезерування.....	165
	<i>Контрольні запитання.....</i>	166
6	ЗУБООБРОБНИЙ ІНСТРУМЕНТ.....	167
6.1	Пальцеві зубонарізні фрези.....	167
6.2	Дискові зубонарізні фрези.....	168
6.3	Зубодовбальна головка.....	169
6.4	Довбачі.....	172
6.4.1	Особливості конструкції довбача.....	172
6.4.2	Геометрія зубів довбача.....	174
6.4.3	Визначення розмірів зуба колеса.....	177
6.4.4	Визначення величини вихідної відстані довбача a та параметрів довбача у вихідному перерізі.....	178
6.4.5	Визначення габаритних розмірів довбача.....	180
6.4.6	Розміри довбача на передній поверхні.....	182
6.4.7	Перевірка загострення вершини зубів довбача.....	183
6.4.8	Перевірка на інтерференцію профілів зубів (нарізаного спроекттованим довбачем і парного йому коліс).....	183
6.4.9	Перевірка на відсутність підрізування ніжки та зрізування головки зубів колеса довбачем.....	185
6.4.10	Робоче креслення.....	190
6.5	Зуборізна гребінка.....	192
6.6	Гребінчаста зуборізна фреза.....	193
6.7	Черв'ячні фрези.....	193
6.7.1	Фрези для зубчастих коліс.....	193
6.7.2	Фрези для шліцьових валів.....	199
6.7.3	Послідовність розрахунків.....	211

6.7.4	Робоче креслення.....	215
6.8	Нарізування коліс із коловими зубами.....	216
6.9	Нарізування конічних прямозубих коліс.....	219
6.10	Шевери.....	220
6.10.1	Призначення.....	220
6.10.2	Різальні кромки.....	221
6.10.3	Корекція профілю зуба шевера.....	222
	<i>Контрольні питання.....</i>	224
7	ПРОТЯЖКИ.....	226
7.1	Особливості конструкції та використання.....	226
7.2	Складові частини протяжок і прошивок.....	228
7.3	Сили різання при протягуванні і розрахунок протяжок на міцність.....	232
7.4	Схеми зрізування шарів металу.....	235
7.5	Методи утворення поверхонь протягуванням.....	242
7.6	Чорнові зуби.....	243
7.7	Різноманітність конструктивних рішень.....	253
7.8	Чистові та калібрувальні зуби.....	255
7.9	Приєднувальна частина та довжина протяжки.....	256
7.10	Послідовність проектування протяжки.....	258
7.11	Робоче креслення.....	261
	<i>Контрольні питання.....</i>	263
	Післямова.....	264
	Список літератури.....	270

ПЕРЕДМОВА

Прибуткова економічна діяльність неможлива без створення вискоєфективних конструкцій різального інструменту. Тому фахівці, які готуються працювати в металообробній галузі, повинні вміти проектувати різні інструменти. Більше того, комплексна автоматизація проектування і виробництва вимагає точних знань та досконалого володіння методами проектування.

Вираз «проектування різального інструменту» має подвійне значення. По-перше, це створення нової конструкції чи навіть нового виду інструменту, для забезпечення ефективного оброблення створеної конструктором деталі; по-друге, це може означати вибір необхідного інструменту з існуючого ряду для реалізації розробленої технології.

На виробництво інструмент постачають із двох джерел. Його можна придбати на спеціалізованих фірмах-виробниках, які займаються лише виготовленням різального інструменту. Це найкраще, тому що там набувається досвід, концентруються передові технології, постійно вдосконалюються конструкції. Різальний інструмент можна виготовляти й на тому підприємстві де планується його використання. Це в основному спеціальний інструмент в одиничному екземплярі.

Аналіз конструкцій машин засвідчує, що вони складаються з двигуна, передавального механізму і робочого органу. В металообробній машині двигун і передавальний механізм поєднані в конструкції, що має назву «верстат», а робочий орган – це інструмент. Отже, це важлива складова металообробної машини і без якісного інструменту не може існувати ніяке виробництво. Ще на початку двадцятого століття американський інженер Ф. Тейлор висловив думку, що дивіденди підприємства розміщуються на лезі різального інструменту.

Досить часто між різальним інструментом і верстатом розміщують пристрій, що дозволяє збільшити номенклатуру різального інструменту, продуктивність оброблення деталей,

параметри рухів. Такий пристрій називають допоміжним інструментом.

Завданнями цього навчального посібника є освоєння й поглиблення знань, одержаних студентами з курсу «Різальний інструмент», набуття практичних навичок розрахунків і конструювання інструментів. Під час створення інструментального забезпечення особливу увагу необхідно звертати на конструювання інструментів, оснащених багатограничними непереточуваними пластинками, а також на конструкції, що забезпечують підвищення рівня автоматизації оброблення деталей на верстатах.

Ефективність проектування різальних інструментів залежить від використання теорії формоутворення поверхонь, побудови оптимізаційних математичних моделей інструменту, застосування ЕОМ. Необхідно використовувати знання з вищої математики, теоретичної і прикладної механіки, опору матеріалів, різання металів, матеріалознавства та ін. Застосування елементів системи автоматизованого проектування потребує переведення рекомендацій і табличних моделей у математичні залежності.

Вихідними даними для проектування інструменту є параметри оброблюваної деталі, її матеріал і твердість, форма й розміри оброблюваних поверхонь, вимоги з точності та шорсткості, розміри поверхонь до оброблення, вид оброблення.

Оскільки для кожного конкретного випадку можливі різні вирішення поставлених завдань, то спроектований інструмент повинен оцінюватися за різноманітними критеріями: металоємність і продуктивність інструменту, кількість можливих переточувань, характеристики міцності, собівартість.

На всіх етапах проектування необхідно враховувати умови створення оптимальної конструкції, призначення оптимальних параметрів, створювати декілька варіантів та аналізувати їх для вибору найкращого. Креслення інструменту для загального машинобудування потрібно виконувати в масштабі 1:1, а дрібні елементи показувати в збільшеному вигляді.

1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Робоча частина інструменту

Інструмент не є додатком до верстата. Навпаки, в ряді випадків удосконалення інструменту, створення нових його видів вимагає нових конструкцій верстатів. Проте не можна думати, що інструмент може розвиватися сам по собі. Процес різання, інструмент, верстат, технологічний процес – це складові оброблення різанням, і лише при правильному сумісному їх проектуванні можливі досягнення в цьому напрямку.

Процес проектування інструменту необхідно розуміти так. По-перше, це створення зовсім нової конструкції, здатної забезпечити формоутворення деталі відповідно до її креслення та розробленого технологічного процесу. По-друге, це може бути вибір готової конструкції для забезпечення якогось технологічного процесу. У тому й іншому випадках необхідно визначити, яким чином інструмент закріплюється на верстаті або в допоміжному інструменті, як він буде забезпечувати якість деталі та наскільки він придатний до експлуатації. Тобто необхідно знати складові різального інструменту та їх призначення.

Будь-який різальний інструмент складається з робочої та приєднувальної частин [1, 18, 19, 20] (рис. 1.1).

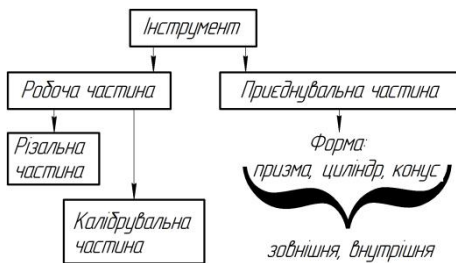


Рисунок 1.1 – Складові частини інструменту

Робоча частина металорізального інструменту складається з одного або декількох різальних зубів. Зуб інструмента (лезо) – це клиноподібне тіло, обмежене передньою і задньою поверхнями.

Поверхня, по якій сходить стружка, – передня поверхня, а

поверхня, повернута до обробленої частини заготовки, – задня. Лінія перетину передньої і задньої поверхонь – різальна кромка.

Форма та розміри зубів повинні забезпечувати виготовлення заданої поверхні деталі, працездатність і високу продуктивність інструменту. Положення поверхонь, що обмежують геометричне тіло зуба, визначається деякими кутами, які називаються геометрією інструменту (γ , α , β , φ , λ). Для визначення цих кутів (геометрії) використовують спеціальні системи координат: інструментальну, статичну і кінематичну. Ці системи створюються перетином трьох взаємно перпендикулярних площин: основної – P_v , різання – P_n і головної січної – P_τ (рис.1.2).

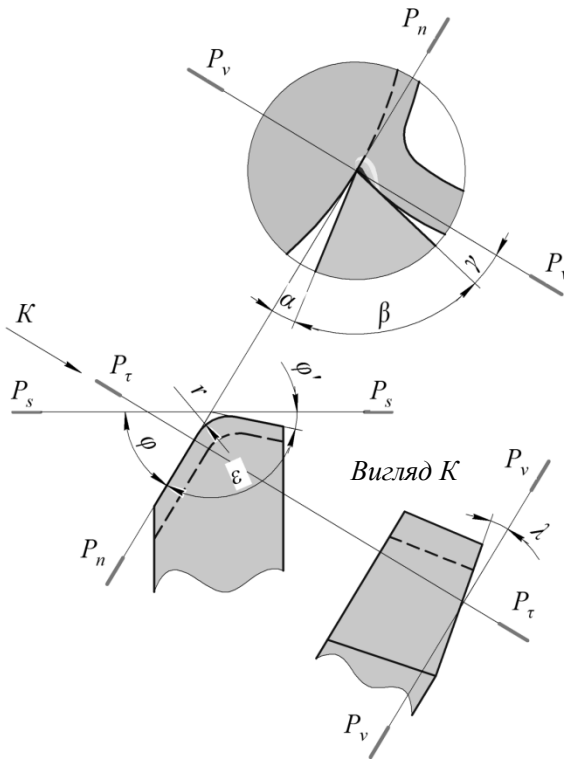


Рисунок 1.2 – Система координат

Параметри інструментальної системи координат позначаються індексом i (наприклад, передній кут – γ_i), статичної – індексом c (наприклад, задній кут – α_c), кінематичної – індексом k (наприклад, головна січна площина – $P_{\tau k}$).

Різальний інструмент виконує два завдання: взаємодіє із припуском, перетворюючи його на стружку, та контактує з обробленою поверхнею, формуючи параметри її якості. Тому робоча частина має різальну й калібрувальну частини.

Різальна частина призначена для зрізування основної маси матеріалу із заготовки.

Калібрувальна частина інструментів призначена для остаточного формування обробленої поверхні. У процесі експлуатації інструмент переточують. Тому під час проектування робочої частини форму передньої і задньої поверхонь та спосіб переточування необхідно вибрати такими, щоб забезпечити оброблення як новим, так і переточеним інструментом одних і тих самих деталей. Крім того, операція переточування повинна бути нескладною. Вирішення всіх цих проблем також «покладається» на калібрувальну частину – вона є резервом для переточувань. У деяких випадках вона спрямовує інструмент під час його роботи. Інколи створює рух подачі.

Калібрувальна частина не є необхідною частиною всіх інструментів. У циліндричних фрезах, фасонних різцях різальна й калібрувальна частини – одне ціле. У свердлах, зенкерах, мітчиках, плашках калібрувальна частина чітко відокремлена від різальної.

Під час конструювання різальних інструментів необхідно забезпечити безперешкодне відведення стружки із зони різання. У результаті нагромадження й затискання стружки збільшуються зусилля різання, погіршується шорсткість обробленої поверхні, ламається інструмент. Особливо це необхідно враховувати під час конструювання інструментів, де стружка відводиться відповідними каналами або розміщується в них і видаляється після закінчення різання. Об'єм канавок для стружки повинен у 3—6 разів перевищувати об'єм там

розміщеної стружки. В окремих випадках конструкція інструменту може передбачати примусове відведення стружки за допомогою струменя охолоджувальної рідини (під час свердління глибоких отворів). Необхідно, щоб інструмент мав доцільні розміри, геометрію, сприятливі умови розміщення й відведення стружки, високу міцність і жорсткість, раціональний розподіл роботи різання між окремими різальними зубами і т. ін.

Робочу частину інструментів виготовляють із спеціальних інструментальних матеріалів, які за своїми механічними й теплофізичними властивостями повинні переважати оброблювані матеріали. Це вуглецеві сталі, леговані інструментальні сталі, високолеговані сталі, тверді сплави, мінералокераміка, алмази, надтверді синтетичні матеріали, абразивні матеріали.

Для економії дорогого інструментального матеріалу в промисловості поширені різні складені інструменти. У таких інструментах лека виготовлені з інструментального матеріалу, а корпус – із конструкційної сталі (сталь 45, 40X).

Складені інструменти можуть бути з нерознімним з'єднанням різальних елементів із корпусом, створеним зварюванням, припаюванням або наплавленням. Такі способи кріплення застосовують для малогабаритних інструментів. Недоліки – поява додаткових напружень, що можуть спричинити утворення тріщин у пластинах твердого сплаву, складність напаявання і відновлення після ламання одного з зубів.

Щоб уникнути впливу високих температур на інструментальний матеріал, використовують спеціальний клей, сили різання. Значного поширення набули інструменти, в яких зуби або інструментальний матеріал закріплюються механічними методами. Застосовують рифлення, кріплення штифтом, клином, гвинтами.

Останнім часом використовують спеціальні механізми та створені для них різноманітні пластини з інструментального матеріалу. Такі пластини мають спеціальне позначення. Його

записують у рядок, воно має 8 позицій. Наприклад: **SCMA 090304***. Перша літера [17] – це форма пластини (S – квадрат, T – трикутник). Друга – позначає

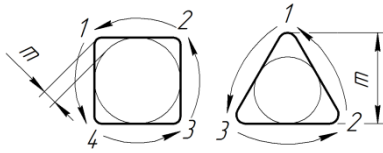


Рисунок 1.3 – Відстань вершини від бази

задній кут в інструментальній системі координат (С – $\alpha = 7^\circ$, N – $\alpha = 0^\circ$). Третя свідчить про точність виготовлення. Точність пластини – це допуск на відстань її вершини від бази, тобто на параметр m (рис. 1.3). Отже, цей показник якості пластини об'єднує точність розмірів, точність форми і положення поверхонь з умовами базування під час експлуатації, оскільки важливо лише те, які координати будуть мати вершини (2, 3 і т. ін.), коли вони потрапляють у положення попередньої після відновлення інструменту. Четверта позиція означає особливості конструкції пластини. Вона може мати канавки різної форми для розділення стружки, отвір і т. ін. (А – без канавок і з отвором). П'ята позиція – довжина різальної кромки, шоста – товщина пластини, сьома – радіус біля вершини. Усі ці позиції позначають двома цифрами, які округлено відбивають дійсний розмір відповідного параметра. Восьма – містить додаткові дані. Це може бути напрям можливої подачі, відомості про захисне покриття, інші позначки виробника. Багатогранні непереточувані пластини (БНП) використовують для оснащення різноманітного інструменту.

1.2 Приєднувальна частина

Приєднувальна частина є необхідною складовою будь-якого інструменту. Вона необхідна для закріплення інструменту на верстаті або в допоміжному інструменті. Конструкції приєднувальних частин інструменту можуть бути різними. Але оскільки різноманітність їх дуже ускладнила б виробництво і експлуатацію верстатів, то до верстатів приєднуються призма, циліндр, конус (див. рис. 1.1).

Приєднувальна частина може контактувати з відповідною поверхнею верстата. Але здебільшого між інструментом і верстатом встановлюють пристрій, що дозволяє розширити номенклатуру інструментів, які можуть використовуватися як робочий орган цього верстата, змінює рухи інструменту, підвищує продуктивність. Це можуть бути втулки, оправки, патрони, головки. Такі конструкції між різальним інструментом і верстатом називають *допоміжним інструментом*. Приєднувальні поверхні, що контактують із допоміжним інструментом, можуть мати й іншу, спеціальну, форму: ластівчин хвіст, циліндр із лискою та ін.

Ці поверхні можуть бути зовнішніми і внутрішніми. Якщо приєднувальна поверхня зовнішня, то інструмент із хвостовиком, а якщо внутрішня, то тоді він насадний.

Різці мають призматичну приєднувальну частину. Часто приєднувальна частина має вигляд конічного або циліндричного хвостовика (свердла, зенкери). Іноді фрези, шевери, довбачі забезпечуються базовими циліндричними або конічними отворами і насаджуються на оправки.

Приєднувальна частина здебільшого є базою не лише на металорізальному верстаті, а й під час виготовлення, контролю і переточування інструменту. Вона повинна бути простою у виготовленні, забезпечувати надійне, жорстке й точне кріплення інструменту, зручність і швидкість його встановлення та знімання.

При використанні циліндричної приєднувальної частини центрування інструменту відбувається на циліндричній поверхні з точністю, що допускає з'єднання з зазором. Крутний момент здебільшого передається за допомогою торцевих або осьових шпонок. Діаметр хвостовика (чи отвору) можна визначити за допомогою формули

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi[\sigma]}}, \quad (1.1)$$

де M – зведений момент;

[σ] – допустиме напруження.

Зведений момент при складному навантаженні (вигинання та скручування) за третьою теорією міцності дорівнює

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2 + M_{кр}^2},$$

де M_z, M_y – вигинальні моменти відносно головних центральних осей нормального перерізу приєднувальної поверхні;

$M_{кр}$ – крутний момент відносно геометричної осі приєднувальної поверхні.

Визначений аналітично діаметр коригується відповідно до вибраного ряду діаметрів (табл. 1.1).

При використанні конічної приєднувальної поверхні (рис. 1.4) створюється з'єднання без зазору, а тому точність

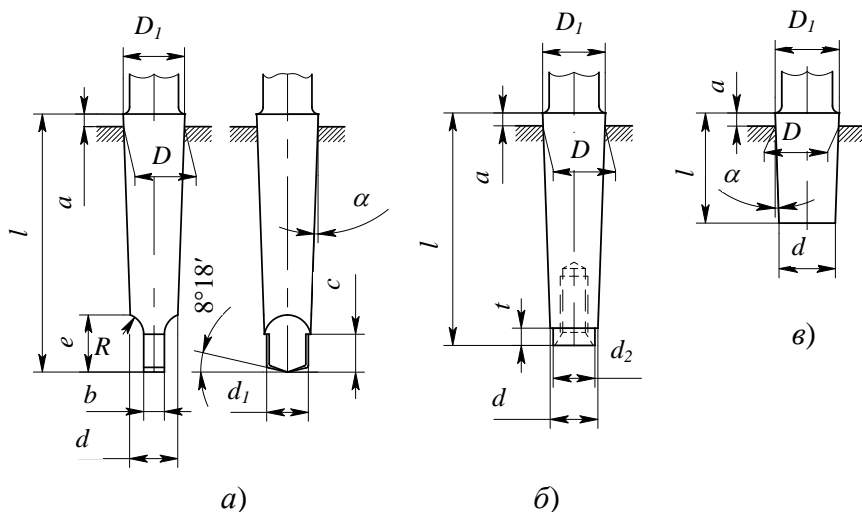


Рисунок 1.4 – Хвостовики з конусом Морзе

центрування залежить лише від точності виготовлення кінцевих поверхонь. На підприємствах поширені конуси Морзе.

Завдяки їх оптимальній конусності ($\approx 1:20$) вони приєднуються і передають крутний момент через тертя, а після роботи легко видаляються. Розміри хвостовиків із конусом

Морзе наведені в таблицях 1.2, 1.3, 1.4. Необхідний номер конуса Морзе можна визначити за формулою

$$M_{кр} = \mu \frac{P_o}{\sin \alpha} \cdot \frac{D+d}{4} (1 - 0,04 \cdot \Delta\alpha), \quad (1.2)$$

де $\mu \approx 0,1$ – коефіцієнт тертя;

P_o – осьова сила під час різання;

D, d, α – параметри конуса (див. рис. 1.4);

$\Delta\alpha = 0 - 10'$ – похибка кута конуса.

Із цієї формули, якщо відомоме силове навантаження, можна визначити суму $D + d$, а за її значенням із відповідної таблиці вибрати номер конуса.

Таблиця 1.1 – Ряди діаметрів присднувальної поверхні

Ряд 1	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16			
Ряд 2						7	9	11	14				
Ряд 1		20		25		32		40		60			
Ряд 2	18		22		28		36		45		55		70

Але здебільшого розрахунки за формулами (1.1) та (1.2) не виконують.

Таблиця 1.2 – Зовнішній конус Морзе з лапкою (рис. 1.4 а)

Номер	0	1	2	3	4	5	6
D	9,045	12,065	17,780	23,825	31,267	44,399	63,348
D_l	9,212	12,240	17,980	24,051	31,542	44,731	63,760
a	3,2	3,5	4,0	4,5	5,3	6,3	7,9
d	6,115	8,972	14,059	19,131	25,154	36,547	52,419
d_l	5,9	8,7	13,6	18,6	24,6	35,7	51,3
l	59,5	65,5	78,5	98,0	123,0	155,5	217,5
b	3,9	5,2	6,3	7,9	11,9	15,9	19,0
e	10,5	13,5	15,5	20,0	24,0	30,5	45,5
c	6,5	8,5	10,5	13,0	15,0	19,5	28,5
R	4	5	6	7	9	11	17
α	1°29'27	1°25'43	1°25'50	1°26'16	1°29'15	1°00'26	1°29'36

Розміри приєднувальних поверхонь призначають відповідно до розмірів поверхонь верстата чи допоміжного інструменту або порівнюючи їх із перевіреними на практиці конструкціями. Для

полегшення використання аналогій креслення інструменту необхідно виконувати в масштабі 1:1.

Таблиця 1.3 – Зовнішній конус Морзе без лапки (рис. 1.4 б)

Номер	0	1	2	3	4	5	6
D	9,045	12,065	17,780	23,825	31,267	44,399	63,348
D_1	9,212	12,240	17,980	24,051	31,542	44,731	63,760
a	3,2	3,5	4,0	4,5	5,3	6,3	7,9
d	6,453	9,396	14,583	19,784	25,933	37,573	53,905
d_2	5,5	9	14	19	25	35	50
l	53	57	68	85	108	136	189
t	2,5	3	4	4	5	6	7
α	1°29'27	1°25'43	1°25'50	1°26'16	1°29'15	1°00'26	1°29'36

Таблиця 1.4 – Зовнішній короткий конус Морзе (рис. 1.4 в)

Номер	1a	1b	2a	2b	3a
D	10,095	12,065	15,733	17,781	21,793
D_1	10,269	12,239	15,933	17,981	22,019
d	9,371	11,142	14,534	16,183	19,760
a	3,5	3,5	4	4	4,5
l	18	22	28	36	45
α	1°25'43			1°25'50	

1.3 Забезпечення якості інструменту

Витрати на інструменти, що припадають на одиницю продукції, досить значні. І чим якісніший інструмент, тим вони більші. Водночас неякісний інструмент підвищує простої верстата, збільшує брак деталей і зменшує ресурс працездатності готових виробів. Ці економічні втрати в багато разів перевищують прямі витрати на інструмент. Тому в країнах із розвиненим машинобудуванням найбільш розвиненою є інструментальна промисловість.

Під час проектування інструменту важливо правильно призначити допуски на його геометрію. Якщо точність виготовлення геометричних параметрів істотно не впливає на точність оброблення, то відхилення кутів робочої частини

інструменту призначають $\pm 1^\circ$ — 2° . Для малих кутів (до 3°) відхилення дорівнює $\pm 30'$. Якщо точність виготовлення інструменту впливає на точність деталі й на тривалість експлуатації інструменту, то допуск ще менший. Наприклад, відхилення на кути α і γ зуборізних гребінок становить $\pm 10'$.

Допуски на розміри калібрувальної частини Td_i залежать від допусків на розміри оброблюваної поверхні деталі Td . Їх визначають як

$$Td_i = (0,25 - 0,33)Td. \quad (1.3)$$

Наприклад, необхідно визначити допуск на інструмент, що обробляє отвір $\phi 20^{+0,06}$ (рис. 1.5). Відповідно до виразу (1.3) допуск на інструмент може бути в межах 20—15 мкм. Призначимо $Td = 18$ мкм. Збільшення отвору за рахунок неточного центрування інструменту та впливу пластичної деформації враховують зменшення найбільшого розміру інструменту на величину $\delta = 0,33Td$. Отже, верхнє відхилення розміру інструменту $es_i = 40$ мкм, а нижнє $-ei_i = 22$ мкм.

Але є випадки, коли $\delta = 0$. Наприклад, найбільший розмір калібрувальних зубів протяжки дорівнює найбільшому розміру деталі. При визначенні значення δ необхідно проаналізувати умови процесу різання.

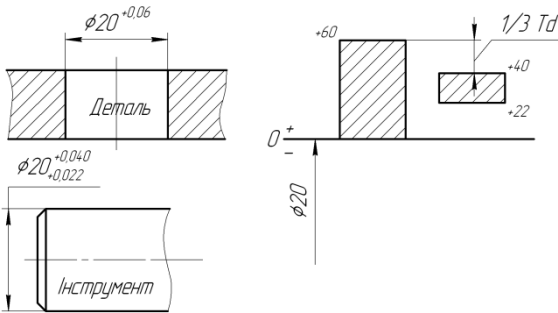


Рисунок 1.5 – Зв'язок допуску на інструмент із допуском на розмір деталі

На роботу інструменту впливають не лише величини геометричних параметрів і форма поверхонь зубів робочої частини, але й

якість цих поверхонь. Чим нижча шорсткість робочої поверхні зуба інструменту, тим вищі його стійкість і якість обробленої інструментом поверхні. Для твердосплавних інструментів

поблизу різальної кромки рекомендується Ra брати таким, що дорівнює $0,16—0,08$ (забезпечуючи доведенням).

У шліфованих інструментів (твердосплавних і сталевих) $Ra = 1,25—0,32$. На різальних кромках не можна припускатися завалів. Інструмент не повинен мати тріщин, задирок, слідів корозії, припалених поверхневих шарів або райдужних кольорів.

Різальна кромка лека не є геометричною лінією, це деяка поверхня, яку наближено можна вважати циліндричною поверхнею з радіусом ρ . Величина цього радіуса визначається властивостями інструментального матеріалу, технологічними можливостями при виготовленні інструменту. Наприклад, у лезах із швидкорізальної сталі зазвичай $\rho = 12—15$ мкм, у твердосплавних – $\rho = 18—26$ мкм. Після операції доведення можна досягти значень $\rho = 5—7$ мкм [21].

Значення ρ визначає гостроту лека. Від гостроти лека залежить мінімальна товщина шару оброблюваного матеріалу, що може зрізати лезо.

1.4 Схеми різання і методи утворення поверхонь

Схема зрізування припуску (схема різання) показує послідовність його розподілення на шари при перетворенні на стружку.

Заготовка перетворюється на деталь після видалення з неї припуску. Здебільшого різальний інструмент не здатний відразу видалити весь припуск. Він зрізається частинами у вигляді стружки. Послідовність перетворення припуску на стружку залежить від схеми зрізування, або, іншими словами, це і є *схема різання*.

Таких схем може бути дві (рис. 1.6) [7]. За першою схемою припуск спочатку розподіляється на певну кількість шарів z_1 поверхнями, форма яких наближена до форми поверхні деталі, а потім кожний із шарів подрібнюється на k_2 стружок.

Друга схема різання передбачає розділення припуску на k_1 шарів поверхнями, нормальними до поверхні деталі, з подальшим подрібненням кожного такого шару на z_2 стружок.

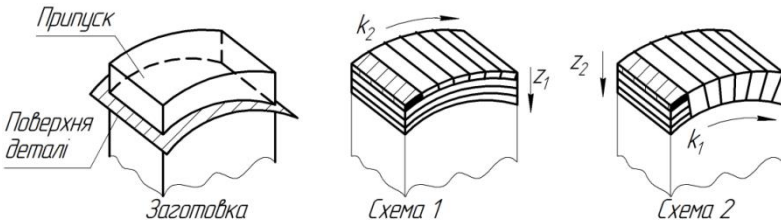


Рисунок 1.6 – Схеми зрізування припуску

Поверхня деталі утворюється лезовим інструментом при її контакті з різальною кромкою або ділянкою різальної кромки. Тому розрізняють лінійний і точковий контакти при формоутворенні, а відповідно, й методи утворення поверхонь різанням [7, 15]. Отже, *метод утворення поверхні деталі* свідчить про умови її контакту з різальним інструментом – лінійний чи точковий.

Точіння круглим фасонним різцем відтворює взаємодію двох матеріальних поверхонь – I та D (рис. 1.7) [22]. Лінія їх контакту E – це різальна кромка. Обертювий рух D_I різальної кромки навколо осі інструменту по напрямній H створює інструментальну поверхню I , і ця поверхня, поверхня обертання, є обвідною послідовних положень поверхні деталі D під час здійснення нею головного руху різання D_r .

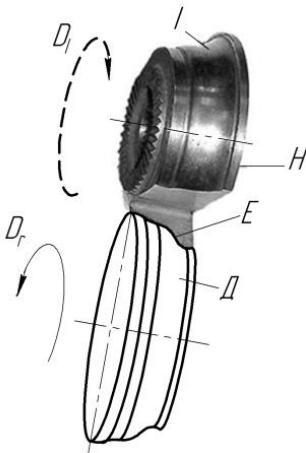


Рисунок 1.7 – Лінійний контакт

Якщо за напрямну взяти не коло, а пряму лінію, то отримаємо призматичний різець. Але і в першому, і в другому випадках поверхня деталі утворюється лінією.

Якщо вихідна інструментальна поверхня – це множина точок

контакту поверхонь I та D у системі координат, пов'язаній з інструментом [15], то під час точіння, щоб утворити циліндричну поверхню деталі, вершина різця (точка) повинна завдяки відповідним рухам створити умовну циліндричну поверхню, яка, насуваючись на заготовку, відділяє припуск від поверхні деталі

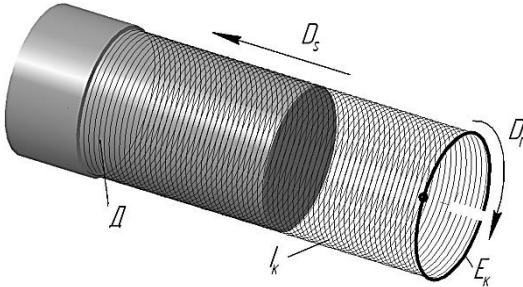


Рисунок 1.8 – Точковий контакт

деталі (рис. 1.8). За цією схемою D – циліндр і I_k – циліндр. Проте вихідна інструментальна поверхня I_k створена кінематично. Твірною цього циліндра є кінематична лінія E_k , що утворюється головним рухом різання D_r

вершини різця по колу. Напрямною є рух подачі D_s . Визначення подачі як поширення процесу різання на всю поверхню збігається з насуванням циліндра I_k .

Контрольні питання

- 1 У чому полягає суть проектування різального інструменту?
- 2 Які основні складові різального інструмента?
- 3 Геометрія інструмента.
- 4 Призначення різальної частини.
- 5 Призначення калібрувальної частини.
- 6 Який оптимальний об'єм стружкових канавок?
- 7 Перелік інструментальних матеріалів.
- 8 Способи приєднання інструментального матеріалу до корпусу інструмента, їх переваги і недоліки.
- 9 Позначення багатограних непереточуваних пластин.
- 10 Як визначається точність багатогранної непереточної пластини?
- 11 Призначення приєднувальної частини.
- 12 Форми поверхні приєднувальної частини.
- 13 Конус Морзе.
- 14 Допустимі відхилення кутів робочої частини.
- 15 Допуск на лінійний розмір калібрувальної частини.

- 16 Шорсткість робочих поверхонь лез.
- 17 Гострота леза.
- 18 Що таке схема різання?
- 19 Що таке метод утворення поверхні?

2 РІЗЦІ

2.1 Проектування форми робочої частини

Одним із найпростіших і найпоширеніших металорізальних інструментів є різець. Різці застосовують на токарних, револьверних, стругальних та інших верстатах. Бувають прохідні різці, підрізні, розточувальні, відрізні, стругальні. Всі ці типи різців можуть мати пластинку інструментального матеріалу, механічно закріплену на корпусі. Це дуже перспективний інструмент. Робочу частину різця проектують залежно від форми поверхні деталі, токарної операції та напрямку подачі [20]. Форми робочої частини, рекомендовані до використання стандартами, мають спеціальне позначення (рис. 2.1). Основна відмінність між ними – це значення кутів у плані.

Напрямок можливої подачі також впливає на форму робочої частини через те, що залежно від нього головна різальна кромка може бути праворуч або ліворуч. А можливо повинно бути й дві кромки, які були б придатні за потреби відігравати роль головної. Здатність різця різати при правій подачі позначається літерою **R**, при лівій – **L**, в обидва боки – **N**.

2.2 Схеми силового замикання і механізми, що їх створюють

Після того як встановлена форма робочої частини, необхідно вибрати пластину з інструментального матеріалу. Її різальні кромки повинні розміщуватися відповідно до необхідних значень кутів φ та φ' . Довжина різальних кромок повинна бути достатньою для реалізації параметрів режиму різання t та s . Вибирають пластину з необхідним радіусом при вершині та з такими стружкалами на передній поверхні, які відповідають умовам процесу різання. Одночасно необхідно вирішити, який механізм буде використовуватися при закріпленні пластинки. Це

впливає як на конструкцію пластини (з отвором чи без отвору, а якщо з отвором, то яка його форма), так і на конструктивні параметри порожнин у робочій частині, де цей механізм повинен розміщуватися.

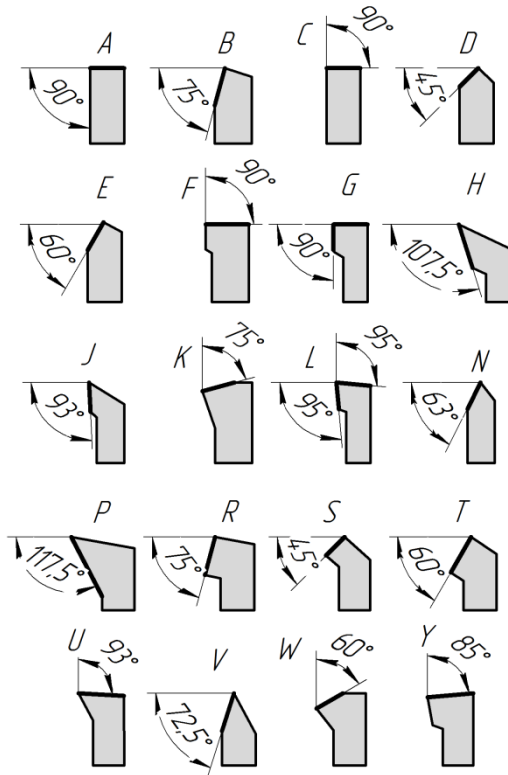


Рисунок 2.1 – Позначення форм робочої частини складених різців

При закріпленні пластинки залежно від її конструкції та умов використання інструменту сили, що притискають її до базових поверхонь, можуть спрямовуватися по-різному. Як впливає з поняття точності багатограних непереточуваних пластин, базовими поверхнями в них є лише зовнішні поверхні. Різноманітні отвори взагалі не пов'язані з їх точністю. Тому всі механізми для закріплення пластин повинні враховувати цю

обставину – базами можуть бути лише зовнішні поверхні пластин. Схеми, що відображають напрям дії сил кріплення, є схемами силового замикання (рис. 2.2). Кожна з таких схем позначається відповідною літерою.

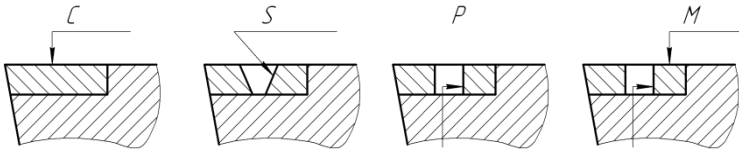


Рисунок 2.2 – Схеми силового замикання

На практиці такі схеми реалізуються за допомогою спеціальних механізмів. Щоб створити силу за схемою *C*, використовують прихоплювач (рис. 2.3). Силове замикання за

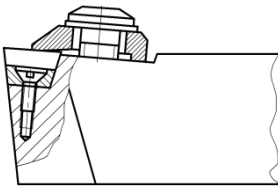


Рисунок 2.3 – Механізм для схеми силового замикання *C*

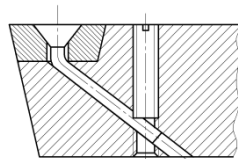


Рисунок 2.4 – Механізм для схеми силового замикання *S*

схемою *S* створює механізм, де основною ланкою є зігнута тяга з головкою (рис. 2.4). Проте одна й та сама схема може

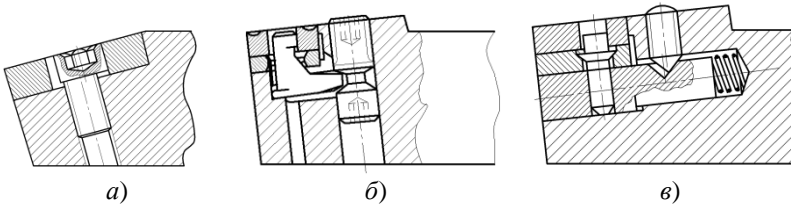


Рисунок 2.5 – Механізми для схеми силового замикання *P*

створюватися за допомогою різних механізмів. Схемі *P* відповідає ексцентрик (рис. 2.5 *a*), зігнута тяга або «чобіток» (рис. 2.5 *б*) і тяга зі штифтом (рис. 2.5 *в*).

Дві сили одночасно створюються при загвинчуванні гвинта в механізмах, показаних на рисунку 2.6, що відповідає схемі М.

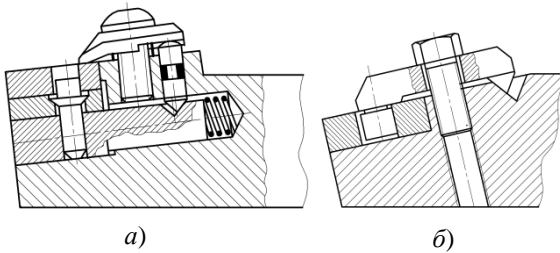


Рисунок 2.6 – Механізми для схеми силового замикання М

2.3 Геометрія

Значення задніх кутів окремих пластин в інструментальній системі координат мають декілька дискретних значень, які позначають літерами (табл. 2.1). Проте статичні кути різця можуть бути зовсім іншими – такими, які створюють оптимальні умови його експлуатації. Це досягається завдяки відповідному поверненню в просторі тих базових поверхонь на корпусі різця, з якими контактує при закріпленні пластина. Сукупність цих базових поверхонь називають «гніздом».

Таблиця 2.1 – Позначення задніх кутів пластин

Позначення літерою	В	С	Е	Н	Р	О
Числове значення	5°	7°	20°	0°	11°	Спеціальна конструкція (СК)

Особливістю використання багатограних непереточуваних пластин (БНП) для оснащення різців є те, що геометричні параметри пластин жорстко пов'язані. Оптимізація одного з геометричних параметрів БНП в статичній системі координат (ССК) при неправильному виборі їх значень в інструментальній

системі координат (ІСК) може призвести до появи недопустимих значень інших.

Кожна пластина має свою форму та геометрію в інструментальній системі координат [2]. Для оснащення різця БНП необхідно вибрати з каталога фірми-виробника таку пластину, геометрія якої максимально наближена до геометрії лека в статичній системі координат. Тому першим кроком при під час конструювання складеного інструмента є розміщення ІСК відносно його корпусу та орієнтація в ній вибраної БНП (рис. 2.7).

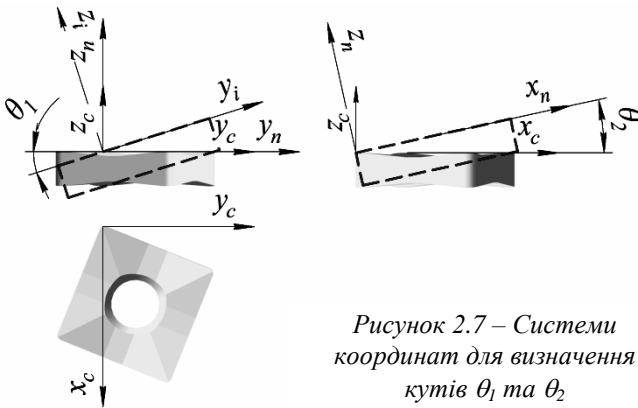


Рисунок 2.7 – Системи координат для визначення кутів θ_1 та θ_2

Після цього необхідно повернути БНП у фронтальній та профільній площинах на кути θ_1 і θ_2 для створення необхідних кутів у статичній системі координат.

Під час аналітичного дослідження геометрії використовують три системи координат: $x_c y_c z_c$ – статичну (нерухому, або глобальну систему координат); $x_i y_i z_i$ – інструментальну систему координат (ІСК); $x_n y_n z_n$ – перехідну рухому систему координат. У системі $x_i y_i z_i$ задають вихідні параметри БНП, а перехід із цієї системи через $x_n y_n z_n$ у систему $x_c y_c z_c$ дозволяє визначити положення БНП після повороту на кути θ_1 та θ_2 , якщо забезпечується необхідна геометрія інструменту в статичній системі координат (ССК) з основною

площиною P_{vc} , площиною різання P_{nc} і головною січною площиною P_{tc} .

Під час повороту на кут θ_1 (див. рис. 2.7) обертається система $x_i y_i z_i$, а системи $x_n y_n z_n$ та $x_c y_c z_c$ нерухомі (до обертання всі системи збігаються) [15, 19].

Після повороту на кут θ_1 у фронтальній площині координати в перехідній системі такі [5]:

$$\begin{cases} x_n = x_i, \\ y_n = y_i \cos \theta_1 - z_i \sin \theta_1, \\ z_n = z_i \cos \theta_1 + y_i \sin \theta_1. \end{cases} \quad (2.1)$$

Після повороту на кут θ_2 у профільній площині перехід із системи $x_n y_n z_n$ у систему $x_c y_c z_c$ відображається такими рівняннями:

$$\begin{cases} x_c = x_n \cos \theta_2 - z_n \sin \theta_2, \\ y_c = y_n, \\ z_c = z_n \cos \theta_2 + x_n \sin \theta_2. \end{cases} \quad (2.2)$$

Остаточно після обох поворотів координати точок БНП у статичній системі координат визначаються підстановкою (2.1) в (2.2):

$$\begin{cases} x_c = x_i \cos \theta_2 - \sin \theta_2 (z_i \cos \theta_1 + y_i \sin \theta_1), \\ y_c = y_i \cos \theta_1 - z_i \sin \theta_1, \\ z_c = \cos \theta_2 (z_i \cos \theta_1 + y_i \sin \theta_1) + x_i \sin \theta_2. \end{cases} \quad (2.3)$$

Ця система рівнянь дозволяє визначити координати точок після повороту на кути θ_1 та θ_2 БНП будь-якої форми: з прямолінійною чи криволінійною різальною кромкою, яка лежить на площині чи має просторову форму.

Для визначення статичних кутів λ_c та φ_c проведемо в інструментальній системі координат (рис. 2.8) одиничний вектор \bar{a} , що виходить із деякої точки A різальної кромки і дотичний до різальної кромки [13, 25]. У площині P_{ni} кут між цим вектором та основною площиною – це кут λ_i . Тоді проекція вектора \bar{a} на

вісь z_i дорівнює $\bar{c} = \bar{k} \sin \lambda_i$, а проекція його на площину P_{vi} дорівнює $\bar{f} = \bar{a} \cos \lambda_i$. Вектор \bar{f} у площині P_{vi} проєкується на осі x_i та y_i як $\bar{p} = \bar{i} \cos \lambda_i \sin \varphi_i$ та $-\bar{r} = \bar{j} \cos \lambda_i \cos \varphi_i$ відповідно (бо кут між ним і віссю y_i це кут φ_i). Тоді $\bar{f} + \bar{k} \sin \lambda_i = \bar{a}$.

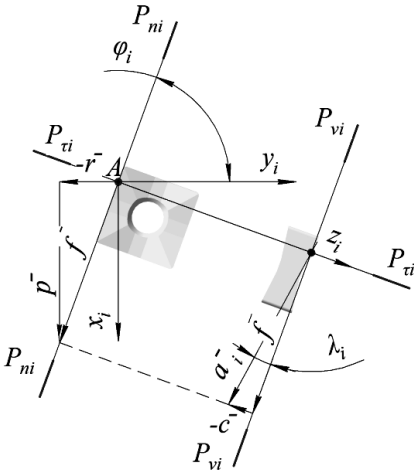


Рисунок 2.8 – Визначення координат вектора, дотичного до головної різальної кромки в ІСК

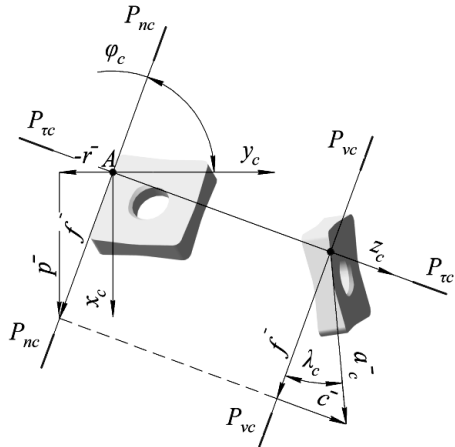


Рисунок 2.9 – Схема для визначення кутів λ_c та φ_c у ССК

Звідси $\bar{a} = \bar{i} \cos \lambda_i \sin \varphi_i + (-\bar{j} \cos \lambda_i \cos \varphi_i) + \bar{k} \sin \lambda_i$. Позначимо координати цього вектора в ІСК як $x_1 = \cos \lambda_i \sin \varphi_i$, $y_1 = -\cos \lambda_i \cos \varphi_i$, $z_1 = \sin \lambda_i$. Підставляємо координати вектора \bar{a} в систему (2.3) і отримуємо його координати у статичній системі координат (рис. 2.9):

$$x_{1c} = \cos \lambda_i \sin \varphi_i \cos \theta_i - \sin \theta_2 (\sin \lambda_i \cos \theta_1 + \cos \lambda_i \cos \varphi_i \sin \theta_1),$$

$$y_{1c} = \cos \lambda_i \cos \varphi_i \cos \theta_1 - \sin \lambda_i \sin \theta_1,$$

$$z_{1c} = \cos \theta_2 (\sin \lambda_i \cos \theta_1 + \cos \lambda_i \cos \varphi_i \sin \theta_1) + \cos \lambda_i \sin \varphi_i \sin \theta_2.$$

Вектор $\bar{a}_c = \bar{i}x_{1c} + \bar{j}y_{1c} + \bar{k}z_{1c}$, звідси:

$$\operatorname{tg} \lambda_c = \frac{z_{1c}}{\sqrt{(x_{1c})^2 + (y_{1c})^2}}, \quad (2.4)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_c = \frac{x_{1c}}{y_{1c}}. \quad (2.5)$$

Для визначення заднього кута в статичній системі координат різця з БНП проведемо в ІСК вектор \bar{e} , одиничний вектор уздовж лінії перетину задньої поверхні та головної січної площини $P_{\tau i}$ (рис. 2.10). Видно, що вектор $-\bar{e}=1$. Тоді

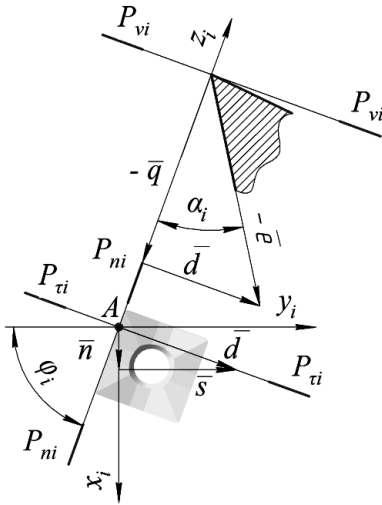


Рисунок 2.10 – Визначення координат вектора \bar{e} в ІСК

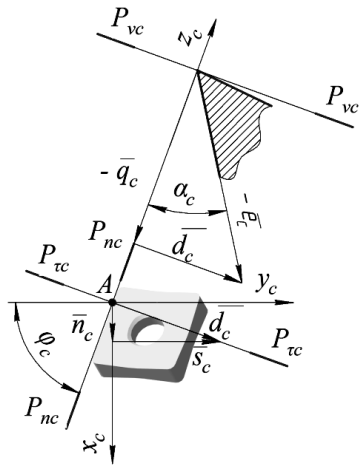


Рисунок 2.11 – Схема для визначення заднього кута в ССК

$-\bar{q} = -\bar{e} \cos \alpha_i$, $\bar{e} = \bar{d} + (-\bar{q})$. На площині x_i, y_i вектор $\bar{d} = -\bar{e} \sin \alpha_i$ має проєкції

$$\bar{n} = \bar{e} \sin \alpha_i \cos \varphi_i = \bar{i} \sin \alpha_i \cos \varphi_i,$$

$$\bar{s} = -\bar{e} \sin \alpha_i \sin \varphi_i = -\bar{j} \sin \alpha_i \sin \varphi_i.$$

Тому $\bar{d} = (-\bar{i} \sin \alpha_i \cos \varphi_i) + (-\bar{j} \sin \alpha_i \sin \varphi_i)$. Отже,

$\bar{e} = -\bar{i} \sin \alpha_i \cos \varphi_i - \bar{j} \sin \alpha_i \sin \varphi_i + \bar{k} \cos \alpha_i$. Позначимо координати

вектора \bar{e} в інструментальній системі координат як x_2, y_2, z_2 :

$x_2 = -\sin \alpha_i \cos \varphi_i, y_2 = -\sin \alpha_i \sin \varphi_i, z_2 = \cos \alpha_i$. Отже,

$$\bar{e} = \bar{i}x_2 + \bar{j}y_2 + \bar{k}z_2. \quad (2.6)$$

У статичній системі координат (ССК) цей самий вектор має інші координати (рис. 2.11):

$$\bar{e}_c = \bar{i}x_{2c} + \bar{j}y_{2c} + \bar{k}z_{2c}.$$

Враховуючи систему (2.3), виконаємо перехід із ІСК у ССК:

$$\begin{cases} x_{2c} = x_2 \cos \theta_2 - \sin \theta_2 (z_2 \cos \theta_1 + y_2 \sin \theta_1), \\ y_{2c} = y_2 \cos \theta_1 - z_2 \sin \theta_1, \\ z_{2c} = \cos \theta_2 (z_2 \cos \theta_1 + y_2 \sin \theta_1) + x_2 \sin \theta_2. \end{cases}$$

Задній кут у ССК – це кут між вектором \bar{e}_c , спрямованим уздовж лінії перетину задньої поверхні та головної січної площини в ССК і віссю z_c .

Тоді

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \frac{\sqrt{(x_{2c})^2 + (y_{2c})^2}}{z_{2c}}. \quad (2.7)$$

Для визначення переднього кута в ССК проведемо в ІСК одиничний вектор $-\bar{g} = 1$, дотичний до передньої поверхні у

даній точці різальної кромки (рис. 2.12). Тоді $-\bar{u} = -\bar{g} \sin \gamma_i$,

$\bar{h} = -\bar{g} \cos \gamma, \bar{g} = (-\bar{u}) + \bar{h}$. Проекції \bar{h} на осі x_i та y_i :

$$\bar{m} = -\bar{g} \cos \gamma_i \cos \varphi_i = -\bar{i} \cos \gamma_i \cos \varphi_i,$$

$$\bar{w} = -\bar{j} \cos \gamma_i \sin \varphi_i = -\bar{j} \cos \gamma_i \sin \varphi_i.$$

Отже, $\bar{h} = \bar{m} + \bar{w}$, а тому

$$\bar{g} = (-\bar{i} \cos \gamma_i \cos \varphi_i) + (-\bar{j} \cos \gamma_i \sin \varphi_i) + \bar{k} \sin \gamma_i.$$

Позначимо $x_3 = -\cos \gamma_i \cos \varphi_i$, $y_3 = -\cos \gamma_i \sin \varphi_i$, $z_3 = \sin \gamma_i$, тоді

$$\bar{g} = \bar{i}x_3 + \bar{j}y_3 + \bar{k}z_3.$$

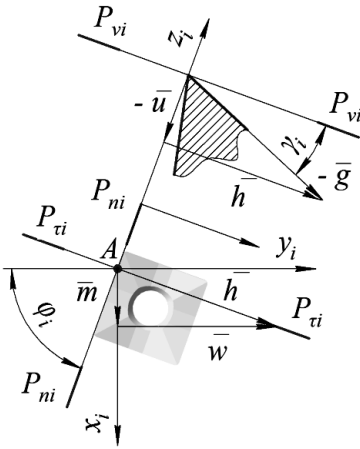


Рисунок 2.12 – Визначення координат вектора \bar{g} в ІСК

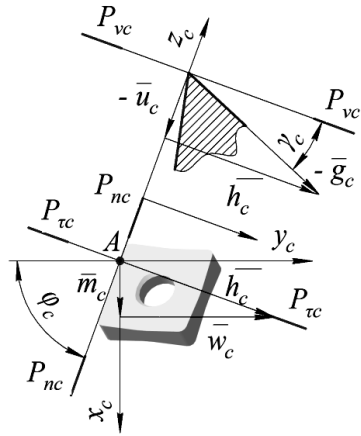


Рисунок 2.13 – Схема для визначення переднього кута в ССК

У статичній системі координат (ССК) цей самий вектор має інші координати (рис. 2.13):

$$\bar{g}_c = \bar{i}_{3c}x_{3c} + \bar{j}_{3c}y_{3c} + \bar{k}_{3c}z_{3c}.$$

Враховуючи систему (2.3), виконаємо перехід з ІСК у ССК:

$$\begin{cases} x_{3c} = x_3 \cos \theta_2 - \sin \theta_2 (z_3 \cos \theta_1 + y_3 \sin \theta_1), \\ y_{3c} = y_3 \cos \theta_1 - z_3 \sin \theta_1, \\ z_{3c} = \cos \theta_2 (z_3 \cos \theta_1 + y_3 \sin \theta_1) + x_3 \sin \theta_2. \end{cases}$$

Кут γ_c – це кут між вектором \bar{g}_c та площиною P_{vc} , тому він визначається таким чином:

$$\operatorname{tg} \gamma_c = \frac{z_{3c}}{\sqrt{(x_{3c})^2 + (y_{3c})^2}}. \quad (2.8)$$

Вплив кожного з кутів повороту на остаточне значення статичних кутів за наявної геометрії в ІСК вибраної БНП можна проаналізувати за формулами (2.4), (2.5), (2.7) (2.8).

2.4 Приєднувальна частина

Приєднувальна частина такого різця – це призма. Висота й ширина перерізу визначаються за [19]. Згинальний момент можна записати як

$$M = P_z \cdot l_g \text{ і } M = W \cdot \sigma_{згин}.$$

Для призматичної державки момент опору перерізу дорівнює

$$W = \frac{bh^2}{6},$$

тоді

$$bh^2 = \frac{6P_z \cdot l_g}{\sigma_{згин}}.$$

Якщо в перерізі квадрат, то $h = b$. Коли використовують

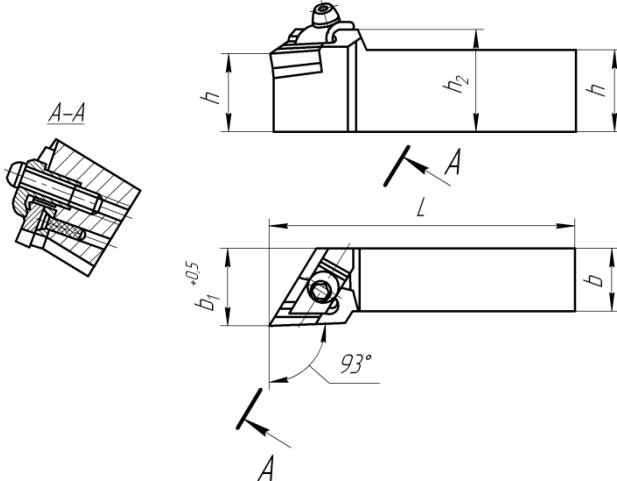


Рисунок 2.14 – Різець із механічним кріпленням пластини

прямокутник, то $h = 1,6b$. Виліт різця l_g залежить від h .

Звичайно це півтори висоти, тобто $l_g = 1,5h$. За розрахованими значеннями h та b вибрати найближче більше число з ряду: 10, 12, 16, 20, 25, 30, 40, 45, 50, 60, 80.

Для загартованої державки $[\sigma_{згин}] = 40 \text{ кг/мм}^2$, незагартованої – $[\sigma_{згин}] = 20 \text{ кг/мм}^2$.

Причому «гніздо» проектується таким чином (рис. 2.14), щоб вершина різця завжди визначалася координатами, які дорівнюють висоті державки та довжині всього різця.

Довжина різця призначається зі спеціального ряду, де кожне числове значення позначається відповідною літерою (табл. 2.3).

Таблиця 2.2 – Довжина різця

Позначення	A	B	C	D	E	G	H	J	K	L	M
Довжина, мм	32	40	50	60	70	80	100	110	125	140	150

Позначення	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Довжина, мм	160	170	180	200	250	300	350	400	450	СК

2.5 Креслення

Основним кресленням під час проектування різця є робоче креслення корпусу (рис. 2.15). Параметри a_i , b_i , d_i , l_i , h_i на цьому кресленні визначаються конструктором відповідно до розмірів різальної пластини.

Деталі механізмів кріплення є стандартними, або такими, що не відрізняються великою складністю (див. рис. 2.2 – 2.5).

На кресленні складання (див. рис. 2.14) повинні бути всі необхідні перерізи, що пояснюють умови базування пластини та роботу механізму. Особливу увагу необхідно звернути на маркування різця. Різці з механічно закріпленою пластиною позначаються записом у рядок із 10 позицій [10].

Приклад позначення різця для зовнішнього точіння:

MTG NR 2525M22*.

Тут **М** – схема силового замкнення; **Т** – форма пластини; **Г** – форма робочої частини різця; **Н** – задній кут пластини в інструментальній системі координат; **Р** – напрям подачі; **25** і **25** – відповідно висота й ширина перерізу приєднувальної частини; **М** – довжина різця; **22** – довжина різальної кромки пластини; * – особливі позначки виробника.

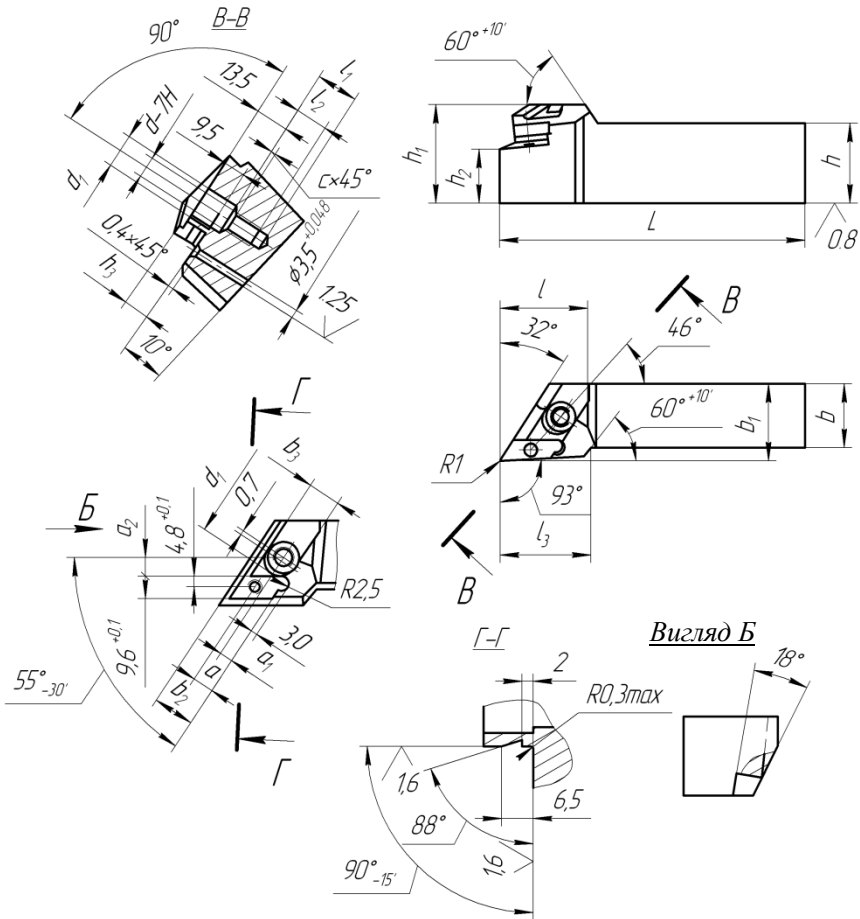


Рисунок 2.15 – Робоче креслення корпусу різця

Державним стандартом допускається замість літер під час маркування використовувати цифри. Проте літерно-цифрове маркування більш сприйнятливим і рекомендоване міжнародним стандартом *ISO*.

Приклад позначення розточувального різця:

A32MSDFNR12*.

Тут **A** – тип корпусу; **32** – діаметр корпусу; **M** – довжина різця; **S** – схема силового замкнення; **D** – форма пластини; **F** – форма робочої частини різця; **N** – задній кут пластини в інструментальній системі координат; **R** – напрям подачі; **12** – довжина різальної кромки пластини; * – особливі позначки виробника.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментального матеріалу;
- умовне позначення пластини;
- приєднувальну частину зі сталі 40X;
- твердість приєднувальної частини, HRC 40—47;
- антикорозійне покриття приєднувальної частини;
- маркування.

2.6 Фасонні різці

2.6.1 Завдання проектування. Існують різні типи фасонних різців: круглі і призматичні, радіальні й тангенціальні, з паралельним розміщенням осі отвору і похилим розміщенням осі отвору, з позитивним (або таким, що дорівнює нулю) переднім кутом γ або позитивним переднім кутом γ та кутом нахилу різальної кромки $\lambda \neq 0$, із кільцевими або гвинтовими твірними задньої поверхні. Проте найпоширенішими є круглі та призматичні різці з $\lambda = 0$ та з $\lambda \neq 0$ [12, 13].

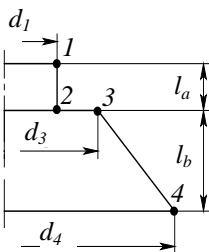


Рисунок 2.16 –
Креслення деталі

Вихідними даними для проектування є креслення деталі (рис. 2.16) із

зазначенням розмірів і допусків на них та матеріалу заготовки. Вузлові точки профілю деталі повинні бути пронумеровані. Номери цих точок і відповідних точок на профілі різця однакові.

Задня поверхня утворюється двома координатними лініями: твірною і напрямною.

Якщо твірна – різальна кромка, а напрямна – коло, то це круглий різець (рис. 2.17).

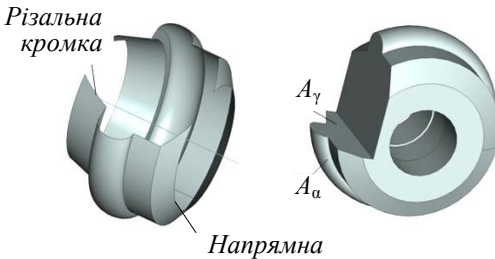


Рисунок 2.17 – Круглий різець

Якщо твірною є різальна кромка, а напрямною – пряма лінія, то це призматичний різець (рис. 2.18).

Передня поверхня фасонного різця (при її продовженні) може проходити паралельно осі деталі. Такий різець

називають різцем з $\lambda = 0$ (рис. 2.19 а).

Якщо вона повернута таким чином, що лінія її перетину з кінцевою ділянкою поверхні деталі збігається з твірною цієї ділянки, то такий різець називають різцем із $\lambda \neq 0$ (рис. 2.19 б).

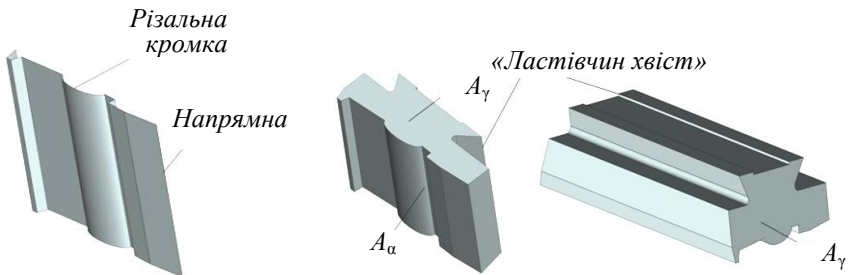


Рисунок 2.18 – Призматичний різець

Геометрію фасонного різця і координати його профілю визначають відносно однієї з вузлових точок профілю, що називається характерною (або базовою).

Характерною точкою у фасонному різці з $\lambda = 0$ є вузлова точка його профілю, найближча до осі деталі (на рис. 2.16 – точка 1).

Характерною точкою у фасонному різці з $\lambda \neq 0$ є вузлова точка його профілю, що контактує з найточнішою конічною ділянкою поверхні деталі на її меншому діаметрі (на рис. 2.16 – точка 3).

В інших точках передній кут γ буде мати інші значення. З наближенням точок до центра або бази кріплення різця передній кут зменшується, а задній – збільшується. Через наявність заднього α і переднього γ кутів профіль круглого різця в діаметральному перерізі і профіль призматичного різця в перерізі, перпендикулярному до бази кріплення, не збігаються із заданим профілем деталі в її діаметральному перерізі.

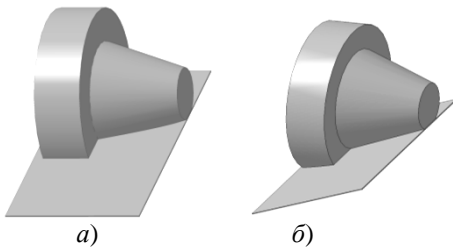


Рисунок 2.19 – Різці $\lambda = 0$
та з $\lambda \neq 0$

У зв'язку з цим необхідно коригувати профіль різця в усіх точках різальної кромки. Спотворення його профілю (щодо профілю деталі) повинно бути таким, щоб оброблена ним деталь відповідала вимогам креслення. Корекції підлягають

радіальні (висотні) розміри всіх фасонних різців. Цю процедуру називають коригувальним розрахунком.

Осьові розміри залишаються незмінними, за винятком для різців із похилим розміщенням осі отвору або бази кріплення, а також для різців із профілем, розміщеним по гвинтовій лінії.

Проте останнім часом створені аналітичні методи, які дозволяють визначити координати всіх точок профілю будь-якого різця відразу без урахування того, наскільки він відрізняється від профілю деталі. Це і є профілюванням. Точність профілювання залежить від точності оброблюваних поверхонь. Якщо допуски призначають у мікрометрах, то й

остаточні результати повинні округлятися до 0,001 мм.

2.6.2 Вибір геометрії. Задній кут α для круглих різців призначають у межах 10—15°. У призматичних він може бути дещо більшим – 12—18°. Значення заднього кута призначають для характерної точки. В інших точках різальної кромки при віддаленні від центра деталі задній кут безупинно збільшується. Але в усіх точках різальної кромки його значення повинно залишатися в зазначених вище межах.

Передній кут вибирають залежно від оброблюваного матеріалу.

Під час оброблення алюмінію й міді рекомендується брати γ таким, що дорівнює 25—30°, сталі – 5—20°, чавуну – 0—10°, бронзи і латуні – 0—5°.

Значення переднього кута також задають у характерній точці. При віддаленні від центра деталі він зменшується. Тому в характерній точці призначають його максимальне значення.

2.6.3 Визначення зовнішнього діаметра круглого різця. Зовнішній діаметр круглого різця визначають з урахуванням глибини профілю деталі $t = (d_{\max} - d_{\min}) / 2$ за таблицею 2.3. У таблиці D – зовнішній діаметр різця; d – діаметр приєднувального отвору; d_2 – більший діаметр рифлення; l_2 – висота рифлення.

Таблиця 2.3 – Конструктивні параметри круглого різця

t	D	d	d_2	l_2
4—6	40	13	20	3
6—8	50	16	26	3
8—10	60	16	32	3
10—12	70	22	35	4
12—15	80	22	40	4
15—18	90	22	45	5
18—21	100	27	50	5

Зовнішній діаметр круглого різця D і діаметр приєднувального отвору d (рис. 2.20) можна також визначити за формулами (з округленням до цілого числа):

$$D = \sqrt{695t - 1183 \ln t}, \quad d = \sqrt{34,5t}.$$

2.6.4 Графічна побудова профілю. Графічну побудову профілю виконують у такій послідовності:

1 Зображують вигляд спереду і вигляд зверху оброблюваної деталі.

2 На вигляді деталі спереду зображують проекцію різальної кромки різця.

Якщо $\lambda = 0$, то з характерної точки проводять промінь під кутом γ до горизонталі. Якщо $\lambda \neq 0$, то на вигляді зверху



Рисунок 2.20 – Круглі фасонні різці

продовжують конічну поверхню до положення торців деталі і проектують на неї всі вузлові точки. Потім усі ці проекції переносять на горизонтальний діаметр вигляду спереду. З одержаних точок під кутом γ до горизонталі проводять промені до перетину з колами, на яких розміщуються однойменні точки. З'єднавши всі точки перетинів, одержимо проекцію різальної кромки.

3 На вигляді спереду будують проекцію задньої поверхні різця.

Якщо різець призматичний, то з вузлових точок проекції різальної кромки проводять лінії під кутом α до вертикалі. Якщо різець круглий, то з характерної точки під кутом α до горизонталі проводять промінь, на якому відкладають відрізок, що дорівнює зовнішньому радіусу різця. Зовнішній радіус визначають за таблицею відповідно до глибини профілю деталі.

Кінець відрізка визначає центр фасонного різця. Далі з визначеного центра проводять дуги через вузлові точки проекції різальної кромки.

4 Проводять слід площини, нормальної до задньої поверхні проектованого різця, і повертають його (разом із вузловими точками профілю різця) в горизонтальне положення.

5 На перетинах ліній, проведених горизонтально через вузлові точки профілю деталі і вертикально через точки на нормальному перетині, визначають вузлові точки профілю різця та будують його натуральною величиною.

Щоб побудувати криволінійний проміжок профілю різця, необхідно на відповідній поверхні деталі вибрати 3—5 допоміжних точок і виконати побудову згідно з пунктами 1—5.

Профільювання круглого фасонного різця з $\lambda = 0$

Побудована приблизно одна чверть вигляду спереду і половина вигляду зверху деталі (рис. 2.21). Це зменшує кількість ліній на кресленні і дозволяє збільшити його масштаб. На вигляді спереду деталі через точку 1 під кутом γ до горизонталі проведено промінь.

Далі на вигляді спереду будують проекцію задньої поверхні різця. Для цього з характерної точки 1 під кутом α до горизонталі проводять промінь, на якому відкладають відрізок, що дорівнює зовнішньому радіусу різця. Зовнішній радіус визначають за таблицею 2.3 ($D/2$) відповідно до глибини профілю деталі. Кінець відрізка визначає центр фасонного різця. Із знайденого центра O_2 проводять дуги через вузлові точки проекції різальної кромки (1, 2, 3, 4). Проводять слід площини, нормальної до задньої поверхні проектованого різця. Це відрізок O_2O_3 (а взагалі це будь-яка пряма, що проходить через точку O_2).

Повертають його разом із вузловими точками профілю різця в горизонтальне положення O_3K .

На перетинах ліній, проведених горизонтально через вузлові точки профілю деталі і вертикально через точки на нормальному

перерізі, визначають вузлові точки профілю різця та будують його натуральною величиною.

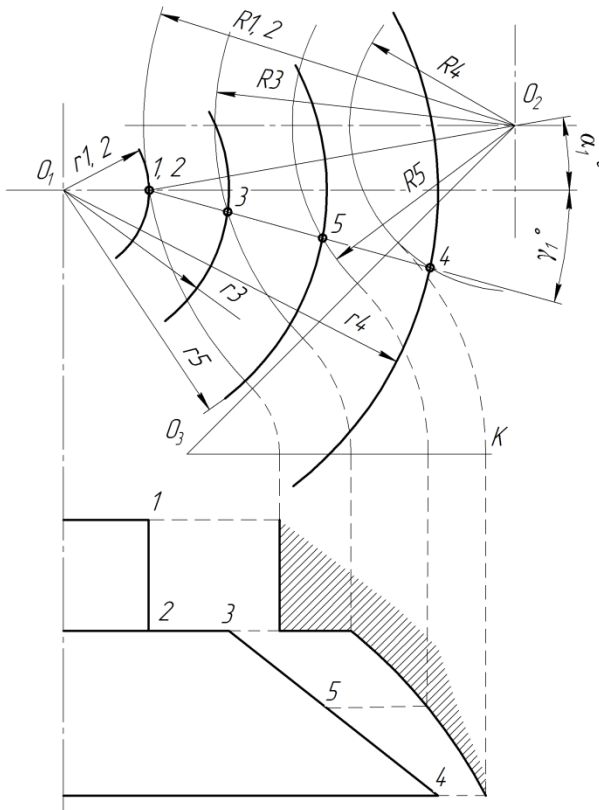


Рисунок 2.21 – Графічне профілювання круглого фасонного різця з $\lambda = 0$

Криволінійний проміжок профілю різця буде обробляти відрізок між точками 3 та 4 профілю деталі. Щоб його побудувати, необхідно на відповідній поверхні деталі вибрати декілька допоміжних точок і виконати наведені вище вказівки. На рисунку 2.21 показана одна допоміжна точка 5.

Профільовання круглого фасонного різця з $\lambda \neq 0$

Побудувати вигляд спереду і вигляд зверху об-

роблюваної деталі (рис. 2.22).

Щоб на вигляді деталі спереду зобразити проекцію різальної кромки різця, на вигляді зверху продовжують кінчну поверхню до положення торців деталі і проектують на неї всі вузлові точки. Після цього всі проекції переносять на горизонтальний діаметр вигляду спереду (1', 2' і т.д.). З одержаних точок під кутом γ до горизонталі проводять промені до перетину з колами, на яких розміщуються однойменні точки.

З'єднавши всі точки перетинів, одержимо проекцію різальної кромки.

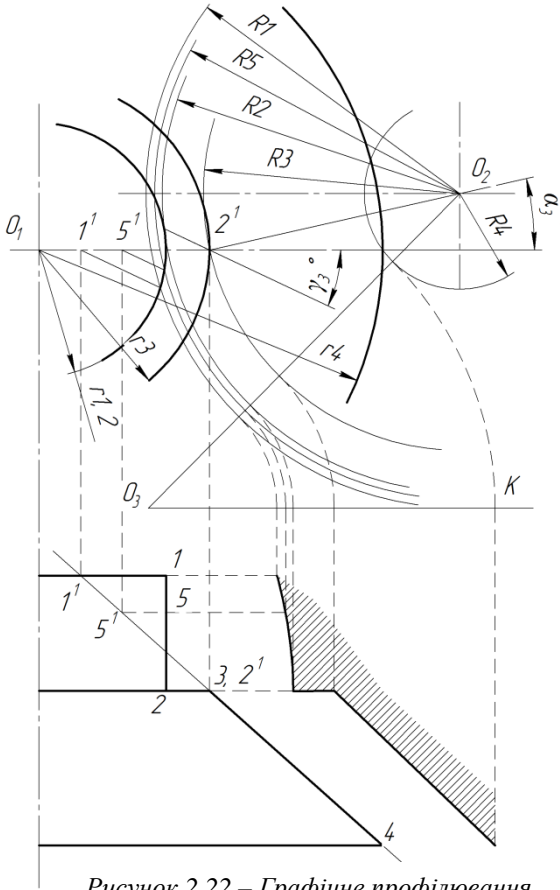


Рисунок 2.22 – Графічне профілювання круглого фасонного різця з $\lambda \neq 0$

Потім на вигляді спереду будують проекцію задньої поверхні різця. Для цього з характерної точки $2' = 3$ під кутом α до горизонталі проводять промінь, на якому відкладають відрізок, що дорівнює зовнішньому радіусу різця. Зовнішній радіус знаходять за таблицею 3.1 відповідно до глибини профілю деталі. Кінець відрізка O_2 визначає центр фасонного різця. Далі з визначеного центра проводять дуги через вузлові точки проекції різальної кромки.

Слід площини, нормальної до задньої поверхні

проектованого різця, проходить через точку O_2 . Повертають його навколо точки O_3 (разом із вузловими точками профілю різця) в горизонтальне положення O_3K .

На перетинах ліній, проведених горизонтально через вузлові точки профілю деталі і вертикально через точки на нормальному

перерізі, визначають вузлові точки профілю різця та будують його натуральною величиною.

Криволінійний проміжок профілю різця обробляє циліндричну поверхню деталі між точками 1—2. Щоб його побудувати, необхідно на цій поверхні деталі вибрати 3—5 допоміжних точок і виконати вказівки пунктів 1—5. На рисунку 2.22 це точка 5.

Профілювання призматичного фасонного різця з $\lambda = 0$

Побудувати вигляд спереду і вигляд зверху оброблюваної деталі (рис. 2.23).

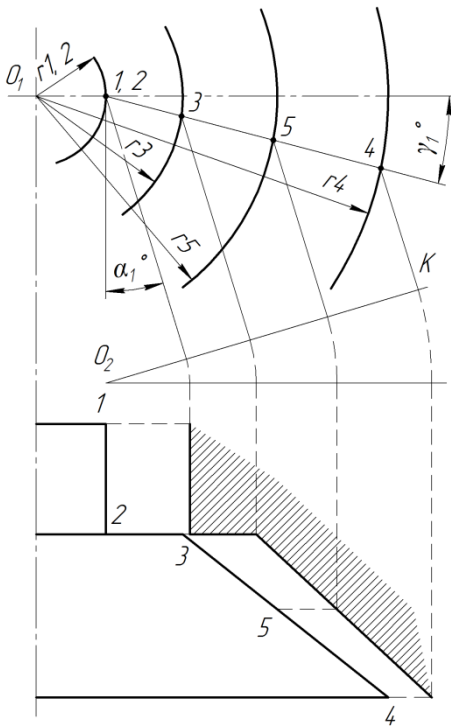


Рисунок 2.23 – Графічне профілювання призматичного фасонного різця з $\lambda = 0$

На вигляді деталі спереду зображають проекцію різальної кромки різця, для цього з характерної точки 1 проводять промінь під кутом γ до горизонталі.

На вигляді спереду будують також проекцію задньої поверхні різця: з вузлових точок проекції різальної кромки (1, 2, 3, 4) проводять лінії під кутом α до вертикалі.

Проводять слід площини, нормальної до задньої поверхні проектованого різця O_2K , і повертають його навколо точки O_2 (разом із вузловими точками профілю різця) в горизонтальне положення.

На перетинах ліній, проведених горизонтально через вузлові точки профілю деталі і вертикально через точки на нормальному

перерізі, визначають вузлові точки профілю різця та будують його натуральною величиною.

Щоб побудувати криволінійний проміжок профілю різця, необхідно на відповідній поверхні деталі вибрати декілька точок і виконати вказівки пунктів 1—5. На рисунку 2.23 для прикладу показана точка 5 на конічній поверхні деталі.

Профілювання призматичного фасонного різця з $\lambda \neq 0$

Побудувати вигляд спереду і вигляд зверху деталі (рис. 2.24).

На вигляді деталі спереду зображають проекцію різальної кромки різця, для цього продовжують конічну поверхню до положення торців деталі і проектують на неї всі вузлові точки. Потім усі проекції переносять на горизонтальний діаметр вигляду спереду (1', 2', 3', 4'). З одержаних точок під кутом γ до горизонталі проводять промені до перетину з колами, на яких розмішуються однойменні точки поверхні деталі. З'єднавши всі точки перетинів, одержимо проекцію різальної кромки.

На вигляді спереду будують проекцію задньої поверхні різця, для цього з вузлових точок проекції різальної кромки проводять лінії під кутом α до вертикалі.

Далі проводять слід площини, нормальної до задньої поверхні проектованого різця O_2K , і повертають його навколо

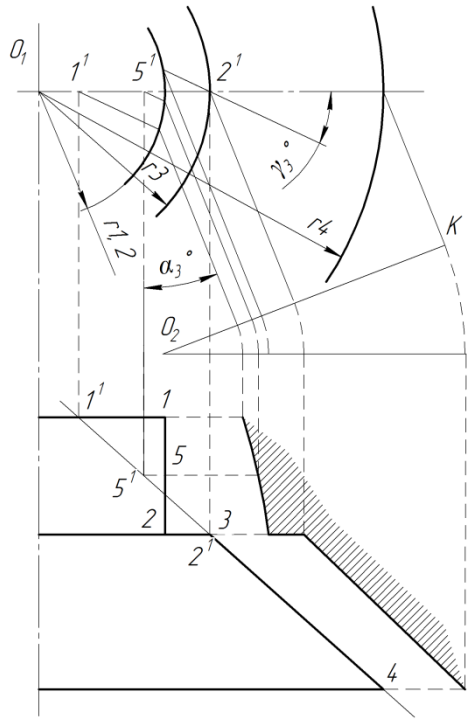


Рисунок 2.24 – Графічне профілювання призматичного фасонного різця з $\lambda \neq 0$

точки O_2 (разом із вузловими точками профілю різця) в горизонтальне положення.

На перетинах ліній, проведених горизонтально через вузлові точки профілю деталі і вертикально через точки на нормальному перерізі, визначають вузлові точки профілю різця та будують його натуральною величиною.

Циліндричну поверхню деталі між точками 1 та 2 повинен обробляти криволінійний проміжок профілю різця. Щоб його побудувати, необхідно на відповідній поверхні деталі вибрати декілька допоміжних точок (на рис. 2.24 показана одна точка 5) і виконати вказівки пунктів 1—5.

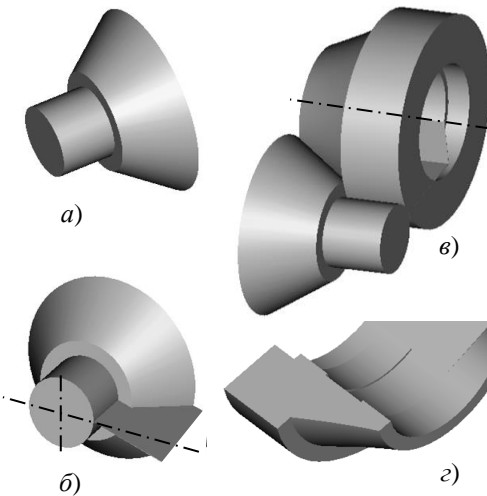


Рисунок 2.25 – Профілювання фасонного різця з використанням характеристики

крім того, при лінійному контакті поверхні деталі та вихідної інструментальної поверхні це також і характеристика. Обертаючи характеристику навколо осі різця (рис. 2.25 в), створюють задню поверхню різця. Після перетину її нормальною площиною отримують профіль різця (рис. 2.25 г).

Графічно побудувати профіль фасонного різця можна і на підставі теорії вихідної інструментальної поверхні, яку добре описав професор П. Р. Родін [15]. Завдання полегшують сучасні графічні платформи. Спочатку створюють тривимірну модель деталі (рис. 2.25 а). Потім, перетинаючи її через характерну точку площиною під кутом γ до горизонталі (рис. 2.25 б), одержують лінію перетину. Це і є різальна кромка, а,

2.6.5 Аналітичний розрахунок профілю. Різці можуть бути круглі й призматичні. І ті, і інші з $\lambda = 0$ і з $\lambda \neq 0$. Методика, що викладається, дозволяє використовувати один і той самий алгоритм для розрахунку всіх цих різців.

Графічна побудова профілю наочно показує, на яких проміжках різальної кромки різця утворюються криві лінії. Під час розроблення робочого креслення ці проміжки замінюють дугами кіл або прямими лініями. Для цього необхідно розрахувати параметри замінних кіл. Тому в процесі аналітичного розрахунку визначають координати не лише вузлових точок профілю, а й додаткових проміжних точок на криволінійних проміжках.

Осьові розміри різця не змінюються, вони дорівнюють відповідним розмірам деталі. В різці (порівнянно з деталлю) змінюються форма і глибина профілю. Тому фактично необхідно розрахувати одну координату кожної точки профілю різця.

Визначають розрахункові діаметри поверхні деталі з тим, щоб поле допуску на розмір профілю інструменту було розміщене посередині поля допуску на відповідний розмір деталі, а відхилення на профіль інструменту відраховувалися «на метал». Тоді

$$d_p = d_H + es(0,5 + 0,5k) + ei(0,5 + 0,5k),$$

де $k = 0,25—0,33$ – коефіцієнт, що враховує співвідношення поля допуску розміру інструменту і поля допуску відповідного розміру деталі.

Визначають кут між твірною проміжку профілю деталі, що буде оброблятися прямолінійною кромкою різця, та віссю деталі

$$\operatorname{tg}\theta = (r_{\max} - r_{\min})/l_\theta,$$

де r_{\max} , r_{\min} – граничні радіуси на розглядуваному проміжку профілю деталі;

l_θ – довжина цього проміжку в напрямку осі деталі.

Кут λ визначають за формулою

$$\operatorname{tg}\lambda = \operatorname{tg}\theta \cdot \sin\gamma.$$

Вихідними даними для розрахунку є креслення деталі, за яким визначають кількість вузлових точок профілю n , діаметри деталі в кожній вузловій точці d_i та осьові відстані вузлових точок L_i від торця ($i = 1, \dots, n$), взятого за базу (рис. 2.26), а також відповідно до оброблюваного матеріалу значення переднього кута γ і згідно з типом різця заднього кута α та номер характерної точки m .

Локальна система координат xuz встановлена таким чином, що вісь u поєднана з віссю деталі, а вісь x лежить у тій самій площині, що й характерна точка.

Рівняння кіл, які проходять через вузлові точки профілю деталі,

$$x^2 + z^2 = r_i^2, \quad y = l_i,$$

де $i = 1, \dots, n$ – номер вузлової точки профілю;

$r_i = d_i / 2$ – радіуси деталі в кожній вузловій точці.

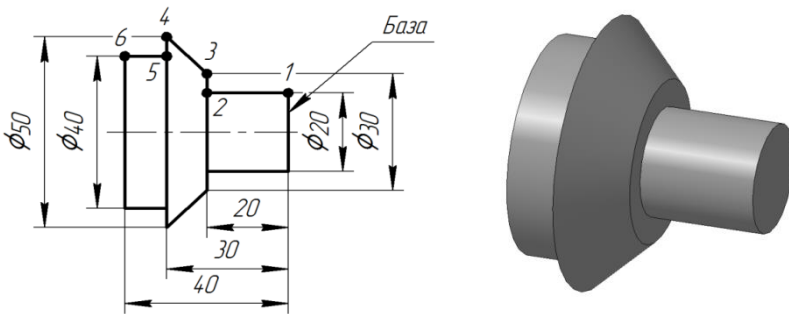


Рисунок 2.26 – Креслення та 3D-модель деталі

Координату u визначають як відстань від площин, в яких лежить кожне з цих кіл, до площини, в якій лежить коло, що проходить через характерну точку, тобто

$$u = l_i = L_i - L_m. \quad (2.9)$$

Розглянемо проектування круглого фасонного різця з $\lambda \neq 0$. Для деталі, показаної на рисунку 2.26, $m = 3$.

Проведемо передню поверхню різця (як площину) через три точки A , B і C (рис. 2.27).

Точка A – це характерна точка (номер її на поверхні деталі m) з координатами $A(r_m, 0, 0)$.

Точку B виберемо на промені, що виходить із характерної точки під кутом γ до осі x . Позначимо відрізок AB як w . При цьому проекції відрізка w на осі x і z відповідно дорівнюють: $s = w \cdot \cos \gamma$, $h = -w \cdot \sin \gamma$. Тоді точка B має координати $B(r_m + s, 0, h)$.

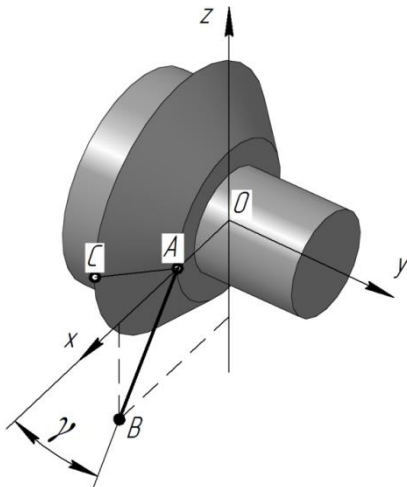


Рисунок 2.27 – Координатні точки передньої поверхні

Третя точка C (за номером p) – це точка перетину твірної конічної поверхні з колом радіусом r_p , що віддалене від площини xOz на висоту цього конуса l_p і має такі координати: $C(r_p, l_p, 0)$. Для розглянутого

прикладу $p = 4$ (див. рис. 2.26, 2.27).

Рівняння площини, що проходить через ці три точки $A(x_A, y_A, z_A)$, $B(x_B, y_B, z_B)$, $C(x_C, y_C, z_C)$, має вигляд [5]:

$$\begin{vmatrix} y_A & z_A & 1 \\ y_B & z_B & 1 \\ y_C & z_C & 1 \end{vmatrix} x + \begin{vmatrix} z_A & x_A & 1 \\ z_B & x_B & 1 \\ z_C & x_C & 1 \end{vmatrix} y + \begin{vmatrix} x_A & y_A & 1 \\ x_B & y_B & 1 \\ x_C & y_C & 1 \end{vmatrix} z - \begin{vmatrix} x_A & y_A & z_A \\ x_B & y_B & z_B \\ x_C & y_C & z_C \end{vmatrix} = 0. \quad (2.10)$$

Підставивши значення координат точок $A(x_A, y_A, z_A)$, $B(x_B, y_B, z_B)$, $C(x_C, y_C, z_C)$ у формулу (2.10), після перетворення отримаємо:

$$l_p hx + h(r_m - r_p)y + sl_p z - l_p hr_m = 0. \quad (2.11)$$

Це рівняння передньої поверхні різця, що перетинає поверхню деталі.

Запишемо систему рівнянь

$$\begin{cases} l_p hx + h(r_m - r_p)y + sl_p z - l_p hr_m = 0, \\ x^2 + z^2 = r_i^2, \\ y = l_i, \end{cases} \quad (2.12)$$

розв'язавши яку, отримаємо координати точок перетину передньої поверхні різця з поверхнею деталі:

$$x = \cos \gamma \left(\sqrt{(\sin \gamma \cdot F_i)^2 - F_i^2 + r_i^2} - \sin \gamma \cdot F_i \right), \quad (2.13)$$

$$z = -x \tan \gamma - F_i, \quad (2.14)$$

$$\text{де } F_i = \frac{\tan \gamma (r_m l_i - r_p l_i - r_m l_p)}{l_p}. \quad (2.15)$$

Систему координат $x_1 y_1 z_1$ розмістимо так, щоб вісь y_1 була поєднана з віссю круглого різця, а площина $x_1 O_1 z_1$ збігалася з площиною xOz (рис. 2.28). Тоді початок системи $x_1 y_1 z_1$ у системі $x_1 y_1 z_1$ має такі координати: $O(-r_m - R \cos \alpha; 0; -R \sin \alpha)$,

де R – зовнішній радіус круглого різця. Отже, координати профілю круглого фасонного різця з $\lambda \neq 0$ можна розрахувати за формулою

$$X_i = R - \sqrt{(z - R \sin \alpha)^2 + (x - r_m - R \cos \alpha)^2}. \quad (2.16)$$

Математична модель фасонного різця складається з формул (2.9), (2.15), (2.13), (2.14), (2.16). Використовуючи ці формули, легко розрахувати координати профілю різця у середовищі Mathcad (рис. 2.29) або Microsoft Excel (рис. 2.30).

За формулою (2.16) можна розрахувати й профіль призматичного різця, якщо задати значення $R \rightarrow \infty$. При $R = 10^6$ мм результати розрахунку забезпечують точність до 4-го знаку після коми.

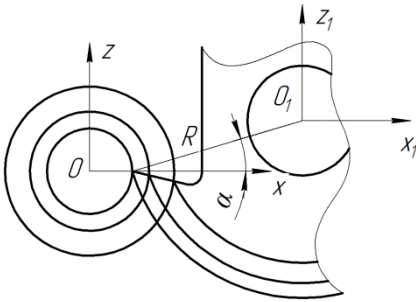


Рисунок 2.28 – Визначення координат профілю різця

Якщо $r_p = r_m$, то розглянута математична модель придатна для визначення координат профілю різців із $\lambda = 0$.

Результати графічного й аналітичного профілювань порівнюють.

2.6.6 Конструкторське доопрацювання інструменту.

Величина переднього кута в будь-якій точці різальної кромки визначається за формулою

$$\gamma_i = \arcsin \left(\frac{r_1}{r_i} \sin \gamma \right).$$

При віддаленні від центра деталі на деяких проміжках різальної кромки передній кут може настільки зменшитися, що його значення буде меншим від значення допустимої нижньої межі.

У цьому разі необхідно на передній поверхні зробити заглиблення радіусом R , що дорівнює 5—6 мм зі стрічкою f біля різальної кромки шириною 0,2—0,3 мм (рис. 2.31).

Для зменшення тертя на задній поверхні на проміжках, перпендикулярних до осі деталі, роблять невелике відхилення ($\alpha_6 \approx 2^\circ$) від перпендикулярності або залишають стрічку f_1 шириною 0,2—0,3 мм (рис. 2.32).

Загальну довжину різця l_p установлюють згідно із [16]. З боку відкритого кінця заготовки (рис. 2.33) довжину розрахункового профілю різця, що дорівнює довжині деталі l_d , збільшують на 2—3 мм (щоб перекрити допуск на заготовку та похибки її базування). Для запобігання гострим кутам цей бік різця може закінчуватися стрічкою B шириною 2—3 мм. З

протилежного боку роблять виступ шириною 3—6 мм для підготовки поверхні під відрізний різець. Боки виступу зрізають під кутом 15°.

Передній та задній кути: $\gamma := 15$ $\alpha := 5$

Кількість вузлових точок на профілі деталі: $n := 6$ $i := 1..n$

$L_i :=$	$d_i :=$	
0	42	
6	42	$d_{max} := 42$
15	30	$d_{min} := 30$
35	30	
35	40	
42	40	

Номер характерної точки: $m := 3$

Номер вузла на протилежному відносно характерної точки кінці твірної: $p := 2$

$$\lambda := \pi \frac{\gamma}{180} \quad \alpha := \pi \frac{\alpha}{180} \quad t := \frac{d_{max} - d_{min}}{2} \quad t = 6$$

Призначаємо зовнішній діаметр різця: $D_k := 40$

$$R_k := \frac{D_k}{2.0} \quad r_i := \frac{d_i}{2.0} \quad l_i := L_i - L_m$$

$$\text{tgT} := \frac{r_p - r_m}{|l_p|} \quad \lambda := \text{atan}(\text{tgT} \cdot \sin(\gamma)) \quad \text{В градусах:} \quad \lambda := \lambda \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$F_i := \frac{\tan(\gamma) \cdot (r_m \cdot l_i - r_p \cdot l_i - r_m \cdot l_p)}{l_p} \quad \lambda = 9.7898$$

$$x_i := \cos(\gamma) \cdot \left[\sqrt{(\sin(\gamma) \cdot F_i)^2 - (F_i)^2 + (r_i)^2} - \sin(\gamma) \cdot F_i \right] \quad z_i := [(-x)_i \cdot \tan(\gamma)] - F_i$$

Координати профілю
круглого різця: $x_{kp_i} := R_k - \sqrt{(z_i - R_k \cdot \sin(\alpha))^2 + (x_i - r_m - R_k \cdot \cos(\alpha))^2}$
 $R_k := 10^6$

Координати профілю
призматичного різця: $x_{pp_i} := R_k - \sqrt{(z_i - R_k \cdot \sin(\alpha))^2 + (x_i - r_m - R_k \cdot \cos(\alpha))^2}$

Рисунок 2.29 – Приклад розрахункової програми у Mathcad

Проміжки різальної кромки між деякими точками n і m (рис. 2.34), що являють собою частину еліпса, параболи або гіперболи, замінюють дугами кіл.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	$\gamma=$	$\alpha=$	$d_{max}=$	$d_{min}=$	$L_m=$	$m=3$	$p=2$	$n=7$
2	15	5	42	30	15			
3	t	D_k	R_k	r_m	r_p	l_p		
4	6	40	20	15	21	-9	$\lambda= 9,789972$	
5	$l_i=$	$d_i=$	$l_i=$	$r_i=$	$F_i=$	$x_i=$	$z_i=$	$X_i=$
6	0	42	-15	21	-6,69873	20,97225	1,079232	6,032569
7	6	42	-9	21	-5,62693	21	0	5,967421
8	15	30	0	15	-4,01924	15	0	0
9	25	30	10	15	-2,23291	14,89655	-1,75861	-0,33117
10	35	30	20	15	-0,44658	14,59454	-3,46401	-0,98563
11	37,5	40	22,5	20	0	19,31852	-5,17638	2,929346
12	42	40	27	20	0,803848	19,10299	-5,92248	2,419832

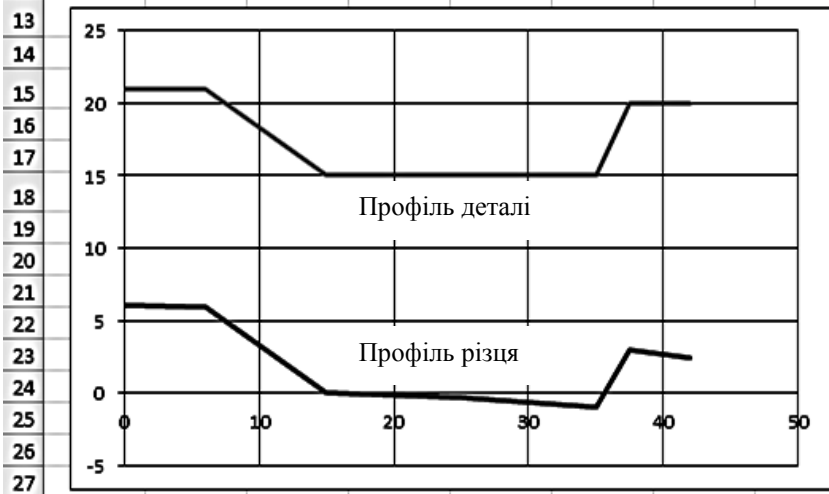


Рисунок 2.30 – Приклад розрахункової програми в Excel

Локальні координати центра замінного кола та його радіус визначають за формулами [19]:

$$x_0 = \frac{(x_m^2 + y_m^2) y_a - (x_a^2 + y_a^2) y_m}{2(x_m y_a - x_a y_m)},$$

$$y_0 = -\frac{(x_m^2 + y_m^2) x_a - (x_a^2 + y_a^2) x_m}{2(x_m y_a - x_a y_m)},$$

$$R_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}.$$

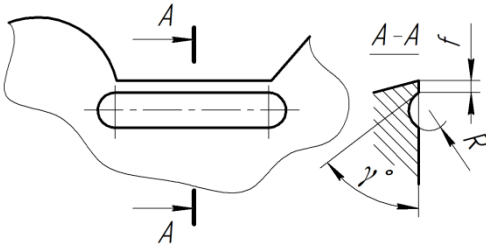


Рисунок 2.31 – Збільшення γ

Замінне коло проходить через точки $n(0, 0)$, $a(x_a, y_a)$, $m(x_m, y_m)$. Координати точок a і m у локальній системі координат з початком у точці n визначають через їх глобальні координати відносно характерної точки:

$$x_a = X_a - X_n, \quad y_a = L_a - L_n, \quad x_m = X_m - X_n, \quad y_m = L_m - L_n.$$

Радіус замінного кола може виявитися настільки великим, що

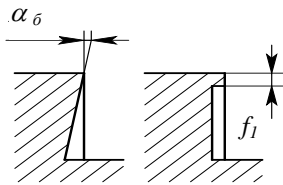


Рисунок 2.32 – Заходи для зменшення тертя

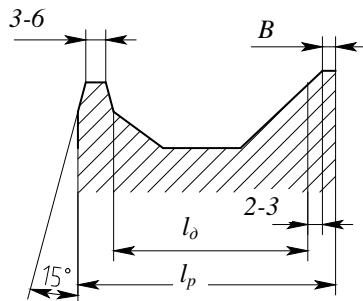


Рисунок 2.33 – Довжина різця

похибка форми деталі від заміни криволінійного проміжку різальної кромки різця на прямолінійний буде в межах допуску.

Максимальне відхилення криволінійної кромки від прямолінійної обчислюють за формулою

$$\Delta = R_0 - 0,5\sqrt{4R_0^2 - l_{n,m}^2},$$

де $l_{n,m} = \sqrt{x_m^2 + y_m^2}$ – відстань між точками n і m .

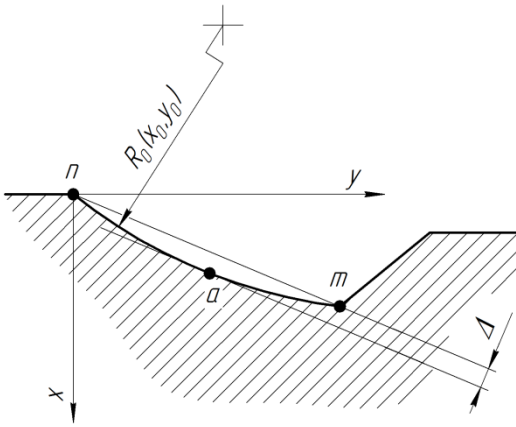


Рисунок 2.34 – Параметри змінного кола

Якщо максимальне відхилення виявиться меншим від однієї третини допуску, то відповідну ділянку різальної кромки можна виконувати прямолінійною.

Допуски на розміри інструменту дорівнюють 0,33—0,25 від допусків на відповідні розміри деталі, тобто $Tx_i = k \cdot Td_i$. Беремо

$k = 0,25$.

Для закріплення і регулювання круглого різця на одному з його торців виготовляють зубці ($z = 34$), спрямовані по радіусу (рис. 2.35 а). Кут профілю зубців – 90° . Вершини зубців зрізані

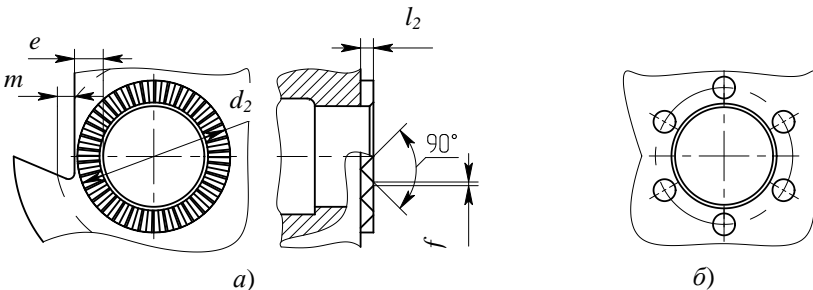


Рисунок 2.35 – Конструктивні елементи для фіксування круглого різця

на величину 0,1—0,2 мм з утворенням площини шириною

$f = (0,5—0,75)$ мм. Висота зуба може бути встановлена з таблиці 2.3 або за формулою

$$l_2 = \sqrt{0,054t^2 + 6,786}$$

(з округленням до цілого числа).

Внутрішній діаметр рифлення звичайно дорівнює діаметру приєднувального отвору, а зовнішній – визначається за тією самою таблицею 2.3 або як

$$d_2 = \sqrt{143t - 313}$$

(з округленням до цілого числа).

Замість рифлень використовують і спеціальні отвори (рис. 2.35 б), кількість і діаметр яких залежать від конструкції допоміжного інструменту.

Глибину заточування передньої поверхні для розміщення стружки (див. рис. 2.35 а) можна визначити за формулою $m = 0,5t + 1$, а товщину стінки різця – як $e = 0,4d$.

Висота призматичного різця 75—100 мм. Приєднувальна частина – це «ластівчин хвіст» (рис. 2.36) із кутом 60° . Його розміри залежно від глибини профілю деталі [12] наведені в таблиці 2.4. Для зменшення опорної площини (шліфованої) роблять виїмку глибиною c і довжиною F за загальної довжини бази кріплення A .

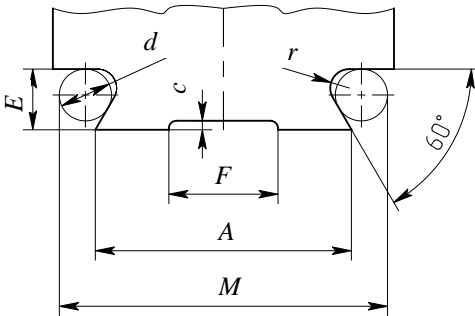


Рисунок 2.36 – «Ластівчин хвіст»

При зміні числових значень зазначених розмірів або при використанні роликів з іншим діаметром

d контрольований розмір M визначається за формулою

$$M = A - 2E \cdot \text{ctg}(\alpha_x) + d \left(1 + \text{ctg} \left(\frac{\alpha_x}{2} \right) \right).$$

де α_x – кут «ластівчиного хвоста».

Таблиця 2.4 – Розміри приєднувальної частини призматичних різців

Глибина профілю деталі	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>F</i>	<i>c</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>M</i>
4	4	15	7	1,0	0,5	4	21,31
6	6	20	10			6	29,46
10	6	25	15			6	34,46
14	10	30	20	2,0	1,0	10	45,77
20	10	40	25			10	55,77
28	15	60	40			15	83,66

2.6.7 Креслення фасонного різця. Графічне профілювання на папері виконують у збільшеному масштабі 10 : 1. Креслять тонкими лініями і лише ті елементи, які необхідні для того, щоб отримати профіль (див. рис. 2.21—2.24). Це дозволяє підвищити точність результатів. Якщо графічне профілювання виконують на ЕОМ, то масштаб твердої копії на точність не впливає.

На робочому кресленні повинен бути різець з усіма необхідними розрізами, розмірами, допусками на них та зазначена шорсткість поверхонь. Профіль показують у збільшеному вигляді, де проставляють розміри з допусками, показують виконані конструктивні доопрацювання.

Допуски на відхилення форми та положення поверхонь необхідно зазначити умовними позначеннями на кресленні. Їх значення визначають як 0,33—0,25 відповідних допусків деталі. На розміри приєднувальної поверхні призначають допуск за шостим квалітетом.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментальної сталі;
- марку приєднувальної частини у звареному інструменті;
- твердість робочої частини, HRC 62—65;
- твердість приєднувальної частини, HRC 40—47;
- маркування;
- робоча частина не повинна мати зони із заниженим умістом вуглецю зі зниженою твердістю.

2.6.8 Послідовність проектування фасонного різця.

Послідовність проектування наведена в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Алгоритм проектування

1	Визначити граничні відхилення на діаметри деталі
2	Призначити геометрію різця
3	Визначити зовнішній діаметр круглого різця
4	Визначити розрахункові розміри деталі
5	Розрахувати профіль різця. Формули (2.9), (2.15), (2.13), (2.14), (2.16)
6	Графічно побудувати профіль різця.
7	Порівняти результати графічної побудови та аналітичних розрахунків
8	Спроекувати приєднувальну частину різця
9	Виконати конструкторське доопрацювання профілю, одержаного в результаті аналітичних розрахунків
10	Накреслити різець

Контрольні питання

- 1 Як визначити форму робочої частини різця?
- 2 Схеми силового замикання при закріпленні багатограничних непереточуваних пластин.
- 3 Механізми кріплення пластин.
- 4 Як визначають координати вершини різця?
- 5 Визначення геометрії різців з БНП у статичній системі координат.
- 6 Як розрахувати параметри перетину державки різця?
- 7 Позначення різця для зовнішнього точіння, оснащеного БНП.
- 8 Типи фасонних різців.
- 9 Визначення круглого фасонного різця.
- 10 Визначення призматичного фасонного різця.
- 11 Що таке характерна точка фасонного різця?
- 12 Призначення фасонних різців із $\lambda = 0$ і $\lambda \neq 0$.
- 13 Чим відрізняється коригувальний розрахунок від профілювання фасонного різця?
- 14 Як значення переднього кута залежить від оброблюваного матеріалу?
- 15 Послідовність графічного профілювання фасонних різців.
- 16 Профілювання круглого фасонного різця з $\lambda = 0$.
- 17 Профілювання призматичного фасонного різця з $\lambda = 0$.
- 18 Профілювання круглого фасонного різця з $\lambda \neq 0$.
- 19 Профілювання призматичного фасонного різця з $\lambda \neq 0$.

- 20 Вихідні дані для аналітичного профілювання фасонного різця.
- 21 Розміщення локальної системи координат.
- 22 Які точки задають положення передньої поверхні різця при аналітичному профілюванні?
- 23 Як збільшити значення переднього кута?
- 24 Як зменшити тертя на ділянках різальної кромки, паралельних напрямку подачі?
- 25 За рахунок чого і на скільки збільшується довжина різця відносно довжини деталі?
- 26 Координати і радіус замінного кола?
- 27 Призначення рифлень і отворів на торці круглого різця?
- 28 Приєднувальна частина призматичного різця.
- 29 Послідовність проектування фасонних різців.

3 ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ

3.1 Свердла

Свердло – осьовий різальний інструмент для утворення отворів у суцільному матеріалі та збільшення діаметрів уже наявних отворів. Осьовим вважається лезовий інструмент з обертальним головним рухом різання і рухом подачі вздовж осі головного руху різання.

3.1.1 Перове свердло. Найпростішу конструкцію має перове свердло. У цьому інструменті два леза з'єднані вздовж осі обертання. Тому утворюється п'ять різальних кромки: дві головні – 1 і 3, дві допоміжні – 2, 4 та перетинка – 5 (рис. 3.1). Із

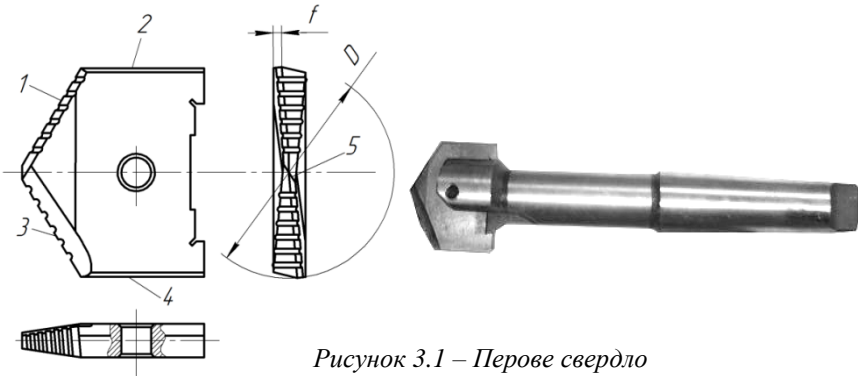


Рисунок 3.1 – Перове свердло

точки зору процесу різання перетинка – непотрібний елемент, навіть шкідливий, але вона утворюється незалежно від фізичних потреб при поєднанні двох лез.

На головних і допоміжних різальних кромках утворюються симетричні відносно осі точки. І це приводить до зрівноваження складових сили різання P_y :

$$\sum P_y^{лів} + \sum P_y^{прав} = \Delta \approx 0. \quad (3.1)$$

Сума всіх P_x становить так звану осьову силу

$$\sum P_x = P_o,$$

а складові P_z утворюють крутний момент $M_{кр}$.

Унаслідок конструктивних особливостей перового свердла, глибина свердління становить 1,5—2,0 діаметра свердління. Свердло перове складається з державки та різальної пластини яку виготовляють зі швидкорізальної сталі. Для кращого відведення стружки різальна пластина має стружкоподільні канавки.

Для спрямування інструменту під час різання калібрувальна частина пластини має фаску $f = 0,2—0,5$ мм. Перові свердла забезпечують свердління отворів від 25 до 130 мм.

Основною перевагою перового свердла є простота конструкції, а недоліком – погане відведення стружки із зони різання.

3.1.2 Спиральне свердло. Позбутися цього недоліку стало можливим при перетворенні плоских передніх поверхонь лез на гвинтові поверхні. Утворюється новий тип свердел – спіральне свердло. Напрямок піднімання гвинтової поверхні ω збігається з напрямком обертання свердла, що спричиняє рух стружки із зони різання до хвостовика (рис. 3.2). Кут спірального свердла ω – в межах від 18 до 30°.

Головні різальні кромки 1 і 2 утворюють кут 2ϕ . Є допоміжні різальні кромки 3, 4 та перетинка 5. Для спрямування інструменту під час різання калібрувальна частина спірального свердла також має фаску f . Для зменшення шкідливого впливу на процес різання перетинки її вкорочують підточуванням. Метод і форму підточування визначають кінематикою наявного пристосування та формою абразивного інструменту. Кут 2ϕ призначають від 116 до 140°, залежно від оброблюваного матеріалу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Залежність кута 2ϕ від оброблюваного матеріалу

Матеріал заготовки	Значення 2ϕ
Сталь	116—125
Чавун	100—110
Мідь, бронза	125—130
Алюміній	130—140
Пластмаси, бакеліт	80—110
Мармур	80—90

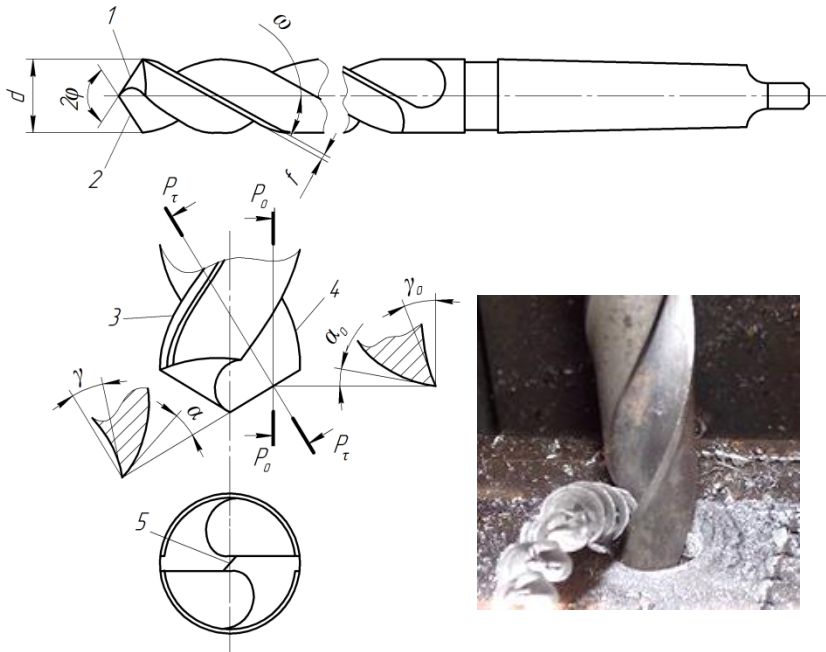


Рисунок 3.2 – Спиральне свердло

Передній кут γ_0 в осьовій площині дорівнює куту піднімання гвинтової передньої поверхні ω . На зовнішньому діаметрі (рис. 3.3)

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \operatorname{tg} \omega = \frac{\pi d}{P}. \quad (3.2)$$

Для будь-якого іншого діаметра d_x

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{\pi d_x}{P}. \quad (3.3)$$

Із формул (3.2) і (3.3) знаходимо

$$P = \frac{\pi d}{\operatorname{tg} \omega}, \quad P = \frac{\pi d_x}{\operatorname{tg} \gamma_x}.$$

Прирівнюємо праві частини рівнянь та одержуємо

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{d_x}{d} \operatorname{tg} \omega.$$

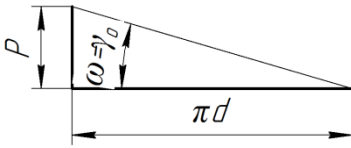


Рисунок 3.3 – Визначення кута γ_0

За відомими ω , діаметром свердла d можна визначити передній кут у будь-якій точці головної різальної кромки, змінюючи d_x .

У головній січній площині передній кут визначається з

урахуванням кута φ :

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{d_x \cdot \operatorname{tg} \omega}{d \cdot \sin \varphi}. \quad (3.4)$$

Чим більший діаметр d_x , на якому знаходиться точка різальної кромки, тим більше, за формулою (3.4), значення переднього кута γ .

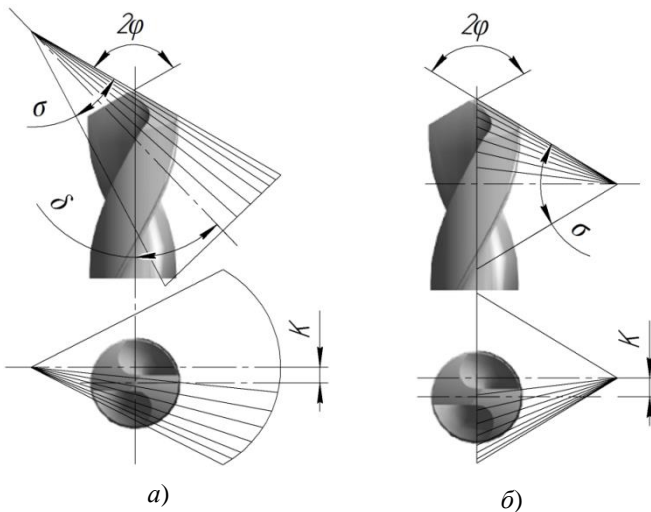


Рисунок 3.4 – Метод Вашбурна (а), метод Вейскера (б)

Задня поверхня в спіральному свердлі залежно від методу заточування може мати різну форму: частину конуса, сфери, циліндра. Може бути гвинтовою або плоскою. При утворенні

конічної задньої поверхні вершина конуса може знаходитися вище від перетинки (рис. 3.4 а) – метод Вашбурна, або нижче

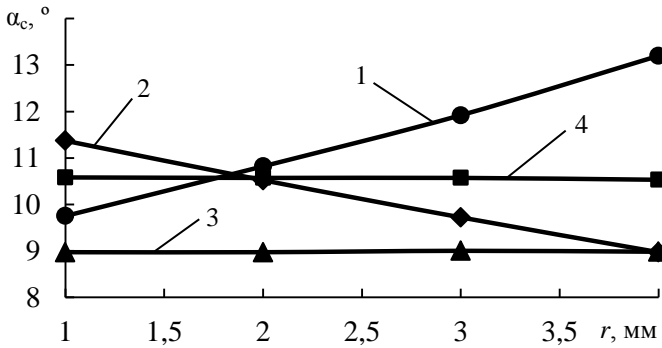


Рисунок 3.5 – Залежність статичного заднього кута свердла в осевій площині від положення точки різальної кромки щодо осі свердла за різних форм головної задньої поверхні:

1 – конус (за Вейскером);
2 – конус (за Вашбурном); 3 – циліндр; 4 – гвинт

від перетинки (рис. 3.4 б) – метод Вейскера. Водночас по різному змінюється значення заднього кута вздовж головної різальної кромки (рис. 3.5).

Переваги і недоліки різних форм задньої поверхні найяскравіше виявляються під час порівняння схем Вашбурна і Вейскера, що протилежно впливають на величину статичного заднього кута. Як бачимо (рис. 3.4), за методом Вейскера статичний задній кут збільшується зі збільшенням діаметра, на якому розміщена точка головної різальної кромки. Схема Вашбурна, навпаки, дозволяє одержувати більші статичні задні кути біля осі свердла і менші – на периферії. Отже, прийнятніший вигляд має заточування за методом Вашбурна.

Проте порівняння крутних моментів у середовищі DEFORM [22] засвідчує, що вони для інструментів, заточених за методами Вашбурна і Вейскера відрізняються у межах (1,5—2) %.

Це можна пояснити тим, що хоча при заточуванні за методом Вейскера сили тертя внаслідок менших статичних задніх кутів вищі біля осі свердла, ніж на периферії, переваги заточування за методом Вашбурна нівелюються за рахунок гвинтового руху точок різальної кромки. Кінематичний задній кут дорівнює різниці статичного заднього кута α_c і кута повороту θ кінематичної площини різання щодо статичної.

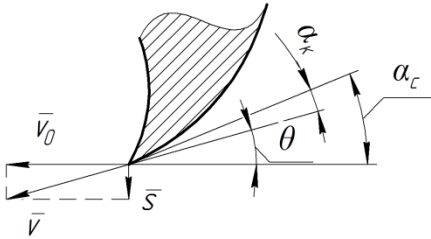


Рисунок 3.6 – Відхилення кінематичної площини різання

Модуль вектора v_0 (рис. 3.6) обертального руху дорівнює $v_0 = \pi dn$. Модуль вектора s поступального руху дорівнює $s = s_{об}n$.

Тоді тангенс кута θ , на який результуючий вектор v відхиляється від горизонталі, дорівнює [1]:

$$tg\theta = \frac{s}{v_0} = \frac{s_{об}}{\pi d},$$

Отже, кінематичний задній кут свердла $\alpha_k = \alpha_c - \theta$.

Вираз $\theta = \arctan\left(\frac{s_{об}}{\pi d}\right)$ показує, що за малих значень d кут повороту різко зростає. Природно, що значне зменшення кінематичного заднього кута відбувається й у свердел, заточених за методом Вашбурна. Крім того, ближче до осі свердла зменшується радіус закручування стружки, що спричиняє збільшення роботи пластичної деформації.

Тому метод заточування свердла вирішально не впливає на його працездатність. Для забезпечення необхідної геометрії лез потрібно варіювати параметрами кожного з методів, такими як зміщення осей конуса або циліндра відносно осі свердла, вершини конуса щодо вершини свердла, кроком гвинтової траєкторії при створенні гвинтової поверхні.

Погіршення геометрії біля перетинки свердла усувається її підточуванням (рис. 3.7). Підточування перетинки свердла дозволяє покращити умови різання на самій перетинці й на головних різальних кромках біля неї.

У зв'язку з цим форма задньої поверхні свердла (метод заточування) може бути встановлена залежно від умов виробництва і наявного устаткування. Останнім часом це площина або гвинтова поверхня.

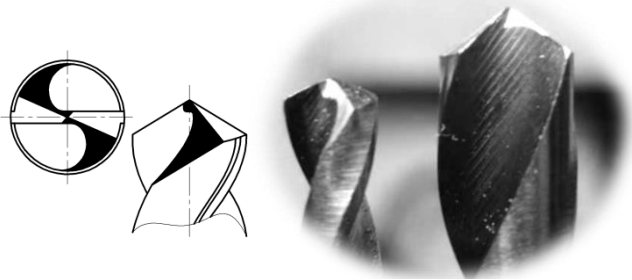


Рисунок 3.7 – Підточування перетинки

Створюють конструкції свердел, що поєднують переваги перового і спірального свердел (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Перове свердло зі спіральною канавкою на корпусі

Свердла виготовляють із швидкорізальної сталі, оснащують твердим сплавом. Твердий сплав використовують по-різному. У свердел малого діаметра вся робоча частина може бути твердосплавною. З метою економії інструментального матеріалу використовують спеціальні твердосплавні головки (рис. 3.9 б) або стандартні багатогранні непере-

точувані пластини (БНП).

Застосування БНП під час свердління привело до появи особливого інструмента – різець-свердло (рис. 3.9 а). Такий

інструмент дозволяє свердлити отвори різних діаметрів, виконувати розточувальні роботи, підрізувати фаски. Використовують стандартні БНП 1, які закріплюють на

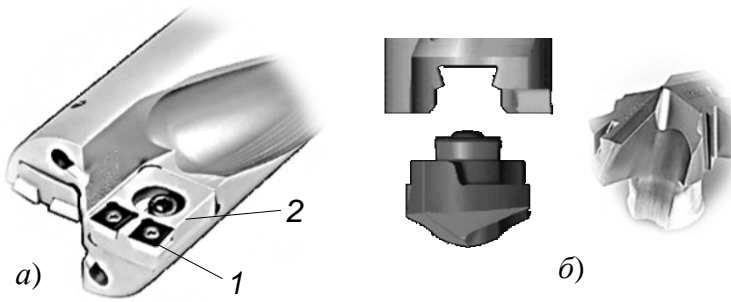


Рисунок 3.9 – Оснащення свердел твердим сплавом

картриджі 2. Змінюючи положення картриджа відносно осі свердла, можна налаштувати інструмент на потрібний діаметр.

3.1.3 Центрувальні свердла. Центрувальне свердло використовують для утворення технологічних баз на деталях, що обертаються навколо заданої осі під час оброблення, а також для сприяння попередньому спрямуванню спірального свердла. Базову поверхню утворюють різальні кромки 1 (рис. 3.10).

Для того щоб вершина конуса, на поверхні якого відбувається центрування заготовки при встановленні на верстаті, не спіралася на дно конічної поверхні, утвореної різальними кромками 1, інструмент закінчується коротким свердлом 2 меншого діаметра. Для запобігання пошкодженню базових поверхонь під час транспортування деталей різальною кромкою 3 утворюється фаска.

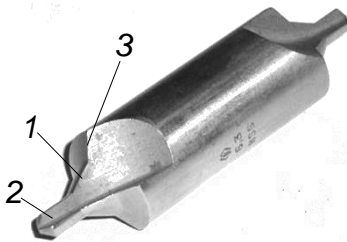


Рисунок 3.10 – Центрувальне свердло

Центрувальне свердло можна розглядати як комбінований інструмент. Приєднувальна частина в цьому

інструменті має циліндричну форму. Свердло виготовляють повністю з інструментальної сталі. З метою економії матеріалу воно має дві робочі частини. Найбільш уразливою частиною центрального свердла є свердло 2, яким закінчується робоча частина. Проте в цілому цей інструмент достатньо жорсткий, його використовують для попереднього свердління.

3.1.4 Конічні свердла. Конічні свердла застосовують для оброблення листового матеріалу в таких галузях, як електротехніка, сантехніка, нагрівальні пристрої, автосервіс, авіаційне виробництво, електроніка т. ін. Цим інструментом можна свердлити кольорові метали, інструментальну сталь, пластик, дюропластик, а також листову сталь завтовшки листа не більше ніж 4,0 мм (рис. 3.11 а). Свердла працюють без попереднього центрування. Свердла можуть мати прями й

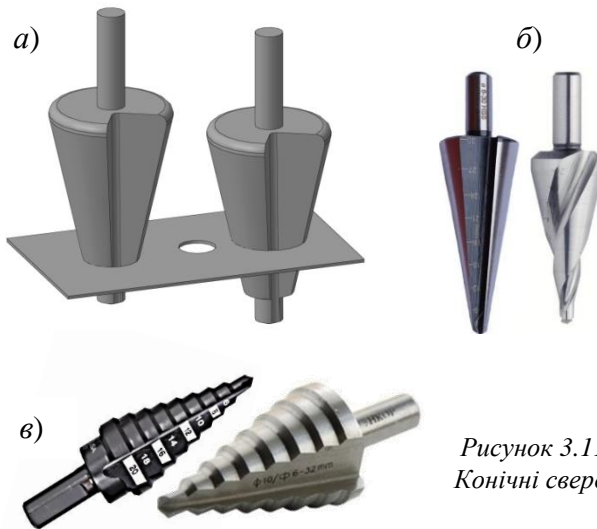


Рисунок 3.11 –
Конічні свердла

спіральні стружкові канавки (рис. 3.11 б). Різновид конічних свердел – ступінчасті свердла (рис. 3.11 в). Одне ступінчасте свердло можна використовувати для утворення отворів різних діаметрів.

3.1.5 Свердла для глибокого свердління. Під глибоким свердлінням розуміють свердління отворів на глибину, що перевищує діаметр свердла в 5 разів і більше. Через те що розміри конструктивних параметрів правого й лівого лез свердла абсолютно не збігаються, значення $\Delta \neq 0$ (див. формулу

3.1) і при $\frac{L_{отв}}{D_{отв}} > 5$ починає істотно впливати на свердло,

вигинаючи його. При цьому порушується прямолінійність осі отвору, концентричність отвору щодо зовнішніх поверхонь, циліндричність отвору на всій довжині.

Для запобігання відведенню осі свердла застосовують такі методи: збільшення жорсткості свердла, використання напрямних, підвищення точності виготовлення свердла.

Підвищення точності виготовлення свердла дозволяє

досягти відношення $\frac{L_{отв}}{D_{отв}} = 20$.

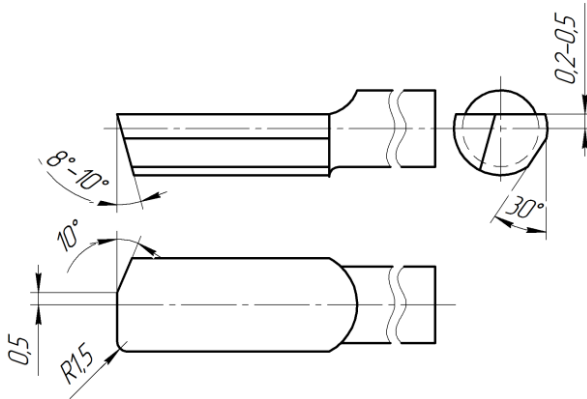


Рисунок 3.12 – Конструкція, що підвищує жорсткість

На рисунку 3.12 показано свердло у вигляді круглого стрижня. Така конструкція (без стружкових канавок) дозволяє забезпечити для інструменту максимальну жорсткість. Передня поверхня утворена як площина, що проходить вище від осі на

0,2—0,5 мм, залежно від розміру свердла. Головна різальна кромка спрямована під прямим кутом до осі свердла, допоміжна – зрізана під кутом 10° . Вершина відступає від осі свердла на 0,5 мм, радіус при вершині $r = 1—1,5$ мм. Задній кут дорівнює $8—10^\circ$. Уздовж робочої частини зрізана лиска під кутом $45—30^\circ$. Для забезпечення попереднього спрямування таке свердло починає роботу через кондукторну втулку або при задалегідь надсвердленому отворі. Свердло працює у важких умовах через труднощі з видаленням стружки і підведенням охолоджувальної рідини. Недоліком свердла є також недостатня надійність забезпечення прямолінійності осі отвору.

На рисунку 3.13 показане свердло, що в процесі роботи створює для себе напрямну. Воно складається з робочої частини довжиною 60—150 мм, яку виготовляють із швидкорізальної

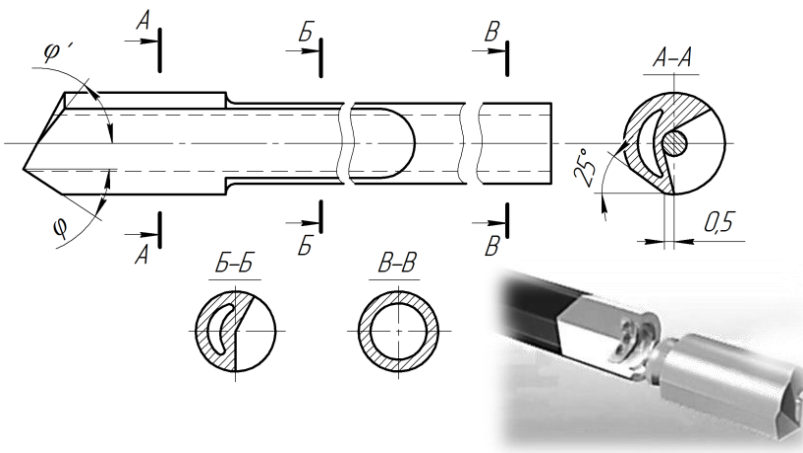


Рисунок 3.13 – Свердло, що утворює напрямну у вигляді стрижня

сталі або твердого сплаву, і приєднувальної – з конструкційної сталі, що являє собою довгу трубку. Робоча частина має на задній поверхні серпоподібний отвір (перетин Б-Б) для підведення до різальної кромки охолоджувальної рідини.

Свердло має кути φ і φ' . Вершина свердла зміщена від його осі на деяку відстань. Завдяки зміщенню утворюється конус, що

є упором свердлу і забезпечує йому напрям у процесі різання. Зміщення зазвичай беруть таким, що дорівнює 0,2—0,3 від діаметра свердла. Кут $\varphi = 50^\circ$, а кут $\varphi' < \varphi$ і його призначають длч того, щоб зрівноважити складові P_y , які діють на головну й допоміжну різальні кромки. Крім того, передня поверхня має форму канавки, дно якої виходить за вісь отвору (див. перетин А—А, рис. 3.13). Це утворює додаткову напрямну у вигляді стрижня.

Є свердла для глибокого свердління, що мають напрямні 6 (рис. 3.14), циліндричні поверхні яких ковзають по поверхні утвореного отвору і таким чином утримують свердло від відхилення щодо осі. Для забезпечення контакту напрямних із поверхнею деталі в заготовці 1 необхідно попередньо створити отвір відповідного діаметра на глибину, що забезпечить контакт їх поверхонь із поверхнею отвору, або використати напрямну

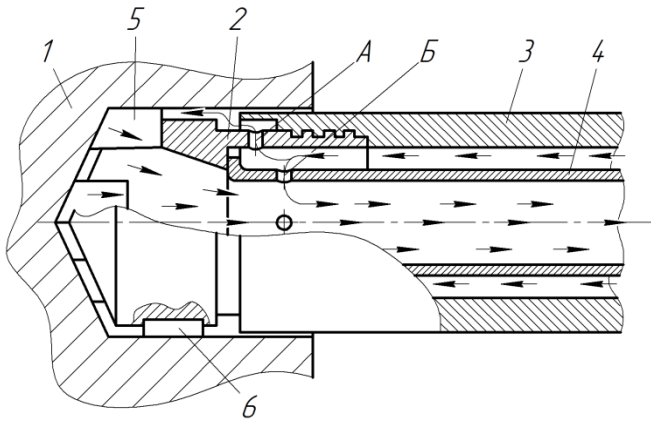


Рисунок 3.14 – Ежекторне свердління з циліндричними напрямними

втулку. Система для ежекторного свердління складається з головки 2 і штанг 3 і 4. Головка ежекторного свердла має різці 5, оснащені стандартними багатограними непереточуваними пластинами.

Змащувально-охолоджувальна рідина (ЗОР) під тиском подається між внутрішньою і зовнішньою штангами. Потік ЗОР

розділяється в щілини *A* і *B*. Та частина, яка потрапила до щілини *A*, надходить у зону різання для охолодження і вимивання стружки. Потік через щілину *B* спрямовується на вихід по внутрішній штанзі, створюючи в цій зоні знижений тиск, ежекторний ефект, завдяки цьому рідина й стружка висмоктуються із зони різання.

3.1.6 Свердла для кільцевого свердління. За звичайного свердління весь метал з отвору перетворюється на стружку. З метою економії металу використовують свердло для кільцевого свердління. Спрощено це труба, на торці якої є леза (рис. 3.15). Свердло вирізує кільцеву щілину, утворюючи поверхню отвору і стрижень, який можна використати як заготовку.



Рисунок 3.15 – Свердла для кільцевого свердління

3.2 Зенкери

3.2.1 Призначення і типи. Зенкери (від німецького *senken* – опускати, знижувати) значно поширені в машинобудуванні. Вони призначені для утворення циліндричних заглиблень під головки гвинтів (рис. 3.16 *a*), вирівнювання площин для гайок (рис. 3.16 *б*), збільшення діаметрів циліндричних отворів (рис. 3.16 *в*), утворених свердлінням, виливанням, куванням або штампуванням і для утворення фасок або базових поверхонь (рис. 3.16 *г*) [13].

Зенкери для збільшення діаметрів отворів застосовують для

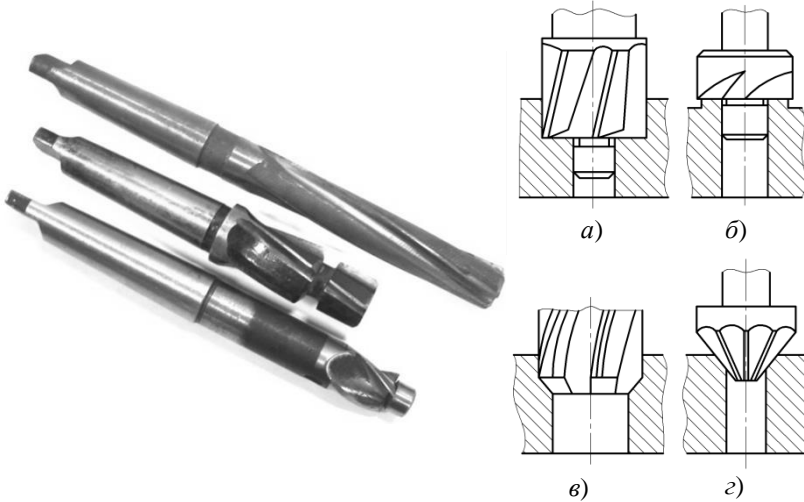


Рисунок 3.16 – Зенкери

остаточного оброблення отворів (зенкери № 2) і для попереднього оброблення отворів під розвертку (зенкери № 1). Відповідно до цього існує відмінність при визначенні

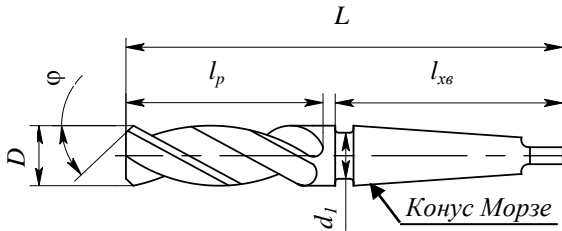


Рисунок 3.17 – Зенкер із хвостовиком

виконавчого діаметра зенкера: граничні відхилення в зенкері № 2 пов'язані з допуском на діаметр отвору, а в зенкері № 1 урахують ще й припуск для розвертки. За допомогою зенкера досягають точності 11-го квалітета. Для оброблення отворів діаметром 10—40 мм використовують монолітні зенкери з конічними хвостовиками (рис. 3.16, 3.17), а діаметром 32—80 мм – насадні (рис. 3.18). Складені насадні зенкери для діаметрів 50—100 мм зображені на рисунку 3.19.

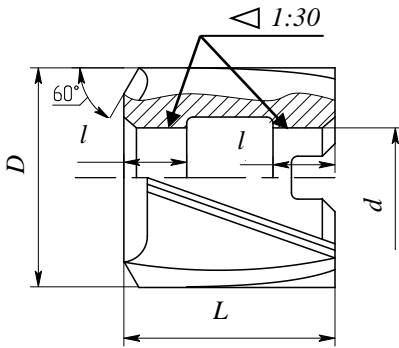


Рисунок 3.18 – Зенкер насадний суцільний

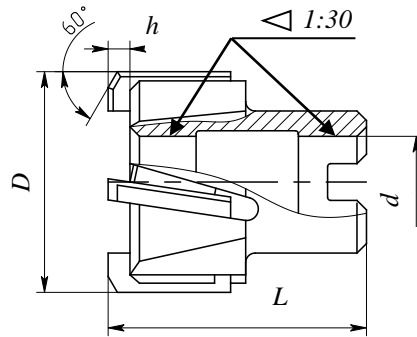


Рисунок 3.19 – Зенкер насадний із вставленими ножами

3.2.2 Конструктивні елементи зенкера. Основними конструктивними елементами зенкерів є: кількість канавок або зубів z , робоча частина l_p , що складається із різальної l_1 та калібрувальної l_2 частин, геометрія (передній γ та задній α кути, кут нахилу канавок ω , кут у плані ϕ , кут нахилу головної різальної кромки λ), профіль канавок, приєднувальна частина (довжина хвостовика l_{xe} та номер конуса Морзе або діаметр і довжина опорної поверхні l отвору) [16, 19].

У технологічному процесі виготовлення отвору зенкер займає проміжне місце між свердлом і розверткою. Відповідно до цього розроблена його конструкція. Він нагадує свердло, але з більшою кількістю лез, тому забезпечує краще спрямування під час роботи і меншу шорсткість обробленої поверхні порівняно зі свердлом. Зенкер не працює в суцільному матеріалі, отже, немає потреби в загостреній вершині з поперечною кромкою. Через це умови стружкоутворення під час роботи зенкера майже однакові вздовж усієї різальної кромки.

Кількість канавок. Зенкери зазвичай виготовляють із трьома або чотирма канавками. Зенкери малих і середніх діаметрів (10—40 мм) виготовляють із трьома канавками, а зенкери

великих діаметрів (32 мм і більше) – із чотирма і навіть шістьма канавками.

У тому разі, якщо зрізується великий припуск, то для

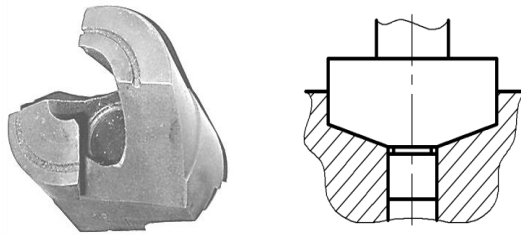


Рисунок 3.20 – Двозубий зенкер

збільшення простору для розміщення стружки застосовують зенкери з двома канавками, двозубі зенкери (рис. 3.20). Для подрібнення широкої стружки на задніх поверхнях лез зенкера утворені спеціальні канавки. Для спрямування інструменту під час різання використовують спеціальну

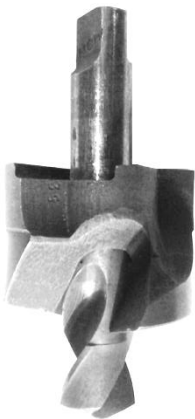


Рисунок 3.21 – Комбінований інструмент

циліндричну напрямку, що приєднується до нього з боку торця. Якщо замість напрямної до двозубого зенкера приєднати свердло (рис. 3.21), то такий, комбінований, інструмент можна використовувати для створення отворів у суцільному матеріалі.

Звичайні зенкери мають малий простір для розміщення стружки, внаслідок цього можливе погане її відведення із зони різання. Тому доводиться часто виводити зенкер з отвору для очищення від стружки. Двозубий зенкер цих недоліків не має. Його можна застосовувати при безперервній машинній подачі як для звичайних, так і для глибоких отворів (до 2 000—4 000 мм) діаметром від

28 до 300 мм.

У складених зенкерах діаметром до 58 мм чотири зуби, а понад 58 мм – шість.

Твердосплавні зенкери, оснащені твердим сплавом, звичайно виготовляють із трьома або чотирма канавками.

Різальна частина призначена для видалення всього припуску, тому її довжину вибирають залежно від глибини різання t (рис. 3.22):

$$l_1 = \frac{t + a}{\tan \omega},$$

де φ – головний кут у плані;

a – додаткова величина для полегшення входження зенкера в отвір, дорівнює $(0,5—1,0)t$.

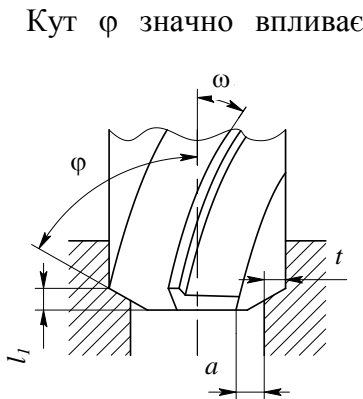


Рисунок 3.22 – Елементи
різальної частини

Кут φ значно впливає на форму і відведення стружки, особливо при утворенні суцільної стружки. Він призначається на підставі експериментальних даних. Під час оброблення сталі краще, якщо кут $\varphi = 60^\circ$. Причому для збільшення стійкості рекомендують робити перехідну кромку під кутом $\varphi_1 = 30^\circ$ довжиною $3S$ (рис. 3.23). Для зенкерів, які виготовляють на спеціалізованому підприємстві, довжина перехідної кромки встановлена $0,3—0,5$ мм для малих розмірів і $0,5—1,0$ мм –

для великих. Для чавуну кут φ беруть таким, що дорівнює 60° (рідше – 45°) без перехідної кромки. Для зенкерів, оснащених пластинками твердого сплаву, кут φ також дорівнює 60° .

Калібрувальна частина забезпечує якість оброблення отвору, спрямовує зенкер у процесі оброблення і є резервом для переточування різальної частини. Вона має на циліндрі стрічку шириною $0,8—2,0$ мм. Зі збільшенням ширини стрічки спостерігається більше налипання на неї стружки, і процес різання погіршується. Биття по стрічці не повинно перевищувати $0,03—0,04$ мм.

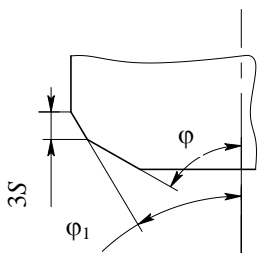


Рисунок 3.23 –
Перехідна кромка

Для полегшення процесу різання та відвернення можливого защемлення зенкера в отворі калібрувальна частина має обернену конусність, тобто діаметр робочої частини зенкера біля хвостовика менший за діаметр різальної частини на 0,04—0,08 мм на довжині 100 мм для зенкерів діаметром до 18 мм і на 0,05—0,10 мм – для зенкерів понад 18 мм.

У звичайних зенкерів із кутом $\varphi = 60^\circ$ за невеликої ширини стрічки можуть виникнути під час роботи великі вібрації. Збільшення ширини стрічки може їх усунути, але викликає налипання на неї стружки. Тому доцільніше замість збільшення ширини стрічки зробити ще одну додаткову перехідну кромку (фаску) на різальній частині під кутом 2° — 3° . Ця кромка ніби заклинює інструмент в отворі і тим самим знищує вібрації.

Геометрія. Кути визначають в інструментальній системі координат, зорієнтованій відносно вектора, дотичного до кола, що проходить через дану точку різальної кромки і лежить у площині, перпендикулярній до осі зенкера.

Для створення *заднього кута* зуб на різальній частині по задній поверхні заточують або до гостроти (рис. 3.24 а), або з утворенням невеликої стрічки шириною $f = 0,03$ — $0,05$ мм (рис. 3.24 б), що зменшує й полегшує контроль биття зубів на різальній частині.

Доцільно задню поверхню робити під двома кутами: під кутом $\alpha = 8$ — 10° на невеликій ділянці довжиною 0,6—1,5 мм залежно від діаметра зенкера, а далі під кутом $\alpha_1 = 15$ — 20° (рис. 3.24 в). Таку форму задньої поверхні застосовують для зенкерів із вставними зубами, а також для твердосплавних зенкерів як із припаяними пластинками, так і з механічним кріпленням. Для полегшення заточування й доведення зуба з твердого сплаву можна задню поверхню виконувати навіть під трьома кутами, наприклад, $\alpha = 10^\circ$, $\alpha_1 = 12^\circ$ і $\alpha_2 = 15^\circ$

(рис. 3.24 з). Тоді якщо зуб затупився, його заточують і доводять лише під кутом α .

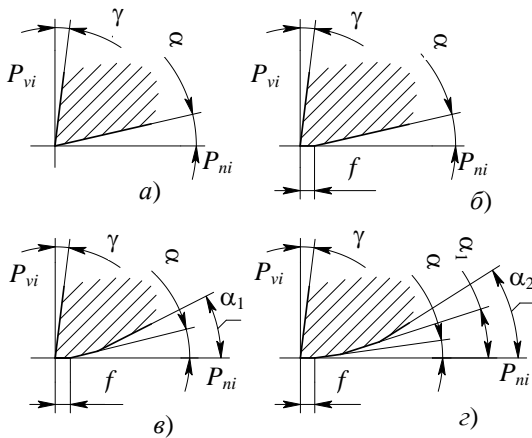


Рисунок 3.24 – Перетин леза зенкера
головною січною площиною

Для зенкерів із швидкорізальної сталі й особливо для твердосплавних биття головних різальних кромки має велике значення для правильної роботи інструменту. Величина биття, вимірювана по нормалі до головної різальної кромки, не повинна перевищувати 0,05—0,06 мм.

Задній кут звичайно призначають однаковим на різальній і калібрувальній частинах зенкера в межах 8—10°. Іноді на калібрувальній частині його зменшують до 5—6°.

Передній кут вибирають в основному залежно від властивостей оброблюваного матеріалу, а саме: для вуглецевої й легованої сталі середньої твердості у межах 8—12°; чавуну твердістю *HV* до 200 – у межах 6—10°; кольорових металів – 25—30°.

У зенкерах, які виготовляються на спеціалізованих підприємствах (без визначення умов використання), передній кут на зубах із швидкорізальної сталі 8°, із твердого сплаву $\gamma = 5^\circ$ і на передній поверхні утворюють фаску 1,5 мм.

Кут нахилу канавок. Зенкери виготовляють із гвинтовими, похилими і прямими канавками. Найчастіше зенкер має гвинтову канавку. Вона сприяє відведенню стружки в напрямку до хвостовика. Для утворення позитивного переднього кута напрям канавок повинен збігатися з напрямом різання. Кут

нахилу канавок ω дорівнює передньому куту в перерізі, паралельному осі зенкера γ_0 . Якщо $\operatorname{tg}\gamma_0 = \tan\gamma \sin\varphi$, то

$$\omega = \arctan(\tan\gamma \sin\varphi).$$

Крок гвинтової канавки дорівнює

$$p = \frac{\pi D}{\tan\omega}.$$

У стандартних зенкерах залежно від кута γ кут ω знаходиться у межах 10—25°.

У конструкціях насадних зенкерів із вставними зубами доводиться розміщувати їх у похилих пазах корпусу. В зенкерах, оснащених твердим сплавом, пластинки (переважно прямолінійні) припаюються також похило до осі. Тоді канавки на калібрувальній частині роблять гвинтовими і плавно сполучають із похилими канавками на різальній частині. У разі застосування гвинтових пластинок відпадає потреба в похилих пазах на корпусі.

Прямозубі зенкери більш технологічні і при правильному виборі інших геометричних параметрів забезпечують хорошу роботу. Прямі канавки широко використовують для зенкерів, оснащених твердим сплавом.

Кут нахилу головної різальної кромки λ вимірюють у площині різання. Він може бути додатним, від'ємним і дорівнювати нулю. Разом із переднім кутом λ визначає напрям сходження стружки.

При від'ємному значенні кута λ стружка спрямовується перед зенкером (вниз). Для наскрізних отворів доцільно застосовувати зенкери з від'ємним кутом λ . У цьому разі канавки на калібрувальній частині непотрібні. Завдяки тому, що стружка сходить попереду різальної частини, оброблена поверхня має меншу шорсткість через відсутність пошкоджень від стружки. Відсутність канавок на калібрувальній частині збільшує міцність інструменту. Доцільно застосовувати від'ємний кут λ у межах 15—25°.

При додатному куті λ стружка сходить у бік уже обробленої поверхні, тобто проти напрямую подачі (вгору). Тому зенкер повинен мати стружкові канавки.

Для можливості широкого використання рекомендують застосовувати зенкери універсального призначення, тобто як для наскрізних, так і для глухих отворів. Вони повинні мати позитивний кут λ у межах $10\text{—}15^\circ$.

У зенкерів, оснащених твердим сплавом, кут λ додатний або дорівнює нулю.

Профіль канавок. Зенкери видаляють велику кількість стружки, тому профіль канавки відіграє істотну роль. На виробництві набули поширення дві форми профілю: для зенкерів із трьома канавками і для зенкерів із чотирма канавками.

Перший профіль для діаметрів до 40 мм (рис. 3.25 а) характеризується такими параметрами: діаметр осердя $d = 7,23 \ln(D) - 12,05$, ширина пера $F \approx 0,46D$, величина зняття спинки $t = 0,25 \ln(D) - 0,12$, ширина стрічки $f = 0,03D + 0,7$.

Другий профіль для діаметрів 32—80 мм (рис. 3.25 б) характеризується такими параметрами: глибина канавки $h = 4,46 \ln(D) - 11,6$, радіус у западині біля передньої поверхні $r = 0,004 + 0,07D$, відстань від центра кола з радіусом r до осі зенкера $e = \sin \theta \left(\frac{D}{2} - h \right) - r \sqrt{2} \sin(45 - \theta)$, водночас найбільша відстань западини від верхньої точки циліндра $g = \frac{D}{2} - \cos \theta \left(\frac{D}{2} - h \right) - r \left[\sqrt{2} \cos(45 - \theta) - 1 \right]$. Кут $\theta = 65^\circ$. Центр дуги радіуса R , що окреслює спинку зуба, розміщений на лінії, відстань якої від осі кола радіусом r дорівнює $n = 0,37D + 3,95$. Значення радіуса R можна попередньо визначити за формулою $R = 0,47D + 5,16$, а потім воно уточнюється за умови, якщо коло

проходить через крайню точку стрічки f дотично до кола радіусом r .

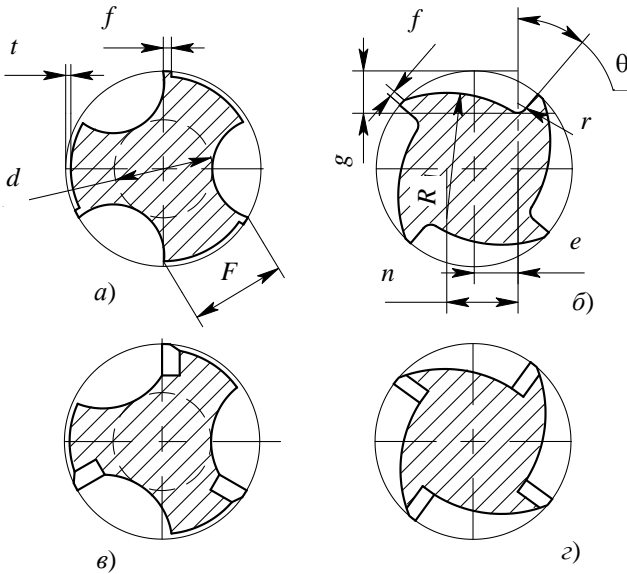


Рисунок 3.25 – Профілі канавок зенкерів

Розміри профілів канавок зенкерів із припаяними пластинками твердого сплаву мають ті самі співвідношення, що й зенкери зі швидкорізальної сталі (рис. 3.25 в, г).

Контур западини зенкера по кривій потребує спеціальних фрез. За відсутності їх крива може бути замінена ламаною. У цьому разі канавку доводиться фрезерувати за два проходи: кутовою фрезою з кутом профілю 110° і циліндричною, встановленою під кутом 30° до дотичної до кола, проведеного через вершину зуба.

3.2.3 Допуск на діаметр зенкера. Зенкери позначають як № 1 – для попереднього оброблення отвору під розвертку, та № 2 – для остаточного оброблення отвору. У обох випадках допуск на діаметр зенкера розраховують за умови оброблення

отвору за 11-м квалітетом. Він дорівнює чверті від допуску на розмір деталі

$$Td_i = 0,25TD_\phi$$

Допуск на зенкер розміщують нижче від верхнього відхилення розміру деталі на величину h_t (рис. 3.26). Це необхідно для того, щоб за наявності похибок центрування інструменту, неточності шпинделя, поширення пластичної зони на лезах за межі траєкторії обертання вершин дійсний розмір деталі все ж таки не виходив за допустимі межі. Зазвичай h_t беруть таким, що дорівнює $0,33TD_\phi$. Тоді верхнє відхилення діаметра зенкера № 2 дорівнює

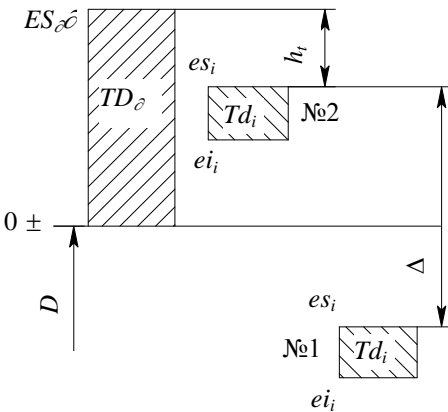


Рисунок 3.26 – Положення поля допуску зенкера № 1 та зенкера № 2 щодо допуску на деталь

$$es_i = ES_\phi - h_t = ES_\phi - 0,33TD_\phi,$$

нижнє відхилення

$$ei_i = es_i - Td_i = es_i - 0,25TD_\phi.$$

Граничні відхилення діаметра зенкера № 1 ураховують припуск для розвертки Δ :

$$es_i = ES_\phi - 0,33TD_\phi - \Delta,$$

$$ei_i = es_i - 0,25TD_\phi - \Delta.$$

Номінальний розмір діаметра зенкера дорівнює номінальному розміру отвору.

Припуск для розвертки залежить від діаметра отвору:

$$\Delta = 0,003D + 0,17 \text{ мм.}$$

3.2.4 Присьднувальна частина. Зенкери стандартної конструкції діаметром від 10 до 40 мм забезпечуються конічним хвостовиком. Хвостовик із конусом Морзе забезпечує надійне центрування інструменту, що дозволяє зменшити вібрації й поліпшити якість обробленої поверхні.

Зенкери діаметром від 32 мм і вище мають отвір для встановлення на оправці. Оправка також має конічний

хвостовик. Розміри приєднувальної поверхні насадного зенкера визначають за формулами

$$l = 8,5 \ln(D) - 18,8, \quad d = 21,9 \ln(D) - 63,7.$$

Необхідно враховувати, що через вібрації насадні зенкери, оснащені твердим сплавом, повинні використовуватися з меншими швидкостями різання, ніж ті, в яких робоча й приєднувальна частини складають одне ціле.

У процесі заточування зенкера після кожного зношення зменшується довжина його робочої частини. Для збільшення кількості переточувань рекомендується в зенкерах із хвостовиком на торці висвердлювати отвір, а в насадних – збільшувати довжину передньої частини конічного отвору (до внутрішньої виточки) приблизно на 30—50 % порівнянно з розміром, визначеним за емпіричною формулою. Така конструкція, крім продовження терміну експлуатації, забезпечує також надійне кріплення зенкера на оправці після неодноразових переточувань.

Складені зенкери виготовляють із конічним хвостовиком діаметром від 30 до 50 мм, насадні – від 50 до 100 мм. Діаметр отвору при встановленні на оправці дорівнює

$$d = 26,2 \ln(D) - 81.$$

Діаметр внутрішньої виточки в зенкерах, що приєднуються до оправки, на 1 мм більший від діаметра отвору. Розміри канавки під торцеву шпонку призначають за відповідним стандартом.

3.2.5 Послідовність проектування зенкера. Розрахунок зенкера виконують залежно від вихідних даних (табл. 3.1).

Таблиця 3.2 – Послідовність проектування

1	2
1	Призначити конструкцію зенкера (з хвостовиком, насадний, складений і т. ін.)
2	Розрахувати довжину зенкера
3	Визначити довжину різальної частини та її конструктивні параметри

Продовження таблиці 3.2

1	2
4	Визначити довжину калібрувальної частин
5	Визначити конструктивні параметри приєднувальної поверхні
6	Призначити кількість зубів
7	Розрахувати параметри профілю стружкових канавок
8	Розрахувати кут нахилу і крок стружкової канавки
9	Визначити виконавчий розмір зенкера
10	Призначити геометрію зуба

3.2.6 Робоче креслення зенкера. На робочому кресленні повинен бути зображений зенкер (див. рис. 3.17—3.19) з усіма розмірами, допусками на них і зазначена шорсткість поверхонь. Повинні бути параметри стружкової канавки (див. рис. 3.25), геометрія зуба на різальній та калібрувальній частинах (див. рис. 3.24).

Допуск на радіальне биття зубів зенкера показати умовними позначеннями на кресленні. Зазначити значення оберненої конусності. На діаметр приєднувальної поверхні d призначають допуск за шостим квалітетом. Зенкери з хвостовиком виготовляють зварними. У зоні зварювання не повинно бути підпалів, тріщин та інших дефектів.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментального матеріалу;
- твердість леза біля різальних кромок, HRC 62—65;
- марку та твердість матеріалу хвостовика чи корпусу, HRC 35—45);
- маркування (товарний знак виробника, номінальний діаметр, номер зенкера за призначенням, марку інструментального матеріалу);
- робоча частина не повинна мати зон із зменшеним умістом вуглецю зі зниженою твердістю.

3.3 Розвертки

3.3.1 Призначення і типи розверток. Розвертка (російською «развёртка», оскільки збільшує діаметр під час обертання) призначена для виготовлення точних отворів. Залежно від технологічних вимог за допомогою розверток можна отримати отвори з точністю від 10 до 6 квалітетів за шорсткості обробленої поверхні $Ra = (6,3—0,4)$. Розвертку застосовують після попереднього оброблення отворів зенкером, розточувальним різцем або свердлом, її можна використовувати як чистовий або чорновий інструмент.

Правильна робота розвертки залежить від конструкції та якості її виготовлення, умов експлуатації (режиму різання, охолодження, величини припуску, якості заточування й доведення різальних кромки).

Існує багато типів розверток. Вони відрізняються залежно від характеру застосування, форми оброблюваного отвору, форми приєднувальної поверхні, конструкції зубів, регулювання на розмір, інструментального матеріалу. Є суцільні насадні з високолегованої сталі (рис. 3.27 а) або оснащені напаяними пластинами твердого сплаву, ручні з хвостовиком ((рис. 3.27 б,

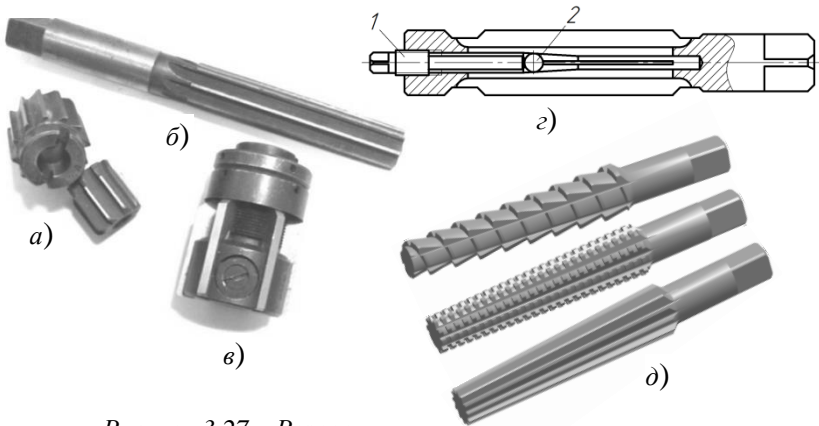


Рисунок 3.27 – Розвертки

рис. 3.28) або з конусом Морзе (рис. 3.29)), машинні як із хвостовиком, так і з вставними зубами із високолегованої сталі (рис. 3.27 в) чи оснащені багатограними непереточуваними

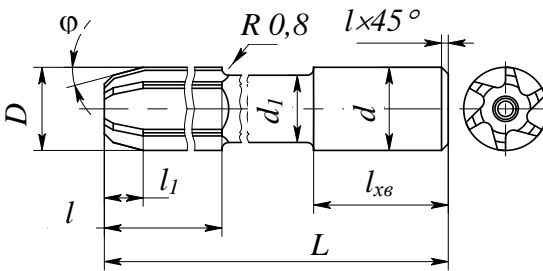


Рисунок 3.28 – Розвертка з циліндричним хвостовиком

пластинами, існують розвертки, розмір яких можна регулювати (рис. 3.27 з), і конічні (рис. 3.27 д) – під конічні штифти, конічну різь, конус Морзе, метричний конус, конусність якого 1 : 30).

Регулювати розмір розвертки можна через загвинчування гвинта 1 (рис. 3.27 з), що заштовхує кульку 2 в конічний отвір. Завдяки тому, що через стружкові канавки до осі розвертки прорізані спеціальні щілини, леза пружно деформуються і діаметр розвертки збільшується. Для утворення конічної поверхні з попередньо створеного циліндричного отвору використовують комплект розверток (рис. 3.27 д).

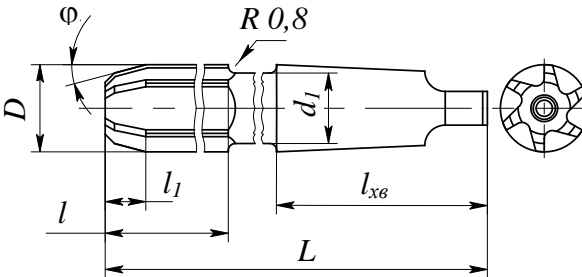


Рисунок 3.29 – Розвертка з конічним хвостовиком

Суцільні розвертки не довговічні через швидке зменшення діаметра після переточувань. Тому краще використовувати розвертки із вставними зубами, які можна замінювати

після втрати розміру або регулювати (рис. 3.27 в). Допустиме регулювання коливається в межах 1—2 мм.

Корпус розвертки виготовляють у вигляді циліндра або багатогранника з кількістю граней, що дорівнює кількості зубів. Циліндр як тіло обертання легше виготовити і контролювати. Через це такий корпус використовують частіше.

Конструкція складеної розвертки не може забезпечити точного розміщення різальних кромek усіх ножів на одному діаметрі. Тому після складання її шліфують по діаметру з подальшим заточуванням ножів.

3.3.2 Конструктивні параметри циліндричних розверток.

Основними конструктивними елементами розвертки є різальна й калібрувальна частини, кількість і напрям зубів, геометрія, нерівномірний крок зубів, профіль канавки, приєднувальна частина.

Різальна частина. Кут φ різальної частини визначає співвідношення між шириною і товщиною стружки, складові зусилля різання. Він впливає на видалення стружки, зношення інструменту та якість обробленої поверхні.

Зміна співвідношення складових зусилля різання змінює величину пружних деформацій на обробленій поверхні, що приводить до зміни розміру отвору. Малий кут φ сприяє плавному входу й виходу розвертки.

Згідно з дослідженням І. І. Семенченка [19] розбиття, конусність та овальність отвору з кутами φ від 5 до 45° знаходяться в межах допуску, хоча кращі результати показували розвертки з $\varphi = 15^\circ$. Проте шорсткість обробленої поверхні під час роботи розвертки з кутом $\varphi = (20\text{—}40^\circ)$ вища, ніж з кутом $\varphi = 15^\circ$.

На цій підставі можна дійти висновку, що оптимальним кутом φ для машинних розверток під час оброблення сталі та інших в'язких металів є 15° (рис. 3.30). Для крихких матеріалів, наприклад чавуну, кут φ призначається таким, що дорівнює 3—5°.

Для полегшення входу в отвір діаметр торця менший від діаметра розвертки на 1,3—1,4 припуску. Крім того, на кінці

різальної частини повинна бути фаска під кутом 45° для запобігання поломкам зубів. Перехід від різальної до калібрувальної частини повинен бути заокругленим. Розвертки з $\varphi = 45^\circ$ (рис. 3.31) рекомендується застосовувати (з урахуванням технологічного критерію) для попереднього оброблення.

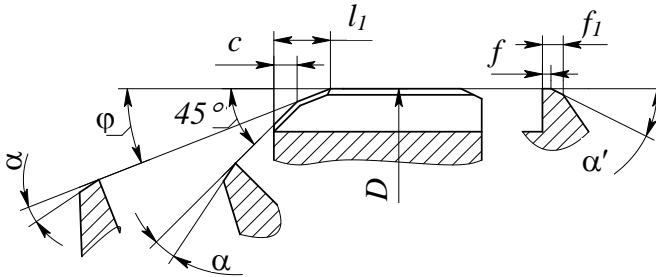


Рисунок 3.30 – Геометрія розвертки з кутом $\varphi = 5-15^\circ$

Довжину різальної частини визначають за формулою

$$l_1 = \frac{D - D_2}{2} \operatorname{ctg} \varphi,$$

де D – діаметр розвертки;

$D_2 = D - (1,3-1,4)\delta$ – діаметр торця (δ припуск).

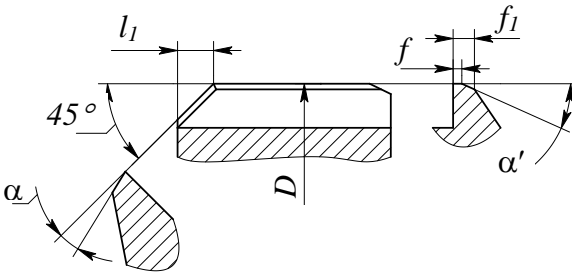


Рисунок 3.31 – Геометрія розвертки з $\varphi = 45^\circ$

Під час зрізування великих припусків використовують розвертку з різальною частиною у вигляді двох кільцевих циліндричних сходинок із D_1 і D_2 (рис. 3.32) шириною $l = (2-4)$ мм. Сходинок занижені по діаметру щодо номінального

діаметра розвертки відповідно на 0,2 і 0,4 мм. На торці є фаска довжиною 2 мм під кутом 45° і забезпечена заднім кутом.

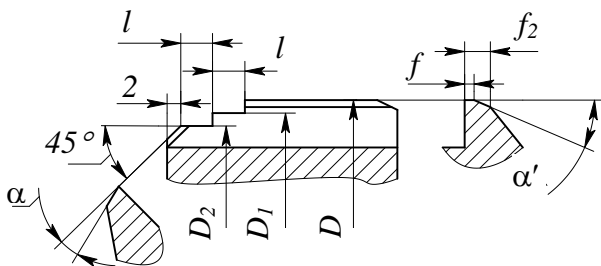


Рисунок 3.32 – Геометрія розвертки з кільцевою різальною частиною

Через малий припуск для розвертки її вісь із максимальною точністю повинна збігатися з віссю оброблюваного отвору. Тому для надійної орієнтації різальної частини ручної розвертки її кут $\varphi = 1,5^\circ$.

Калібрувальна частина. Вона призначена для спрямування розвертки під час роботи і є запасом для переточування. Крім того, вона забезпечує точність форми і розмірів отвору, необхідну шорсткість обробленої поверхні. Калібрувальна частина машинної розвертки складається із короткої циліндричної ділянки (0,25—0,3 від діаметра розвертки), призначеної для калібрування отвору, і конічної ділянки зі стоншенням у напрямку до хвостовика. Стоншення зменшує тертя розвертки по поверхні отвору. Величина його при жорсткому закріпленні 0,04—0,06 мм, при закріпленні в плаваючому патроні 0,08—0,10 мм. Якщо до отвору ставлять особливі вимоги щодо точності розміру й шорсткості поверхні, то можна застосовувати розвертки без стоншення.

Калібрувальна частина розвертки з кільцевою різальною частиною (див. рис. 3.32) виконана у вигляді циліндра. Розвертку виконують без стоншення до хвостовика, а тому калібрувальна частина коротша порівняно зі звичайними розвертками.

Для зменшення тертя на калібрувальній частині взагалі рекомендується застосовувати короткі розвертки з довжиною калібрувальної частини 0,25—0,3 від діаметра розвертки. Такі розвертки також без стоншеної частини, але за показниками точності, шорсткості й стійкості не поступаються звичайним. Ліквідація стоншеної частини здешевлює інструмент завдяки економії інструментального матеріалу і зменшує викривлення розвертки під час гартування.

Така зміна конструкції привела до появи дискових розверток [19] товщиною 0,2 діаметра, в яких різальна й калібрувальна частини збігаються. Вони нагадують пазові фрези із загостреними зубами. Зуби мають широку стрічку (приблизно 0,8—1,2 мм), на якій задній кут дорівнює нулю. Передній кут – 5—7°. Така розвертка під час роботи потребує спрямування.

Радіальне биття зубів розверток не повинно перевищувати для шліфованих 0,02 і доведених – 0,01 мм.

Кількість зубів залежить від діаметра та призначення розвертки. Для можливості вимірювання діаметра розвертки мікрометром це завжди парне число (табл. 3.3).

Складені розвертки мають меншу кількість зубів, оскільки вставні ножі й елементи кріплення вимагають більшого місця для їх розміщення на корпусі розвертки.

Таблиця 3.3 – Залежність кількості зубів суцільної розвертки від діаметра

Діаметр, мм	3—4	11—19	20—30	32—45	46—50
Кількість зубів z	6	8	10	12	14

Напрям зубів. Розвертки бувають із прямими паралельними або похилими до осі зубами, а також із гвинтовими, що забезпечують малу шорсткість поверхні й велику стійкість. Розвертка з прямими й похилими зубами створює отвір, цілком задовільний за точністю та якістю оброблення. Виготовлення, заточування і контроль таких розверток значно простіші, ніж розверток із гвинтовими зубами.

Розвертки з гвинтовими зубами застосовують для оброблення отворів із поздовжніми канавками. При цьому напрям гвинтових зубів виконують зворотним до напрямку обертання інструменту. Це необхідно для попередження самозатягування і заїдання розвертки. Кут нахилу канавки ω вибирають залежно від оброблюваного матеріалу: для сірого чавуну і твердої сталі $\omega = 7\text{—}8^\circ$, для ковкого чавуну і сталі $\omega = 12\text{—}20^\circ$, для алюмінію і легких сплавів $\omega = 35\text{—}45^\circ$.

Геометрія. Зі збільшенням заднього кута α полегшуються умови різання, але при цьому зменшується кут загострення, підвищується інтенсивність зношення різальних кромки. Під час оброблення сталі 45 із задніми кутами $15\text{—}20^\circ$ стійкість інструменту зменшується до 3 разів порівняно з $\alpha = 8^\circ$. Після переточування розвертка з великим кутом α швидко втрачає свій розмір. Тому призначають $\alpha = 5\text{—}8^\circ$. Для чистових розверток кут α призначають менший, ніж для чорнових.

Заточування зуба на різальній частині виконують до гостроти, а на калібрувальній частині залишають невелику стрічку f (див. рис. 5.4, 5.5, 5.6), причому кут α' після стрічки має таке саме значення, що й α .

Задній кут у твердосплавних розвертках на стрічці шириною $0,3\text{—}0,5$ мм дорівнює $5\text{—}6^\circ$, а далі $\alpha = 10\text{—}12^\circ$.

Передній кут γ в розвертках дорівнює нулю, тобто передня поверхня направлена по радіусу. Це його оптимальне значення.

Додатний кут γ повинен бути в межах $5\text{—}10^\circ$ і «виправдовує» себе під час оброблення в'язких металів, запобігаючи налипанню стружки біля різальної кромки. Його величина може становити до 10° і під час оброблення сталі, якщо потрібно отримати поверхню отвору з особливо низькою шорсткістю. Але при цьому швидкість різання не повинна перевищувати 2 м/хв.

Передній кут у твердосплавних розверток дорівнює нулю, але біля вершини передбачена фаска ($0,2\text{—}0,3$ мм) з кутом $\gamma_\phi = (-5^\circ)$.

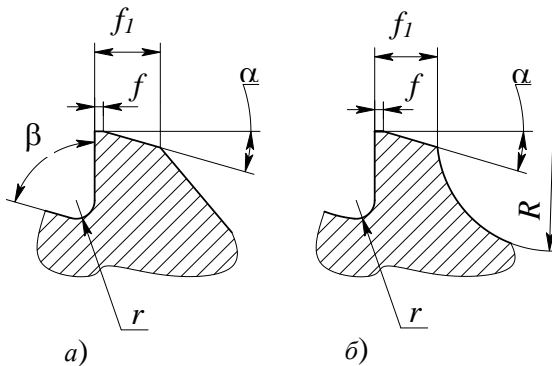


Рисунок 3.33 – Профілі стружкової канавки

Профіль канавки.
 Форма стружкової канавки не має великого значення. Проте в розверток малого діаметра роблять пряму спинку зуба (рис. 3.33 а), а для середніх і великих розмірів рекомендується застосовувати профіль із контуром спинки

зуба, окресленим по радіусу (рис. 3.33 б). Щоб уникнути появи тріщин під час гартування, перехід від передньої поверхні до спинки заокруглений. Розміри профілю наведені в таблиці 3.4.

Стрічка шириною f забезпечує спрямування розвертки в отворі, сприяє його калібруванню, полегшує контроль діаметра розвертки. Ширина стрічки в машинних розвертках дорівнює 0,05—0,5 мм (залежно від розміру розвертки, табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Розміри профілю канавок розверток

Діаметр розвертки	Кількість зубів	f , мм	f_1 , мм	β°	R , мм	r , мм
3—5,5	6	0,05—0,15	0,25—0,4	85	—	0,3
5,5—10		0,1—0,2	0,5—0,7	85—90	—	0,5
10—20	8	0,1—0,25	0,6—1,0	75—80	—	0,75
20—28		0,15—0,3	1,0—1,2	—	25	
28—34	10	0,2—0,4	1,3	—	20	1,0
34—45	12	0,2—0,4	1,4—1,6	—	15	
45—50		0,25—0,5	1,7—1,8	—	20	

Зменшення ширини стрічки зменшує стійкість інструменту, а збільшення – збільшує тертя. Під час оброблення в'язких матеріалів для уникнення налипання стружки ширина стрічки повинна бути в межах 0,05—0,08 мм. Задній кут на стрічці

дорівнює нулю. Проте можна рекомендувати також заточування або доведення стрічки на спеціальних верстатах або пристосуваннях із заднім кутом $30'—1^{\circ}30'$.

Нерівномірне розподілення зубів по колу. Розвертки з рівномірним кроком можуть забезпечувати необхідну точність і шорсткість обробленої поверхні. Проте для попередження появи на поверхні отвору поздовжніх рисок необхідний нерівномірний крок зубів.

Причиною отримання рифленої поверхні (рисок) є періодичні зміни навантаження на зуби розвертки, обумовлені неоднорідністю оброблюваного матеріалу – твердими включеннями. Під час контакту з такими ділянками розвертка вигинається, і зуби з рівномірним кроком, заглиблюючись в оброблену поверхню на протилежному боці в одному й тому самому місці, спотворюють її. При нерівномірному кроці зуби заглиблюються в різних місцях, внаслідок цього відхилення форми отвору зменшується.

Нерівномірності кроку можна досягти різними методами, проте кожний з них передбачає наявність не менше ніж двох зубів, що містяться на одному діаметрі. Це необхідно для зручності вимірювання розміру розвертки мікрометром. Можна поступово збільшувати крок зубів на деяку величину Δ по колу (рис. 3.34 а), збільшувати кроки на ту саму величину Δ в один та в інший бік до середини кола (рис. 3.34 б) або, розміщуючи зуби

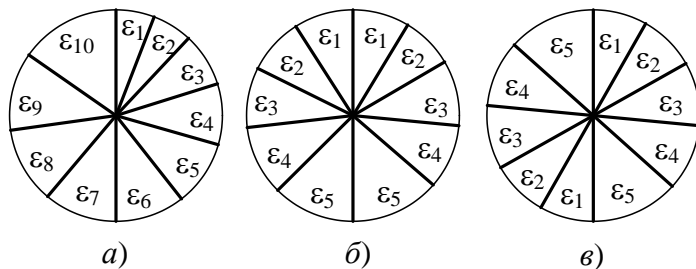


Рисунок 3.34 – Варіанти нерівномірних кутових кроків

попарно на одному діаметрі, збільшувати крок від зуба до зуба на величину Δ також до середини кола (рис. 3.34 в).

Призначити значення кроків можна, скориставшись таблицею 3.5 [12]. У кожному рядку сума значень становить 180° . Отже, для першої схеми (рис. 3.34 а, десять зубів) беремо четвертий ряд кроків, а потім від середини продовжуємо другим. Друга схема (рис. 3.34 б) утворюється третім рядком таблиці при відліку вліво і вправо. Третя схема (рис. 3.34 в) реалізується також третім рядком.

Нерівномірність кроку зубів можна отримати також шляхом виготовлення похилих до осі канавок із змінним напрямом для кожних двох сусідніх зубів. Такий метод застосовують у конструкціях складених розверток.

Довжину подовженої робочої частини розвертки з циліндричним хвостовиком (рис. 5.2) можна визначити за формулою

$$l = 7,65D + 1,83.$$

Таблиця 3.5 – Кутові кроки зубів розвертки ε

Кроків на півколі	Числове значення							
	ε_1	ε_2	ε_3	ε_4	ε_5	ε_6	ε_7	ε_8
3	58°01'	59°53'	62°05'					
4	41°53'	44°05'	46°06'	47°56'				
5	33°15'	34°32'	36°00'	37°28'	38°45'			
6	27°33'	28°28'	29°34'	30°30'	31°25'	32°36'		
7	23°30'	24°15'	25°00'	25°55'	26°25'	27°00'	27°55'	
8	20°34'	21°08'	21°41'	22°13'	22°46'	23°20'	23°53'	24°25'

Довжина подовженої робочої частини розвертки з конічним хвостовиком визначається як

$$l = 3D + 36.$$

Довжина робочої частини суцільних і складених насадних розверток (рис. 3.35) призначається залежно від діаметра [1]

так: при $D \leq 50$ мм $l = 30$ мм, при $50 < D \leq 80$ $l = 32$ мм і при $80 < D \leq 100$ $l = 36$ мм.

Напря́м зубі́в. Розвертки мають прямі паралельні або похилі до осі зуби, але є й гвинтові. Останні забезпечують низьку шорсткість обробленої поверхні. Розвертка з прямими і похилими зубами утворює точний та якісний отвір. Виготовлення, заточування і контроль таких розверток значно простіші, ніж розверток із гвинтовими зубами. Проте для оброблення отворів із поздовжніми канавками застосовують розвертки з гвинтовими зубами. Напря́м гвинтових зубі́в повинен бути зворотним до напряму обертання. Це попереджує самозатягування (утворення мікрорізи на якісній поверхні отвору) і заклинювання розвертки.

Приєднувальна частина. Машинні розвертки мають циліндричну (для діаметрів 3—10 мм) або конічну (конус Морзе, конус 1:30) приєднувальну частину. Розвертки з хвостовиком виготовляють із конусом Морзе і довгою шийкою, що дозволяє обробляти глибокі отвори. Разом із робочою частиною, шийкою і хвостовиком довжина такої розвертки дорівнює

$$L = 6D + 85.$$

Довжина всієї розвертки з циліндричним хвостовиком

$$L = 49,7 \ln D + 21,9.$$

Насадні розвертки забезпечуються конічним отвором із конусністю 1:30. Розміри приєднувальної поверхні в цих розвертках (рис. 3.35) такі:

$$d = 0,39D + 1,89, \quad l_3 = 0,14D + 6,7.$$

Довжина насадної розвертки

$$L = 0,47D + 26,69.$$

Похибки форми і розмірів обробленого розверткою отвору залежать не лише від стану верстата, а й від стану приєднувальних пристроїв. Через незбіг осей отвору і розвертки спотворюється його форма і збільшується діаметр. Для одержання заданої форми використовують плаваючі оправки

для закріплення в них розверток. Завдяки шарнірному закріпленню розвертка при входженні в отвір має можливість переміщуватися в різних напрямках. При цьому зуби розвертки рівномірно навантажені і зрізують однакову стружку з усіх боків, не спотворюючи отвору.

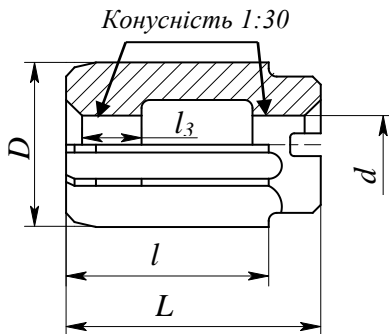


Рисунок 3.35 – Суцільна насадна розвертка

призначенні допуску необхідно враховувати, що розвертка повинна якомога більше переточуватися, оброблена поверхня повинна задовольняти вимоги точності й шорсткості, величина допуску повинна бути досяжною під час виготовлення інструменту на круглошліфувальних верстатах.

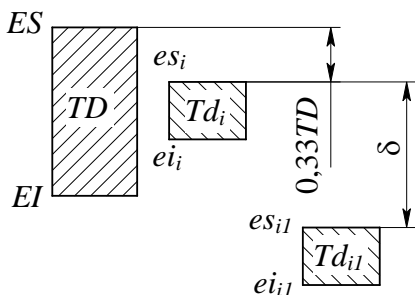


Рисунок 3.36 – Схема відносного положення допуску розвертки і деталі

3.3.3 Допуск на діаметр розвертки. Правильне призначення допуску на розвертку забезпечує максимальне використання дорогого інструменту і точність розмірів обробленої поверхні. При

Розвертка в процесі роботи подібно до свердла і зенкера збільшує розмір отвору порівняно з фактичним розміром розвертки. Тому, щоб уникнути браку, доводиться зменшувати верхнє відхилення діаметра розвертки es_i порівняно з верхнім відхиленням діаметра отвору ES . Звичайно ця величина дорівнює $0,33TD$ (рис. 3.36).

Допуск дорівнює третині допуску на діаметр отвору. Тоді

$$es_i = ES - 0,33TD, \quad (3.5)$$

$$ei_i = es_i - Td_i = es_i - 0,33TD . \quad (3.6)$$

Розвертки бувають чистові і під доведення.

Формули (3.5), (3.6) визначають відхилення діаметра чистової розвертки. Відхилення діаметра розвертки під доведення повинні враховувати припуск на оброблення отвору δ :

$$es_{i1} = ES - 0,33TD - \delta ,$$

$$ei_{i1} = es_{i1} - Td_{i1} = es_{i1} - 0,33TD - \delta .$$

3.3.4 Послідовність проектування розвертки. Розрахунок розвертки виконують залежно від вихідних даних (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Послідовність проектування

1	Призначити конструкцію розвертки (з хвостовиком, насадна, складена і т. д.)
2	Визначити конструктивні параметри різальної частини та її довжину
3	Визначити конструкцію і довжину калібрувальної частин
4	Призначити кількість зубів та їх кутові кроки
5	Вибрати параметри профілю стружкових канавок
6	Призначити геометрію зуба
7	Призначити кут нахилу стружкової канавки
8	Розрахувати довжину розвертки
9	Визначити конструктивні параметри приєднувальної поверхні
10	Визначити виконавчий розмір розвертки

3.3.5 Робоче креслення. На робочому кресленні повинна бути зображена розвертка (див. рис. 3.28, 3.29, 3.35) з усіма розмірами, допусками на них та зазначена шорсткість поверхонь. Повинні бути параметри стружкової канавки (див. рис. 3.33), геометрія зуба на різальній та калібрувальній частинах (див. рис. 3.30, 3.31, 3.32). Необхідно показати кутові кроки зубів (див. рис. 3.34).

Допуск на радіальне биття зубів розвертки показати умовними позначеннями на кресленні. Зазначити значення

оберненої конусності. На діаметр приєднувальної поверхні d призначають допуск за п'ятим квалітетом.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментального матеріалу;
- твердість леза біля різальних кромок, HRC 62—65;
- марку і твердість матеріалу корпусу, HRC 35—45);
- маркування (товарний знак виробника, номінальний діаметр та умовне позначення допуску отвору, призначення розвертки, марка інструментального матеріалу);
- робоча частина не повинна мати зон із зменшеним умістом вуглецю зі зниженою твердістю.

Контрольні питання

- 1 Визначення осьового інструменту.
- 2 Яку кількість різальних кромок має перове свердло?
- 3 З якою метою в перовому свердлі поєднані два леза?
- 4 Недоліки та переваги перового свердла.
- 5 Як зменшити вплив перетинки на процес різання спіральним свердлом?
- 6 Від чого залежить значення кута 2φ ?
- 7 Як змінюється значення переднього кута спірального свердла залежно від відстані точки різальної кромки до осі?
- 8 Які бувають форми задньої поверхні спірального свердла?
- 9 Як впливає форма задньої поверхні на значення заднього кута вздовж різальної кромки?
- 10 Розрахунок кінематичного заднього кута спірального свердла.
- 11 Оснащення свердел стандартними БНП та тврдосплавними голівками.
- 12 Центрувальні свердла, їх використання.
- 13 Галузі використання конічних свердел.
- 14 Різновиди конічних свердел.
- 15 Що таке глибоке свердління?
- 16 Методи запобігання відведенню осі свердла.
- 17 Конструкція свердла з підвищеною жорсткістю.
- 18 Конструкція свердла з напрямними.
- 19 Причина утворення ежкторного ефекту в голівці для глибокого свердління.

- 20 Мета та умови використання свердел для кільцевого свердління.
- 21 Типи зенкерів.
- 22 Зенкери № 1 і № 2.
- 23 Двозубий зенкер.
- 24 Різальна частина зенкера.
- 25 Допуск на діаметр зенкера.
- 26 Кількість і профіль стружкових канавок у зенкері.
- 27 Призначення і типи розверток.
- 28 Конструкції різальної частини.
- 29 Кількість зубів у розвертці.
- 30 З якої причини виготовляють розвертки з гвинтовими зубами?
- 31 Напрямок гвинтових зубів розвертки.
- 32 Необхідність нерівномірного кутового кроку зубів розвертки.
- 33 Виконавчий розмір розвертки.

4 ФРЕЗИ

4.1 Типи фрез

Фреза – це багатозубий інструмент, який для утворення головного руху різання обертається навколо своєї осі.

Переважні форми робочої частини показані на рисунку 4.1.

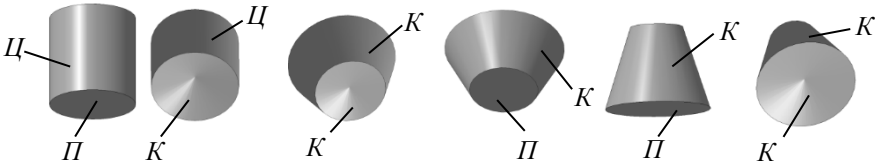


Рисунок 4.1 – Поверхні, що обмежують тіло фрези

Вона обмежена поверхнею, що може складатися з таких елементарних форм, як циліндр (Ц), площина (П) та конус (К), (рис. 3), на яких розміщені різальні кромки лез, тобто координатні лінії цих поверхонь – пряма і коло. Проте твірною обмежувальної поверхні може бути й крива довільної форми.

Фрези використовують для оброблення площин, пазів, фасонних поверхонь, тіл обертання, а також для розрізування.

У процесі фрезерування із заготовкою зазвичай контактують декілька зубів, що знімають стружку змінної товщини. Завдяки великій сумарній довжині різальних кромки та високій швидкості фрезерування (яка можлива унаслідок охолодження зубів через періодичний вихід їх із зони різання) забезпечується висока продуктивність процесу.

Типи фрез (рис. 4.1) розрізняють за конструкцією різальних зубів і способом їх заточування (фрези із загостреними та затилованими зубами), за формою поверхні, на якій розміщені різальні кромки (циліндричні, дискові, торцеві, кінцеві, кутові, фасонні), напрямом зубів відносно осі фрези (прямозубі, гвинтові, з похилими зубами), формою приєднувальної поверхні (насадні, з хвостовиком), конструкцією (цілісні, складені), профілем зубів (різенарізні, зубонарізні).

Циліндрична фреза (рис. 4.2 а) не має окремих різальної й калібрувальної частин. Її різальні кромки розміщені на поверхні одного циліндра.



Рисунок 4.2 – Типи фрез

Кінцева фреза також має різальні кромки на циліндричній поверхні. Проте співвідношення довжини й діаметра кінцевої фрези (рис. 4.2 б) значно більше, ніж циліндричної. Крім того, кінцева фреза має короткі різальні кромки й на торці.

Різновидом кінцевої фрези є шпонкова фреза (рис. 4.2 в). Особливістю її використання (а відповідно, її конструкції) є те, що вона заглиблюється в метал уздовж осі. Тому різальні кромки на торці досягають осі (на відміну від кінцевої фрези).

Великий об'єм стружки потребує найбільш можливого об'єму стружкових канавок, тобто за найменшої кількості зубів. Тому їх два.

Дискова фреза (рис. 4.2 з) має різальні кромки на циліндричній поверхні. Використовують для відрізування, розрізування, прорізування пазів на шліцьових валах і пазів для сегментних шпонок. При відрізуванні ширина і діаметр фрези особливого значення не мають. При утворенні пазів шліцьових валів і шпонкових пазів ширина та діаметр фрези повинні відповідати параметрам виготовлюваних деталей.

Фреза для Т-подібних пазів (рис. 4.2 д) має хвостовик, а робоча частина нагадує кінцеву фрезу, проте з довжиною, що відповідає висоті паза.

Різальні кромки можуть розміщуватися на кінцевих поверхнях (рис. 4.2 е) – кутові фрези, або на поверхнях із криволінійною твірною (рис. 4.2 є) – фасонні фрези.

Для утворення плоских поверхонь значної ширини використовують торцеві фрези (рис. 4.2 ж). Різальна частина має невелику довжину, лише для перевищення товщини зрізаного шару, і за формою це переважно циліндр або конус. Різальні кромки калібрувальної частини розміщені на торці.

4.2 Форми і кількість зубів

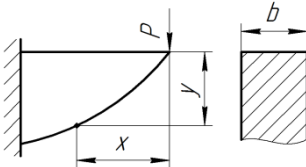


Рисунок 4.3 – Балка
рівної міцності

Зуб фрези можна уявити як консоль, навантажену силами різання. Для забезпечення міцності це повинна бути балка однакового опору (рис. 4. 3). Для такої форми напруження залишаються незмінними в усіх перерізах, а ординату профіля зуба можна визначити за формулою

$$y = \sqrt{\frac{6Px}{b\sigma}}, \quad (4.1)$$

де P – сила різання;

x – відстань (абсциса) від вершини;

b – ширина зуба;

σ – допустиме напруження вигину.

Розрахована таким чином форма зуба (рис. 4.4 а) має найбільшу міцність на вигин, оскільки спинка зуба, оформлена по параболі, забезпечує рівну міцність в усіх перерізах по висоті зуба.

Недоліком цієї форми є необхідність для кожної висоти зуба мати свою складну фасонну дискову фрезу. Тому з метою спрощення профілю спинки зуба таких фрез параболу часто

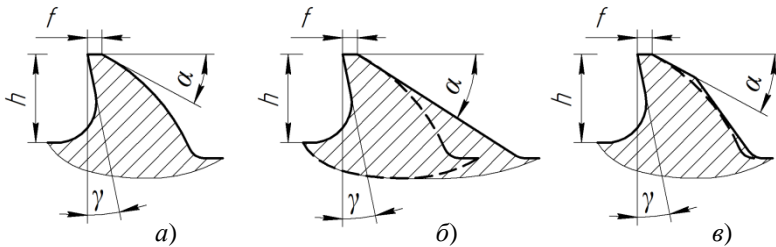


Рисунок 4.4 – Форми загострених зубів

заміняють прямою лінією (рис. 4.4 б).

Іноколи зуб може мати ламану спинку (рис. 4.4 в). Отримують ці зуби подвійним фрезеруванням кутовими фрезами. Хоча при цьому кількість операцій збільшується вдвічі, такі зуби виготовити простіше. При цьому використовують стандартні кутові фрези з прямолінійними різальними кромками.

На практиці такі форми загострених зубів дістали назви відповідно: параболічна, трапецієподібна, посилена.

Зуб фрези обмежений передньою і задньою поверхнями. Залежно від утворення та відновлення після зношення цих поверхонь зуби бувають гострозаточеними й затилованими. Якщо форма різальної кромки не має значення, то інструмент відновлюють переточуванням на всіх робочих поверхнях – передній і задній. Такий інструмент називають гострозаточеним.

Але фасонні фрези повинні мати незмінну різальну кромку після всіх переточувань. Якщо різальна кромка – це переріз задньої і передньої поверхонь, то створюється такої форми задня поверхня, лінія перетину якої з площиною (передньою поверхнею) не змінюється. Утворення таких зубів називається затилуванням, а фрези – затилованими. Під час затилування різець 1 рухається траєкторією 2 (рис. 4.5 а) утворюючи відповідну задню поверхню. Траєкторія затилування може бути логарифмічною спіраллю, дугою кола, архімедовою спіраллю.

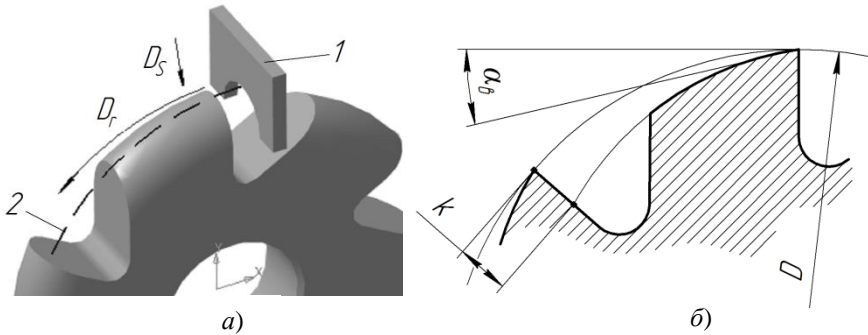


Рисунок 4.5 – Затилування

Остання створюється двома рухами: обертальним – D_r , і поступальним у напрямку осі фрези – D_s . Величину затилування вимірюють на передній поверхні наступного зуба (рис. 4.5 б) і визначають за формулою

$$k = \frac{\pi D}{z_{\text{фр}}} \operatorname{tg} \alpha_n,$$

де D – діаметр фрези;

$z_{\text{фр}}$ – кількість зубів;

α_n – задній кут на вершині зуба.

Щоб форма зуба не змінювалася, використовують операцію затилування. Основними перевагами затилованих фрез є те, що під час переточувань по передній поверхні, по-перше, профіль різальної кромки зуба в усіх радіальних перерізах залишається

незмінним, а по-друге, сама операція є дуже простою і нетрудомісткою (переточують лише по площині).

У той самий час фрези із затилованими зубами мають ряд істотних недоліків, таких як менша кількість зубів, ніж у фрезах із загостреними зубами, зневуглицьовані ділянки на задній поверхні у фрезах із нешлифованим профілем зубів.

Кількість зубів впливає на якість обробленої поверхні, стійкість, продуктивність, простір для розміщення стружки, вартість виготовлення та експлуатації. Кількість зубів залежить від діаметра фрези, форми й розмірів зубів і западин, характеру оброблення (чорнове або чистове).

Під час вибору кількості зубів необхідно дотримуватися умови рівномірності фрезерування.

Для фрез із прямими зубами вона забезпечується за умови, якщо в роботі одночасно бере участь не менше ніж два зуби, тобто

$$z = \frac{360\xi}{\theta}, \quad (4.2)$$

де $\xi \geq 2$ – коефіцієнт рівномірності;

$\theta = \arccos(1 - t/R)$ – кут контакту, залежить від зовнішнього радіуса фрези й глибини різання (рис. 4.6).

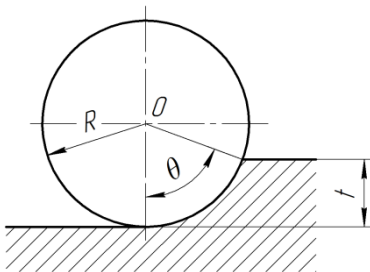


Рисунок 4.6 – Визначення кута контакту

Для фрез із гвинтовими зубами коефіцієнт рівномірності залежить від кількості зубів z , діаметра фрези D , кута нахилу зубів ω і ширини фрезерування B .

Найбільшу нерівномірність одержують, якщо коефіцієнт дорівнює 1,5; 2,5; 3,5 і т. ін., яка поступово зменшується у разі наближення до цілого числа (1, 2, 3 та ін.).

Ширина фрезерування задана

кресленням, тому діаметр фрези, оптимальний коефіцієнт рівномірності визначають шляхом вибору кількості зубів та кута нахилу їх до осі.

Для фрез із гвинтовими зубами визначають зведену кількість зубів z_{np} у площині $N - N$, перпендикулярній до їх напрямку (рис. 4.7). Зведена кількість зубів – це та кількість зубів, яку має фреза з радіусом $R_{ел}$, що відповідає радіусу кривизни еліпса в напрямку малої його осі b :

$$z_{np} = \frac{2\pi R_{ел}}{P_N}. \quad (4.3)$$

Відомо, що $R_{ел} = R / \cos^2 \omega$. Оскільки крок зубів у нормальному

перерізі $P_N = P_m \cos \omega = \frac{2\pi R}{z} \cos \omega$, то

$$z_{np} = z / \cos^3 \omega. \quad (4.4)$$

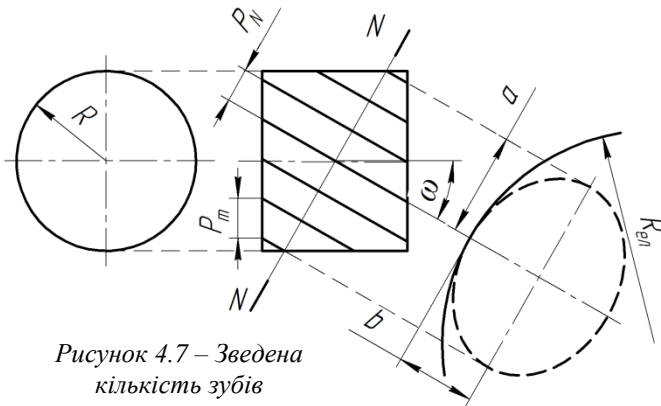


Рисунок 4.7 – Зведена кількість зубів

4.3 Циліндричні фрези

4.3.1 Конструктивні елементи. Циліндричні фрези належать до групи фрез із загостреними зубами. Їх конструктивні елементи (рис. 4.8) – це зовнішній діаметр D , довжина L , діаметр приєднувального отвору d , довжина приєднувальної

поверхні l , кількість зубів z , кути тіла зуба і западини, форма зуба, геометрія зуба.

Діаметр фрези є найважливішим параметром її конструкції. Із збільшенням діаметра підвищуються її стійкість і вібростійкість, але знижується продуктивність. Діаметр впливає на прогинання оправки. Для його розрахунку застосовують емпіричну формулу [16], що враховує всі ці чинники:

$$D = 0,2B^{0,26}t^{0,09}S_z^{0,06}l^{0,78}y^{-0,26}, \quad (4.5)$$

де S_z – подача на зуб;

l – відстань між опорами оправки;

y – допустиме прогинання оправки (при чорновому фрезеруванні $y = 0,4$ мм, чистовому – $y = 0,2$ мм).

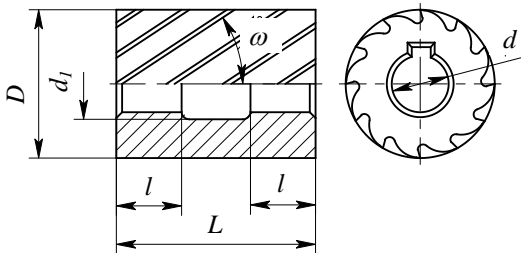


Рисунок 4.8 – Основні розміри циліндричної фрези

Іноді елементами, що визначають діаметр фрези, є діаметр приєднувального отвору і глибина фрезерування [19]. Тоді для визначення зовнішнього діаметра за відомої висоти зуба можна скористатися залежністю

$$D_1 = (1,6, \dots, 2,5)d, \quad (4.6)$$

де D_1 – діаметр кола западин;

d – діаметр приєднувального отвору.

Для зменшення номенклатури фрез визначений діаметр зводять до значення із стандартного розмірного ряду: 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160.

Діаметр приєднувального отвору визначають відповідно до силового навантаження під час фрезерування та механічних властивостей матеріалу оправки. Співвідношення між ним та зовнішнім діаметром наведені в таблиці 4.1, а також його можна визначити за емпіричною формулою

$$d = D/2,5. \quad (4.7)$$

Діаметр виточки дорівнює

$$d_1 = d + 2. \quad (4.8)$$

Для фрез із дрібними зубами, призначених для чистового оброблення, розміри отворів можна взяти меншими, ніж для фрез із великими зубами. Для фрез, оснащених твердим сплавом (вони працюють за високих швидкостей різання), розміри отворів повинні бути більшими, ніж для швидкорізальних.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані співвідношення між зовнішнім та приєднувальним діаметрами циліндричної фрези

Діаметр отвору, мм	16	19	22	27	32	40	50	60
Діаметр фрези, мм	40	50	63	63	80—100	100—125	125—160	160—200

Зі збільшенням зубів зменшується шорсткість обробленої поверхні. Але при цьому збільшуються робота різання і виділення тепла. Циліндричні фрези з дрібними зубами застосовують в основному для остаточного оброблення, тобто для зняття тонкого шару металу.

Кількість зубів для фрез із загостреними зубами завжди призначають парною для полегшення вимірювання діаметра.

Під час роботи фрези з гвинтовими зубами зміна перерізу стружки вздовж різальної кромки зуба призводить до різких змін навантаження, що спричиняє поштовхи, удари, вібрацію. Проте завдяки вибору відповідних умов можна досягти постійності сумарного перерізу стружки на всіх зубах, що одночасно працюють, незважаючи на те, що кожний із цих зубів має змінний переріз. Унаслідок цього сумарна колова сила та крутний момент також будуть постійними, і фреза працюватиме рівномірно.

Для фрез із гвинтовими зубами рівномірність фрезерування залежить від кількості зубів z , діаметра фрези D , кута нахилу зубів ω , ширини фрезерування B і коефіцієнта ξ .

Якщо ширина фрезерування задана кресленням, то після призначення діаметра фрези і кількості її зубів для забезпечення цілого числа коефіцієнта рівномірності ξ визначають кут нахилу зубів до осі за формулою

$$\omega = \arctan\left(\frac{\xi\pi D}{Bz}\right). \quad (4.9)$$

Відповідно до формули (4.9) для забезпечення рівномірності фрезерування можна змінювати кількість зубів фрези. Але це не завжди дозволяє досягти бажаного результату, оскільки кількість зубів – завжди ціле число, що обмежує точність цього методу.

Стандартні фрези не можуть забезпечити умови для досягнення оптимального коефіцієнта рівномірності фрезерування, оскільки не розраховані на конкретного споживача (з певними значеннями D , B , z , ω). Тому для них призначають коефіцієнт $\xi = 2-3$, за якого різниця між максимальним і мінімальним значеннями сил різання доходять до 20 %.

Форма зубів і западин. Вибір кількості зубів впливає на форму, розміри зуба і западини. Стружкові канавки мають велике значення для кожного інструменту й особливо для того, який працює в обмежених умовах. Об'єм западини, її профіль, плавність сполучень повинні бути такими, щоб утворена стружка не захаращувалася і не запресовувалася в западині, а вільно виходила сама чи за допомогою охолоджувальної рідини. Цьому сприяють не лише правильна форма стружкової канавки, а й шорсткість її поверхні.

Здебільшого інструменти виходять з ладу через затискання стружки в канавках. Під час конструювання фрез особливу увагу необхідно звернути на елементи, що впливають на розміри стружкових канавок. Крім форми спинки, такими елементами є висота зуба і радіус заокруглення западини. Форма зубів і западин повинна забезпечувати міцність зубів, сприяти утворенню найбільшого простору для стружки та найкращому її

відведенню, допускати найбільшу кількість переточувань, запобігати появі тріщин під час термічного оброблення.

Для циліндричних фрез найбільш придатним є зуб із заокругленою спинкою (див. рис. 4.4 *a*). Якщо розглядати зуб як балку однакового опору, то форма його повинна бути окреслена параболою. Висоту зуба h призначають у межах 0,—0,45 від кроку по колу. Для кращого розміщення і сходження стружки радіус заокруглення r повинен бути в межах 0,4—0,75 висоти зуба (більший коефіцієнт для фрез меншого діаметра). Проте значення його обмежується висотою зуба і площиною передньої поверхні. Довжина передньої поверхні впливає на кількість переточувань за умови збереження прийнятого переднього кута γ без додаткового переточування по передній поверхні. Спинка зуба може бути окреслена по дузі кола радіусом R , що залежить від кількості зубів і приблизно дорівнює 0,3—0,45 від діаметра фрези. При виборі його необхідно враховувати, щоб дотична в точці сполучення дуги радіусом R із фаскою f проходила під кутом α_1 , на 10—15° більшим, ніж задній кут α . При недотриманні цієї умови різко змінюється ширина фаски f під час переточувань. Фрезерування канавок у цих фрезах здійснюється спеціально спроектованою фрезою за один прохід. Форма зуба забезпечує прийнятну кількість переточувань. При цьому простір для розміщення стружки достатній.

Для циліндричних фрез поширеною є форма зуба у вигляді трапеції (див. рис. 4.4 *b*). Її в основному застосовують для фрез, призначених для чистового оброблення. Заточують такі фрези по задній поверхні, внаслідок цього зменшується висота зуба h з одночасним збільшенням ширини фаски f . Висота зуба h дорівнює 0,5—0,65 від кроку по колу. Заокруглення біля дна западини $r = 0,5—2,0$ мм. Задній кут α утворюється під час заточувань. Ширина фаски $f = 0,5—2,0$ мм.

Дугу радіуса R можна замінити ламаною лінією (див. рис. 4.4 *в*). Така форма створюється під час подвійного фрезерування. Спочатку западину фрезерують кутовою фрезою, а потім спинку зуба зрізують циліндричною фрезою під кутом

α_1 , що дорівнює $20\text{--}30^\circ$. У результаті цього зуб на вершині формується під двома кутами: α – задній кут; α_1 – кут спинки. Всі інші конструктивні параметри зуба такі самі, як у зубі із заокругленою спинкою.

Зуб заточують до гостроти або із залишенням невеликої стрічки близько $0,02\text{--}0,03$ мм. Наявність стрічки полегшує вимірювання діаметра фрези і биття вершин її зубів.

За співвідношенням діаметра й кількості зубів циліндричні фрези поділяють на фрези з великими та дрібними зубами. Відповідно до цього рекомендують конструктивні параметри зубів (табл. 4.2).

Довжину фрези L призначається залежно від ширини фрезерування відповідно до стандартного ряду: 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160. При цьому довжину приєднувальної поверхні (див. рис. 4.8) розраховують за емпіричною формулою

$$l = 0,22L + 1. \quad (4.10)$$

Одержане значення l округлюють до цілого числа.

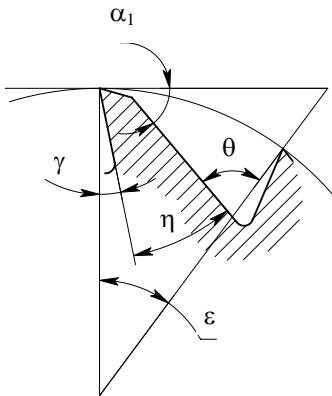


Рисунок 4.9 – Кути тіла зуба та западини

Міцність зуба і простір для розміщення стружки разом з іншими параметрами (ширина зуба, кількість зубів, глибина западини) характеризуються кутами η і θ (рис. 4.9). Для загострених монолітних фрез кут η не повинен бути меншим $47\text{--}52^\circ$, і лише у виняткових випадках він може бути в межах $30\text{--}40^\circ$. Кут η можна визначити як

$$\eta = 90 - \gamma - \alpha_1. \quad (4.11)$$

Під час конструювання нових фрез та аналізування фрез, зображених на робочих кресленнях, щоб уникнути поломки зубів, необхідно перевірити кут η .

Кут θ визначають за формулою

$$\theta = \gamma + \eta + \epsilon. \quad (4.12)$$

Таблиця 4.2 – Конструктивні параметри зубів циліндричних фрез

Тип	Із дрібними зубами					Із великими зубами			
	D	40	50	63	80	100	50	63	80
h	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	8		10	
r	1,5	2,0	2,5			2,5		3,5	
f	0,6			0,8		1,2	1,5		
z	10	12	14	16	18	6	8	10	12

4.3.2 Геометрія зубів циліндричної фрези. Зуб фрези обмежений робочими поверхнями, положення яких у просторі визначається геометрією.

Основне призначення *заднього кута* α полягає в зменшенні тертя задньої поверхні зуба по обробленій поверхні в процесі різання. На вибір заднього кута впливають характер оброблення і призначення фрези. За відсутності особливих вимог щодо точності й шорсткості оброблення для фрез із дрібними зубами задній кут беруть таким, що дорівнює 16° , для фрез із великими зубами – 12° . За більших значень заднього кута зменшується міцність різального клина. Крім того, з підвищенням величини заднього кута зростає зношення різальної кромки в радіальному напрямі, що впливає на точність оброблення.

Основне призначення *переднього кута* γ полягає в зменшенні роботи, що витрачається на пластичну деформацію стружки, яка видаляється в процесі різання. Його призначають залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Рекомендовані значення переднього кута γ°

Оброблюваний матеріал		Матеріал лека	
		Швидкорізальна сталь	Твердий сплав
Сталь за σ_s , кг/мм ²	до 60	+20	+15
	від 60 до 100	+15	+5—(-5)
	понад 100	+12—(+10)	(-10)—(+15)
Чавун		+5—(+15)	+5—(-5)

4.3.3 Послідовність розрахунків циліндричної фрези. Залежно від наявних вихідних даних розрахунок циліндричної фрези виконують в дещо відмінних послідовностях.

Перший варіант

- 1 *Розрахувати зовнішній діаметр фрези.*
- 2 *Визначити діаметр приєднувальної поверхні (за формулою чи за таблицею).*
- 3 *Розрахувати кількість зубів.*
- 4 *Призначити форму зуба та визначити його параметри.*
- 5 *Розрахувати кут нахилу зубів.*
- 6 *Перевірити кут тіла зуба.*
- 7 *Призначити довжину фрези.*
- 8 *Розрахувати довжину приєднувальної поверхні та діаметр виточки.*
- 9 *Призначити геометрію зуба.*
- 10 *Відповідно до стандарту призначити параметри шпонкового паза.*

Другий варіант

- 1 *Розрахувати діаметр приєднувальної поверхні.*
- 2 *Розрахувати (або призначити за таблицею) діаметр фрези.*
- 3 *Розрахувати кількість зубів.*
- 4 *Призначити форму зуба та визначити його параметри.*
- 5 *Розрахувати кут нахилу зубів.*
- 6 *Перевірити кут тіла зуба.*
- 7 *Призначити довжину фрези.*
- 8 *Розрахувати довжину приєднувальної поверхні та діаметр виточки.*
- 9 *Призначити геометрію зуба.*
- 10 *Відповідно до стандарту призначити параметри шпонкового паза.*

4.3.4 Робоче креслення. На робочому кресленні повинна бути зображена циліндрична фреза (див. рис. 4.7) з усіма розмірами, допусками на них та зазначена шорсткість кожної поверхні. Повинні бути параметри зубів (див. рис. 4.4) з геометрією.

Допуск на радіальне биття зубців фрези показати умовними позначеннями на кресленні. На діаметр приєднувальної поверхні d призначають допуск за шостим квалітетом.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментальної сталі;
- твердість робочої частини, HRC 62—65;
- маркування;
- робоча частина не повинна мати зон із зменшеним вмістом вуглецю із зниженою твердістю.

4.4 Конструювання «гнізд» для базування та закріплення багатогранних непереточуваних пластин

4.4.1 Механізм реалізації схеми S. Залежно від умов контакту поверхні деталі та вихідної інструментальної поверхні (точковий чи лінійний) формується корпус інструмента і відповідно розміщується багатогранна непереточувана пластинка (БНП). Поверхні на корпусі, що контактують з БНП, є базовими і дістали назву «гнізда» (рис. 4.10).

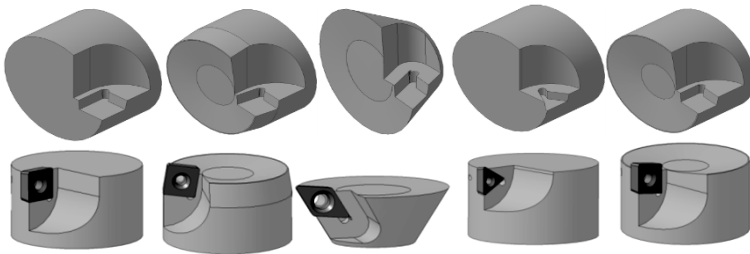


Рисунок 4.10 – Розміщення БНП на корпусі фрези

Найпоширенішою схемою замкнення є схема S, а механізм, який її реалізує, – гвинт із конічною головкою.

Скориставшись теорією розмірного ланцюга, можна визначити геометричні та кінематичні зв'язки між розмірами БНП, «гнізда» та закріплювального гвинта. За номінальним розміром та допуском вихідної ланки визначаємо відстань від вершини «гнізда» до осі нарізного отвору та мінімальну величину ходу гвинта при закріпленні пластини.

На рисунку 4.11 а показаний вузол закріплення пластини 2 у «гнізді» 3 за допомогою гвинта з конічною головкою 1. Вихідною ланкою є A_{Σ} , номінальний розмір якої дорівнює 0.

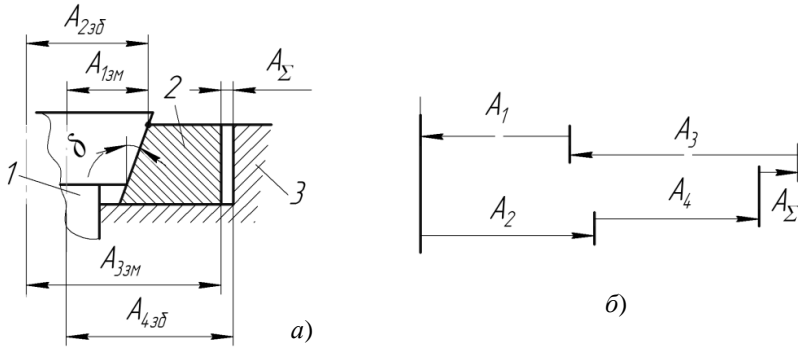


Рисунок 4.11 – Механізм реалізації схеми S

Рівняння розмірного ланцюга (рис. 4.11 б) таке:

$$A_{\Sigma} = \sum A_{3\bar{d}} - \sum A_{3M} = A_2 + A_4 - A_1 - A_3 = 0.$$

Номінальні розміри ланок A_2 та A_3 цього рівняння визначаються конструктивними розмірами БНП (рис. 4.12): ланка $A_2 = d/2$, ланка $A_3 = n$ (або $A_3 = m$ залежно від розміщення БНП у «гнізді»).

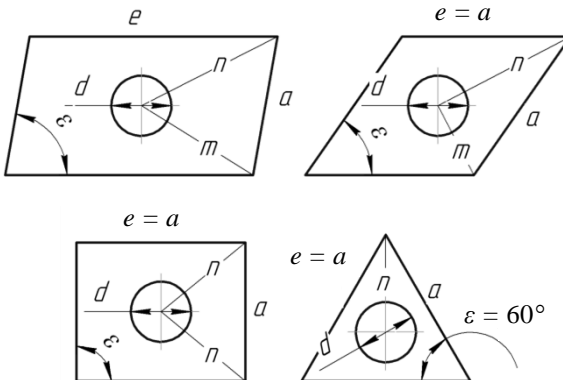


Рисунок 4.12 – Конструктивні параметри деяких БНП

Ланка A_1 також залежить від A_2 : $A_1 < A_2$. Тоді

$$A_4 = A_1 + A_3 - A_2.$$

Для найпоширеніших форм (див. рис. 4.12) параметри n , m визначають за формулами:

$$n = \frac{(k-1)\sqrt{e^2 + 2ae \cos(\varepsilon) + a^2}}{6},$$

$$m = \frac{(k-1)\sqrt{e^2 - 2ae \cos(\varepsilon) + a^2}}{6},$$

де k – кількість вершин у вибраній формі пластини.

Допуски на ланки A_2 та A_3 визначає фірма-виробник БНП, допуск на A_1 – за 12-м квалітетом, допуск на A_4 – за 8-м квалітетом. Тоді допуск на вихідну ланку

$$T_{\Sigma} = T_{A_2} + T_{A_3} + T_{A_4} + T_{A_1}.$$

Тобто $A_{\Sigma \min} = 0$, $A_{\Sigma \max} = T_{\Sigma}$. Звідси визначаємо величину ходу

гвинта h при закріпленні пластини $h = \frac{A_{\Sigma \max}}{\tan \delta}$.

4.4.2 Послідовність проектування фрези з БНП. Фрези, оснащені багатограними непереточуваними пластинами проектують у такій послідовності.

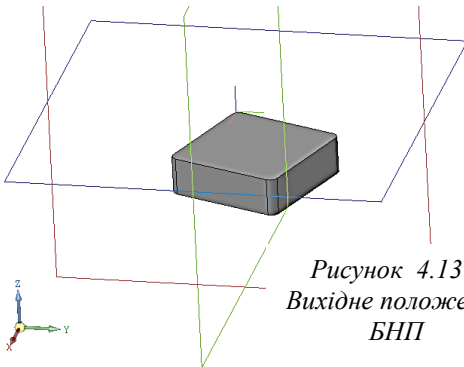


Рисунок 4.13 –
Вихідне положення
БНП

Вибрати з каталога БНП, яка за формою, розмірами та геометрією найбільш задовольняє вимоги конструкції нового (сконструйованого) інструмента.

Встановити її в системі координат лух максимально наближено до схеми, показаній

на рисунку 4.10, тобто зорієнтувати різальні кромки по поверхнях, що обмежують корпус фрези (рис. 4.13).

Визначити кути повороту θ_1 та θ_2 . Проаналізувати наближеність одержаної геометрії в статичній системі координат до заданих (оптимальних) значень.

Повернути БНП навколо осей x , y на кути θ_1 та θ_2 .

На поверхні, що обмежує корпус інструмента (рис. 4.14 а), відповідно до кількості й форми лез розмістити БНП (рис. 4.14 б).

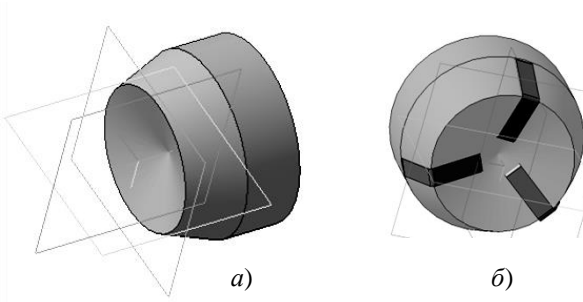


Рисунок 4.14 – Розміщення БНП на корпусі

Вирізати «гнізда» (рис. 4.15 а), створити стружкові канавки (рис. 4.15 б) і виконати інше необхідне конструкторське доопрацювання (рис. 4.15 в).

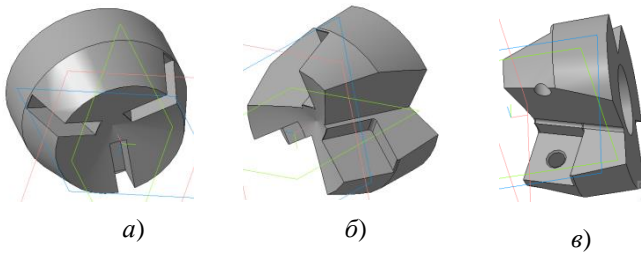


Рисунок 4.15 – Вирізування «гнізд» та конструкторське доопрацювання»

Контрольні питання

- 1 Переважні форми робочої частини фрез.
- 2 Призначення фрез.
- 3 Типи фрез.

- 4 Форма і кількість зубів.
- 5 Визначення гострозаточених фрез.
- 6 Визначення затилованих фрез.
- 7 Які можуть бути траєкторії затилювання?
- 8 Як розраховують і де вимірюють величину затилювання?
- 9 З якою метою затилюють фрези?
- 10 Що таке коефіцієнт рівномірності фрезерування?
- 11 Зведена кількість зубів у фрезах із гвинтовим зубом.
- 12 Конструктивні елементи циліндричної фрези.
- 13 Від чого залежить діаметр циліндричної фрези?
- 14 Які параметри визначають кут нахилу зубів циліндричної фрези?
- 15 Яка послідовність розрахунків циліндричної фрези?
- 16 Які механізми використовують для закріплення БНП на корпусі фрези?
- 17 Розрахунок ходу гвинта з конічною головкою для закріплення БНП.
- 18 Послідовність проектування фрез із БНП.

5 ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ НАРІЗУВАННЯ РІЗІ

5.1 Різці

Різенарізувальні різці застосовують для нарізування всіх видів різей. Вони прості за конструкцією, технологічні й універсальні. Одним і тим самим різцем можна нарізувати зовнішню та внутрішню різь різного діаметра і кроку на циліндричній та конічній поверхнях.

Різенарізувальні різці переважно працюють за методом копіювання, тому профіль їх різальних кромок повинен збігатися з профілем западини нарізуваної різі. Іноді використовують і генераторний метод формоутворення [4].

Видалення припуску в процесі різенарізування відбувається за значної деформації матеріалу. При цьому формування різі здійснюється зазвичай за декілька проходів, тому продуктивність процесу різенарізування низька і різенарізувальні різці в основному застосовують в одиничному і дрібносерійному виробництвах.

Різенарізувальні різці бувають цілісні зі швидкорізальної сталі або з напаяною чи закріпленою механічно твердосплавною пластиною (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Пластини для різенарізувальних різців

Від звичайних токарних різців різенарізувальні різці відрізняються формою головки і профілем різальних кромок. Статичний передній кут для простоти переточування $\gamma_c = 0$. Задні кути при чорновому різенарізуванні дорівнюють $4\text{—}6^\circ$, а при чистовому – $8\text{—}10^\circ$.

При нарізуванні різей з великим кутом підйому різі ($\tau > 3\text{—}4$) необхідно враховувати вплив цього кута на величину кінематичних задніх і передніх кутів.

Як бачимо з рисунка 5.2 а, при нарізуванні правозахідної різі та встановленні передньої поверхні різця в осьовій площині заготовки на величину кінематичних передніх і задніх кутів бічних різальних кромки впливає кут τ : $\alpha_{к. лів} = \alpha_c - \tau$, $\alpha_{к. пр} = \alpha_c + \tau$, $\gamma_k = \gamma_c - \tau$, $\text{tg} \tau = p/(\pi d)$, де p – крок різі; d – діаметр різі.

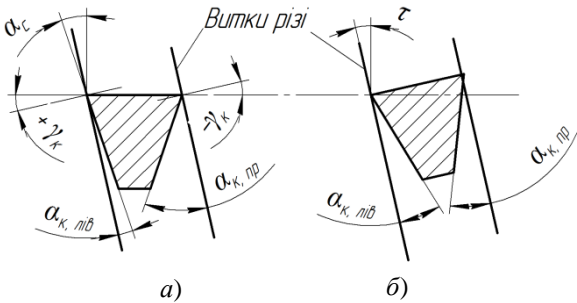


Рисунок 5.2 – Схеми встановлення різців

При встановленні передньої поверхні різця перпендикулярно до витків різі (рис. 5.2 б) умови різання стають однаковими, але дещо спотворюється профіль утвореної різі. Тому перший спосіб установлення різців застосовують для чистових операцій, а другий – для чорнових.

Під час нарізування різі контакт інструменту з поверхнею деталі може бути лінійний

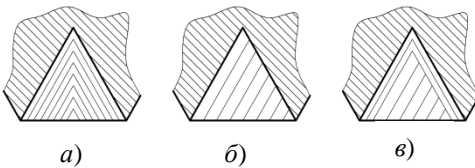


Рисунок 5.3 – Методи формоутворення різі

профільний метод формоутворення, рис. 5.3 а), точковий (генераторний метод, рис. 5.3 б) і точковий під час чорнового оброблення та лінійний під час чистового (комбінований метод,

рис. 5.3 в).

Перевагою генераторного методу є збільшення товщини зрізаного шару, що скорочує кількість проходів. Але при

цьому залишаються сходинки на обробленій поверхні. Цей недолік виправляють комбінованим методом.

5.2 Мітчики

5.2.1 Особливості конструкції. Мітчик призначений для утворення внутрішньої різі. Базою його створення є гвинт (рис. 5.4 а), в якому для утворення різальних кромок прорізають уздовж осі стружкові канавки (рис. 5.4 б). Проте така

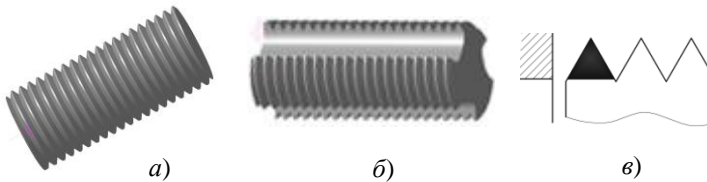


Рисунок 5.4 – Утворення різальних кромок мітчика

конструкція матиме дуже великий недолік: усю роботу різання повинен виконувати перший зуб (рис. 5.4 в). Щоб розподілити роботу різання між декількома лезами, різь із боку одного з торців зрізана конічною поверхнею (рис. 5.5), утворюючи різальну частину.

Основними конструктивними елементами мітчика (рис. 5.6) є параметри різальної l_1 і калібрувальної l_2 частин (лінійні й кутові розміри, кількість, профіль та напрям стружкових канавок, геометрія лез, стоншення калібрувальної частини, елементи різі), приєднувальної частини, комплекtnість [18].

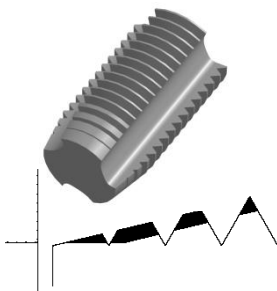


Рисунок 5.5 – Утворення різальної частини мітчика

Вихідними даними для проектування мітчика є параметри [19] різі. Це номінальний діаметр, крок, допуски на різь, дані про верстат, на якому буде використовуватися

мітчик. Від цього залежать форма й розміри приєднувальної частини, дані про форму та розміри поверхні, на якій необхідно нарізати різь.

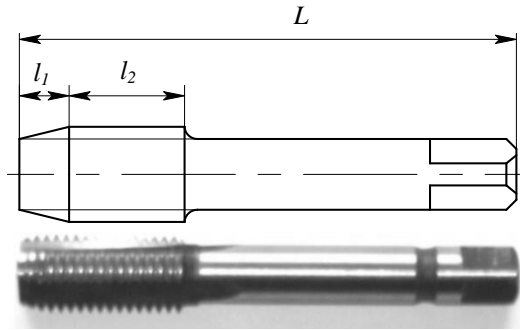


Рисунок 5.6 – Мітчик

5.2.2 Різальна частина. Різальна частина є важливим конструктивним елементом мітчика, оскільки виконує основну роботу з вирізування профілю різі. Для розподілу роботи різання на велику кількість окремих різців різальна частина оформляють як конус із кутом нахилу φ його твірної до осі мітчика. Довжина різальної частини впливає на продуктивність нарізування, стійкість інструменту і точність нарізуваної різі.

Поперечний переріз зрізування, що видаляється кожним лезом, можна уявити як трапецію з товщиною зрізування a' і шириною b (рис. 5.7). Величина a' є дійсною товщиною зрізування, що припадає на кожний зуб і виміряна в напрямі, перпендикулярному до різальної кромки. Через невелику величину кута φ можна замість a' користуватися a – товщиною зрізування, виміряною в напрямі, перпендикулярному до осі мітчика: $a' = a \cos \varphi$.

За нормальних умов товщина зрізування на всій різальній частині однакова і визначається за формулою

$$a = \frac{h}{z},$$

де z – кількість лез на різальній частині;

h – фактична висота різі, що вирізується мітчиком, оскільки частина висоти різі видаляється при свердленні під різь.

Для забезпечення умов різання діаметр свердла $d_{св}$ під різь

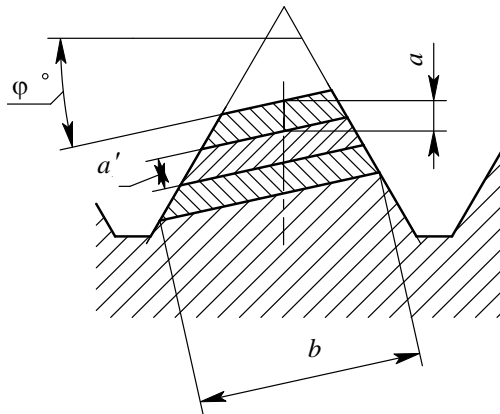


Рисунок 5.7 – Товщина і ширина зрізування

призначають завжди більшим від діаметра торця мітчика d_T (рис. 5.8). Величину h визначають за формулою $h = l_e \operatorname{tg} \varphi$, де l_e – ефективна довжина різальної частини.

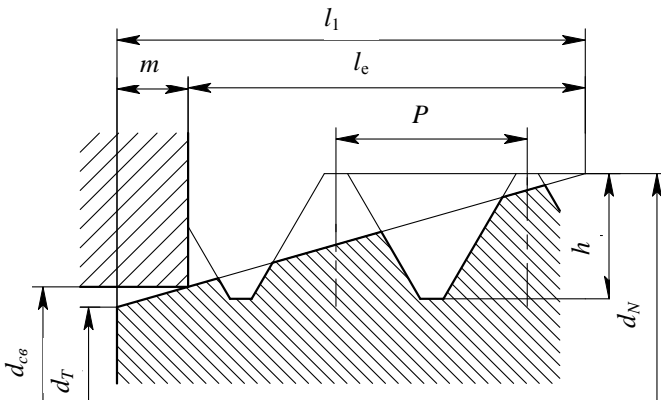


Рисунок 5.8 – Визначення елементів різальної частини

Довжину l_e визначають за формулою

$$l_e = \frac{d_N - d_{ce}}{2tg\varphi}, \quad (5.1)$$

де d_N – зовнішній діаметр мітчика.

Кількість лез, задіяних у вирізуванні профілю різи,

$$z = \frac{l_e n}{P},$$

де n – кількість пер;

P – крок різи.

Тоді

$$a = \frac{Ptg\varphi}{n}. \quad (5.2)$$

З формули випливає, що товщина зрізування залежить від кроку різи, кількості пер і кута нахилу φ .

Діаметр переднього торця залежить від величини входження мітчика m у заздалегідь просвердлений отвір. При цьому величину розбиття отвору свердлом можна не враховувати. Призначають $m = fl_1$, де $f = 0,30—0,18$ для мітчиків від 2 до 30 мм. Для малих розмірів різи необхідно брати більші значення, для великих – менші. Можна приблизно записати, що

$$f = 0,31 - 0,004d_N.$$

Діаметр переднього торця

$$d_T = d_{ce} - 2mtg\varphi = d_{ce} - 2fl_1tg\varphi. \quad (5.3)$$

Довжина різальної частини

$$l_1 = \frac{d_{Nmin} - d_T}{2tg\varphi} = \frac{d_{Nmin} - d_{ce}}{2tg\varphi(1-f)}, \quad (5.4)$$

де d_{Nmin} – мінімальний зовнішній діаметр мітчика (тобто з урахуванням нижнього відхилення).

Кут φ визначають за заданою товщиною зрізування a для даного розміру мітчика за формулою

$$tg\varphi = \frac{an}{P}. \quad (5.5)$$

Коливання кута φ незначні і зазвичай його беруть постійним для різних мітчиків одного типу.

Величини оптимальної товщини зрізування для різних

діаметрів мітчиків визначають з урахуванням типу й призначення мітчика, вимог до точності та шорсткості поверхні різи, оброблюваного матеріалу, охолодження і т. ін. Граничними значеннями товщини зрізування a є 0,02—0,15 мм. За величини a , меншій ніж 0,02 мм, процес різання несприятливий і навіть стає неможливим. Замість різання відбуваються зминання й шкрябання. Товщина зрізування не повинна бути меншою від радіуса заокруглення різальної кромки, який для інструменту зі швидкорізальної сталі приблизно дорівнює 0,015 мм.

При $a > 0,15$ мм шорсткість оброблюваної поверхні різко підвищується.

Для правильної роботи мітчика необхідно, щоб різальні кромки були розміщені рівномірно по колу й однаково затіловані. Наявність великого биття на різальній частині створює нерівномірне навантаження на кожне перо і спричиняє розбивання отвору.

Биття різальних пер не повинно бути більшим ніж 0,03—0,04 мм для всіх мітчиків зі шліфованим профілем, не більшим ніж 0,06—0,08 мм – для мітчиків із нешліфованою різзю.

5.2.3 Калібрувальна частина. Остаточне формування різи закінчується після проходження першого калібрувального витка, що має повну висоту профілю різи. Наступні витки вже не задіяні в калібруванні різи і служать для спрямування під час роботи і створення руху подачі (самозатягування).

Після затуплення першого повного витка і переточування мітчика роль калібрування переходить на наступний виток і так повторюється після кожного переточування. Отже, калібрувальну частину потрібно розглядати також і як резерв для переточування мітчика.

Через малий кут φ величина зміщення початку калібрувальної частини досить значна, внаслідок цього мітчики мають малу кількість переточувань по задній поверхні. Тому рекомендується заточувати мітчики комбіновано, тобто по передній і задній поверхнях, стежачи за максимальним

використанням мітчика.

Розмір калібрувальної частини впливає на загальну довжину мітчика. При призначенні довжини калібрувальної частини доводиться враховувати також і довжину нарізваної різи.

Після всіх переточувань довжина калібрувальної частини повинна становити не менше ніж 0,5 діаметра нарізваної різи для великих і середніх розмірів мітчиків. Для малих розмірів її необхідно підвищити до 1,2—1,0 діаметра з метою забезпечення спрямування й зручності в роботі.

Калібрувальна частина мітчиків не повинна бути великою. Зі зменшенням калібрувальної частини мітчик працює легше завдяки зниженню величини крутного моменту.

Калібрувальні пера щодо биття повинні бути виготовлені з більшою точністю, ніж різальні зуби. Для мітчиків усіх типів із шліфованим профілем – 0,02—0,03 мм, для мітчиків із нешліфованим профілем – 0,03—0,04 мм.

Для зменшення крутного моменту і тертя між мітчиком і нарізаними витками, а також для зменшення розбиття нарізного отвору мітчики мають стоншення калібрувальної частини, тобто всі три діаметри різи (для накатних лише середній та внутрішній) біля хвостовика менші, ніж біля першого калібрувального витка. Орієнтовно для мітчиків із шліфованим профілем різи і накатаних мітчиків стоншення становить 0,05—0,10 мм на 100 мм довжини. Для мітчиків із нешліфованим профілем різи, виготовлених шляхом зняття стружки, – 0,08—0,12 мм. Для мітчиків, призначених для нарізування різи на деталях із легких сплавів, величина стоншення становить 0,2—0,3 мм на 100 мм довжини. Але в усіх випадках для виготовлення придатної деталі величина стоншення на довжині калібрувальної частини не повинна перевищувати значення ($d_{2N \min} - D_{2 \min}$).

Існують мітчики, в яких відсутнє затилування різальної й калібрувальної частин (рис. 5.9). Для зменшення тертя між мітчиком і нарізаними витками частину пера зрізують під кутом α_0 , а якщо при цьому різальні кромки розміщуються нерівномірно по колу (особливо на різальній частині), то такий

інструмент центрується циліндричною напрямною.

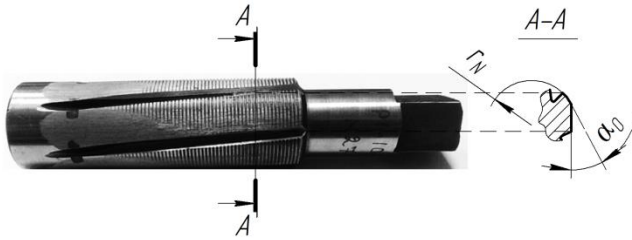


Рисунок 5.9 – Мітчик із циліндричною напрямною

5.2.4 Напрямок канавок. Мітчики зазвичай виготовляють із прямими канавками (рис. 5.10 а), але для кращого відведення стружки проєктують і мітчики з гвинтовими канавками з кутом нахилу до осі $10\text{—}16^\circ$ (рис. 5.10 б).

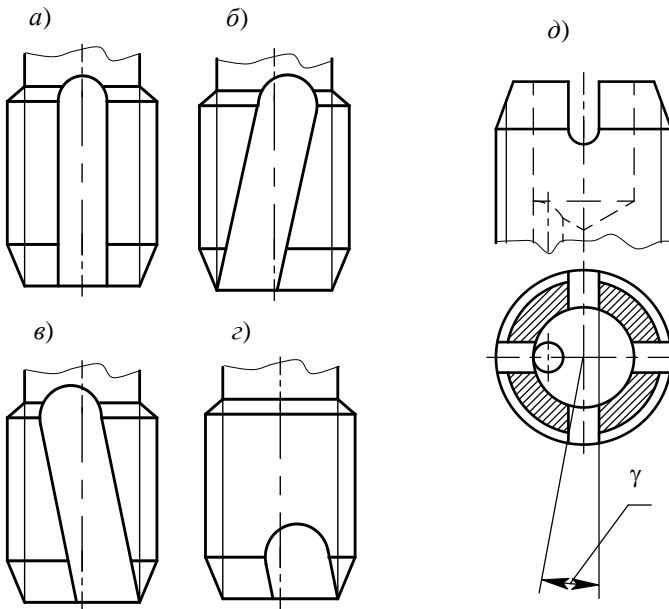


Рисунок 5.10 – Напрямок канавок

А для легких сплавів і в'язких матеріалів виготовляють мітчики з кутом нахилу аж до $25\text{—}35^\circ$. Лівий напрям

(рис. 5.10 в) призначений для наскрізних отворів, прямих (рис. 5.10 б) – для глухих. Завдяки куту нахилу канавок стружка виводиться або вниз (в), або вгору (б). Якщо стружка спрямована перед мітчиком, то тоді взагалі канавка для її відведення не потрібна. Необхідно лише зробити переріз витків різі на різальній частині для утворення передньої поверхні й різальних кромок (рис. 5.10 г). Така конструкція значно підвищує міцність інструменту.

Під час нарізування різі великого діаметра конструкцію, показану на рисунку 5.10 г, можна вдосконалити, створивши на торці різальної частини отвір (рис. 5.10 д, 5.11), куди під тиском подається змащувально-охолоджувальна рідина (ЗОР). Процес

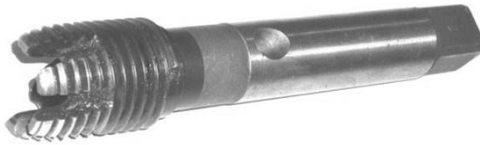


Рисунок 5.11 – Підведення ЗОР

різання відбувається за умов, якщо ЗОР має вільний доступ до зони стружкоутворення: охолоджує, змащує й добре вимиває стружку. Єдиною перешкодою для застосування таких мітчиків є міцність утворених на різальній частині пелюсток, оскільки, як відомо, мітчики малих діаметрів ($d \leq 6$ мм) виходять із ладу не через зношення, а через поломку.

5.2.5 Кількість канавок. Кількість канавок має важливе значення, оскільки визначає товщину зрізування під час роботи мітчика і впливає на величину крутного моменту. Поширені мітчики з трьома або чотирма канавками. Досліди показують, що крутний момент для перших на 10—20 % менший, ніж для других. Чотиріканавкові мітчики схильні до заїдання, особливо під час оброблення в'язких металів. Виготовлення триканавкових мітчиків дешевше, ніж чотиріканавкових, але їх не можна вимірювати мікрометром, для цього потрібне спеціальне пристосування.

Для малих мітчиків рекомендують призначати дві канавки, що легко працюють (через менший крутний момент) і не забиваються стружкою (через великий простір для її розміщення), створюючи при цьому якісну різь. У таблиці 5.1 наведені рекомендації щодо вибору кількості канавок для гайкорізів та машинних мітчиків.

Таблиця 5.1 – Кількість канавок мітчиків

Оброблюваний матеріал	Діаметр мітчика, мм					
	2—6	8—14	16—20	22—24	27—36	39—52
Чорні метали	2—3	3	3	3—4	4	4—6
Легкі сплави	2	2—3	3	3—4	4	4—6

Мітчики для метричної різі, які виготовляють на інструментальних заводах без конкретно визначених умов їх використання, мають три, $n = 3$, канавки за $d_N \leq 17$ мм і чотири, $n = 4$, канавки за $d_N > 17$ мм.

5.2.6 Профіль канавки. Профіль канавки дуже впливає на роботу мітчика. Конструкція мітчика повинна:

- забезпечувати достатній простір для розміщення стружки й особливо для мітчиків, що нарізують глухі отвори, якщо вся стружка розміщується в канавках;
- сприяти кращому утворенню і відведенню стружки в процесі різання;
- перешкоджати різанню під час зворотного вивертання мітчика після нарізування різі;
- перешкоджати налипанню стружки, заклинюванню та пресуванню її між витками мітчика і створеної різі, щоб уникнути пошкодження вже нарізаної поверхні;
- не мати різких переходів, щоб уникнути появи тріщин під час гартування.

Основними параметрами профілю канавки є діаметр осердя d_c , ширина пера p , радіуси заокруглень r та r_1 , передній кут γ , кут γ_3 біля неробочої кромки пера (рис. 5.12).

Діаметр осердя повинен бути таким, щоб забезпечити

достатній простір для стружки і міцність мітчика. Перо не повинно бути широким, оскільки із збільшенням його сильно зростають тертя і небезпека забивання канавки стружкою, що може спричинити поломку мітчика. Проте дуже вузьке перо зменшує кількість переточувань, не дає мітчику надійного спрямування і спричиняє вібрації, що відбивається на точності та шорсткості поверхні різи.

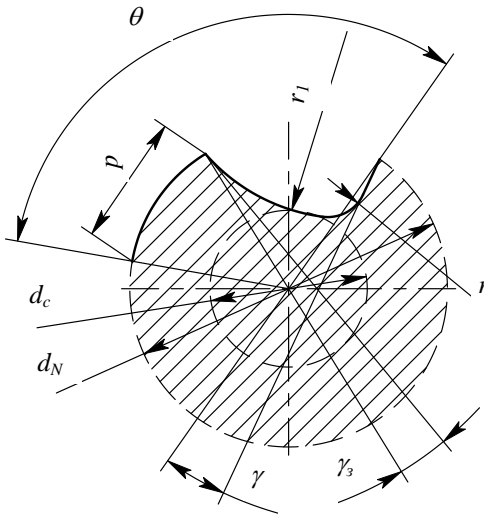


Рисунок 5.12 – Профіль канавки

Мітчик здебільшого стає непридатним через поломку, а не внаслідок повного використання всієї ширини пера. Тому осердя і перо повинні бути мінімально допустимими (табл. 5.2). Для забезпечення плавного руху стружки і зменшення небезпеки появи тріщин під час термічного оброблення профіль канавки окреслюється двома радіусами: r та r_1 .

Розміри стружкової канавки, показаної на рис. 5.12, визначають за формулами:

$$\theta = \frac{360^\circ}{n}, \quad r = 0,134d_N, \quad r_1 = 0,56d_N.$$

За наявності прямих канавок є можливість призначати основні конструктивні параметри профілю мітчика залежно від його діаметра (ширина пера, діаметр осердя, радіуси заокруглення).

Під час профілювання канавок мітчиків необхідно намагатися максимально скорочувати номенклатуру фрез для їх прорізування. Це дозволяє використовувати одну й ту саму фрезу для групи діаметрів мітчиків.

Таблиця 5.2 – Вибір діаметра осердя і ширини пера мітчиків (у частках діаметра мітчика)

Параметр	Кількість канавок n				
	2	3	4	5	6
Діаметр осердя d_c	0,36— 0,38	0,38— 0,45	0,45— 0,50	0,50— 0,52	0,52— 0,55
Ширина пера p	0,40— 0,45	0,30— 0,32	0,20— 0,22	0,17— 0,20	0,16— 0,18

Мітчик при зворотному обертанні може різати матеріал. Щоб уникнути різання, а також затискання стружки під час зворотного обертання, кут γ_3 біля неробочої кромки пера (рис. 5.12) повинен бути від’ємним. Він повинен за модулем перевищувати 5^0 . Для усунення різання при вивертанні мітчика доцільно зняти фаску під кутом 30^0 або притупити шліфувальним кругом гострий кут біля неробочої кромки вздовж усього пера.

Наведені в таблиці 5.2 величини d_c і p – це розміри нових мітчиків після їх заточування. Під час розраховування профілів мітчика необхідно враховувати, що ширина пера повинна бути збільшена на величину припуску на заточування, тобто приблизно на 0,1—0,4 мм залежно від розміру мітчика.

У таблиці 5.2 наведені рекомендовані дані для вибору діаметра осердя і ширини пера для калібрувальної частини (в частках діаметра мітчика). Для різальної частини доцільно ці значення зменшувати, помноживши діаметр осердя для калібрувальної частини на 0,7—0,8, а ширину пера для калібрувальної частини – на 0,6—0,7.

Профілі канавки на калібрувальній і різальних частинах рекомендується робити різними залежно від призначення кожної. Максимальна кількість стружки видаляється різальною частиною, тому площа перерізу її канавки важить значно більше, ніж на калібрувальній частині. Для збільшення простору для стружки рекомендується заглиблювати канавку на різальній частині. Це дає можливість компенсувати зменшення площі її перерізу, спричинене конусністю різальної частини.

Для забезпечення кращого відведення стружки і усунення забивання канавки стружкою доцільно канавку на різальній частині робити гвинтовою або похилою під кутом λ до осі (рис. 5.13), який визначають за формулою

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{h}{l_1 - a},$$

де $h = 0,5—0,7$ ширини пера p ;

$a = 2—12$ мм;

l_1 – довжина різальної частини, мм.

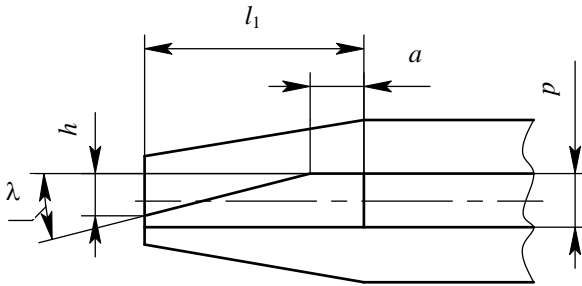


Рисунок 5.13 – Заглиблення канавки на різальній частині мітчика

Завдяки заглибленню ширина пера на різальній частині становить $0,5—0,3$ ширини пера на калібрувальній частині залежно від розміру мітчика. Скошення пера забезпечує збіг напрямку сходження стружки з напрямом подачі мітчика. Стружка не нагромаджується на різальній частині, а відводиться вниз. Така конструкція зменшує величину крутного моменту за рахунок кращого різання, правильного відведення стружки і меншої небезпеки її затискання. Для збільшення перерізу канавки на різальній частині рекомендують фрезерувати канавки під кутом $30'—1^{\circ}30'$ залежно від типу й розміру мітчика.

Передня поверхня може бути прямолінійною або криволінійною. Перша форма більш поширена, тому що спрощує заточування мітчика і не створює різких коливань

значень переднього кута в різних точках по висоті різі. Проте криволінійна форма сприяє стружкоутворенню і кращому відведенню стружки, особливо це важливо під час оброблення в'язких матеріалів.

5.2.7 Геометрія. Різальна здатність мітчика залежить від вибору кутів: переднього γ і заднього α .

Передній кут γ вибирають залежно від оброблюваного матеріалу. Зі збільшенням кута γ поліпшуються умови для формування й відведення стружки, особливо під час оброблення м'яких і в'язких матеріалів, і зменшується шорсткість нарізаної поверхні. Малий кут γ при нарізуванні в'язких матеріалів підвищує шорсткість поверхні різі, спричиняє сильне налипання стружки на витки мітчика, це може призвести до його поломки.

Передній кут для мітчиків загального призначення вибирають залежно від діаметра: за $d_N \leq 3,5$ $\gamma = 8^\circ$, а за $d_N > 3,5$ $\gamma = 10^\circ$. Коли ж заздалегідь відомо, який матеріал буде оброблятися, то під час оброблення крихких та пружних матеріалів (чавун, бронза, титанові й молібденові сплави) $\gamma = 0—5^\circ$ під час оброблення пластичних матеріалів (сталь середньої твердості, латунь) $\gamma = 8—10^\circ$, а під час оброблення надпластичних матеріалів (мідь, легкі сплави, м'яка сталь) $\gamma = 16—25^\circ$.

У разі, якщо канавка на різальній частині заглиблена, доцільно призначати різні кути γ на різальній і калібрувальній частинах, а саме: на різальній частині на $5—7^\circ$ більший, ніж на калібрувальній. Для можливості зміни кута γ під час переточування (залежно від умов оброблення) рекомендують при виборі профілю канавки кут γ робити мінімальним, для того щоб довести його до необхідного більшого значення шляхом заточування.

Величина заднього кута залежить від призначення, типу й розміру мітчика, а також від оброблюваного матеріалу. Чим більша в'язкість матеріалу, тим більшим повинен бути кут α .

Проте надмірна його величина спричиняє руйнування витків різальної частини. Для глухих отворів застосовують мітчики з меншим кутом α , ніж для наскрізних. Можна рекомендувати $\alpha = 8—10^\circ$. Під час оброблення легких сплавів кут α зменшується до $5—6^\circ$ для наскрізних отворів і до $3—4^\circ$ – для глухих. Для шліфованих мітчиків значення заднього кута призначають меншими, ніж для нешліфованих.

Задній кут у мітчиках загального призначення α беруть таким, що дорівнює 4° .

Задній кут α на мітчику утворюється при затилуванні різців на різальній частині.

Затилування зазвичай виконують по архімедовій спіралі і його величина визначають за формулою

$$K = \frac{\pi d_T}{n} \operatorname{tg} \alpha, \quad (5.6)$$

де d_T – діаметр переднього торця мітчика;

n – кількість пер.

На робочих кресленнях необхідно ставити замість заднього кута величину затилування K .

Шліфовані мітчики затилують також і на калібрувальній частині, оскільки інакше в процесі роботи можливе значне прилипання (приварювання) частинок металу до витків різі мітчика, і нарізування в кожному подальшому отворі ускладнюється. Це може навіть спричинити поломку мітчика. Для зменшення тертя затилують не лише по зовнішньому діаметру, а й по всьому профілю різі мітчика. Величина затилування повинна бути мінімальною, щоб уникнути затискання стружки при зворотному обертанні. Вона може бути визначена як $0,014—0,019$ ширини пера або $0,004—0,006$ кроку різі. У цьому випадку задній кут на бічних сторонах різі дорівнює $15'—20'$.

Існують різні рекомендації щодо затилування калібрувальної частини. Їх необхідно враховувати виходячи з конкретних умов експлуатації інструменту. Для того щоб мітчик мав

достатню опорну поверхню, хороше спрямування під час роботи і допускав велику кількість переточувань, затилування можна виконувати не на всю ширину пера, а залишати на ньому смужку до 1/3 ширини пера. Якщо ж затилування виконують від різальної кромки без утворення будь-якої фаски (що спостерігається у більшості випадків), то при переточуваннях по передній поверхні середній діаметр різі мітчика буде зменшуватися. А це вимагає створення гарантованого запасу на зношення.

У нешлифованих мітчиках затилування виконують лише на різальній частині. Калібрувальна частина залишається незатилуваною, оскільки інакше (через неточність різі мітчика) зменшується опорна поверхня; при переточуванні мітчик швидко втрачає свій розмір по діаметру; створюється небезпека затискання стружки між затилуваною поверхнею і нарізаною різзю, пошкодження її і навіть поломки мітчика під час зворотного обертання мітчика.

5.2.8 Приєднувальна частина. Приєднувальна частина мітчиків призначена в основному для передавання крутного моменту. Це хвостовик, що закінчується квадратом. Діаметр хвостовика повинен бути меншим приблизно на 0,25—1,5 мм (для розмірів 7—52 мм) від внутрішнього діаметра різі мітчика. Це необхідно для забезпечення вільного проходу хвостовика мітчика через наскрізний отвір оброблюваної деталі, а також для можливості нарізування отворів із глибиною, більшою ніж довжина робочої частини.

Для запобігання поломкам у дрібних мітчиках хвостовик може бути товщим або таким, що дорівнює зовнішньому діаметру мітчика.

Для зменшення номенклатури пристроїв, в яких закріплюються мітчики, використовують певний ряд розмірів квадратів і діаметрів хвостовиків. Довжина мітчика орієнтовно може бути визначена за формулою

$$L = 25\sqrt{d_N} . \quad (5.7)$$

Для виготовлення, заточування і перевірки мітчики мають центрувальні отвори на обох торцях. У дрібних мітчиках з потовщеним хвостовиком замість центрувальних отворів роблять зовнішні центри з кутом 75° .

5.2.9 Розміри різі мітчиків. ГОСТ 16925-71 передбачає мітчики чотирьох класів точності: 1-го, 2-го, 3-го та 4-го. Мітчики класів 1, 2, 3 виготовляють в основному зі шліфованим профілем, а мітчики класу 4 – з нешліфованим профілем. Найвищий клас точності мітчика створює різі з найвищим ступенем точності. Точність різі, нарізваної мітчиком, залежить від багатьох чинників. Тому мітчик визначеного класу точності може створювати різь відповідного ступеня точності, але це необов'язково так, вона може бути й гіршою.

Параметри різі мітчика (діаметри, крок, кут профілю) такі самі, як і у створюваної ним внутрішньої різі. Тому їх визначають за відповідним стандартом.

Середній, зовнішній і внутрішній діаметри мітчика дорівнюють відповідним діаметрам внутрішньої різі: $d_{2N} = D_2$, $d_N = D$, $d_{1N} = D_1$. Для метричної різі ряди зовнішніх діаметрів D установлює ГОСТ 8724-58, а за призначеним зовнішнім діаметром можна визначати середній і внутрішній діаметри [11] (табл. 5.3).

На рисунку 5.14 наведена схема відхилень діаметрів різі мітчика: D – зовнішній діаметр внутрішньої різі; D_1 – внутрішній діаметр внутрішньої різі; D_2 – середній діаметр внутрішньої різі; d_N – номінальний зовнішній діаметр мітчика; esd_N – верхнє відхилення зовнішнього діаметра мітчика; eid_N – нижнє відхилення зовнішнього діаметра мітчика; d_{1N} – номінальний внутрішній діаметр мітчика; esd_{1N} – верхнє відхилення внутрішнього діаметра мітчика; eid_{1N} – нижнє відхилення внутрішнього діаметра мітчика; d_{2N} – номінальний середній діаметр мітчика; esd_{2N} – верхнє відхилення середнього діаметра мітчика; eid_{2N} – нижнє відхилення середнього діаметра мітчика; Td_{2N} – допуск на середній діаметр мітчика.

Таблиця 5.3 – Розміри середнього і внутрішнього діаметрів метричних різей (ГОСТ 16967-81)

Крок різі Р	Діаметр внутрішньої різі		Крок різі Р	Діаметр внутрішньої різі	
	середній D_2	внутрішній D_1		середній D_2	внутрішній D_1
0,075	$D - 1 + 0,951$	$D - 1 + 0,919$	0,7	$D - 1 + 0,546$	$D - 1 + 0,242$
0,08	$D - 1 + 0,948$	$D - 1 + 0,913$	0,75	$D - 1 + 0,513$	$D - 1 + 0,188$
0,09	$D - 1 + 0,942$	$D - 1 + 0,903$	0,8	$D - 1 + 0,480$	$D - 1 + 0,134$
0,1	$D - 1 + 0,935$	$D - 1 + 0,892$	1	$D - 1 + 0,350$	$D - 2 + 0,918$
0,125	$D - 1 + 0,919$	$D - 1 + 0,865$	1,25	$D - 1 + 0,188$	$D - 2 + 0,647$
0,15	$D - 1 + 0,903$	$D - 1 + 0,838$	1,5	$D - 1 + 0,026$	$D - 2 + 0,376$
0,175	$D - 1 + 0,886$	$D - 1 + 0,811$	1,75	$D - 2 + 0,863$	$D - 2 + 0,106$
0,2	$D - 1 + 0,870$	$D - 1 + 0,783$	2	$D - 2 + 0,701$	$D - 3 + 0,835$
0,225	$D - 1 + 0,854$	$D - 1 + 0,756$	2,5	$D - 2 + 0,376$	$D - 3 + 0,294$
0,25	$D - 1 + 0,838$	$D - 1 + 0,730$	3	$D - 2 + 0,051$	$D - 4 + 0,752$
0,3	$D - 1 + 0,805$	$D - 1 + 0,675$	3,5	$D - 3 + 0,727$	$D - 4 + 0,211$
0,35	$D - 1 + 0,773$	$D - 1 + 0,621$	4	$D - 3 + 0,402$	$D - 5 + 0,670$
0,4	$D - 1 + 0,740$	$D - 1 + 0,567$	4,5	$D - 3 + 0,077$	$D - 5 + 0,129$
0,45	$D - 1 + 0,708$	$D - 1 + 0,513$	5	$D - 4 + 0,752$	$D - 6 + 0,587$
0,5	$D - 1 + 0,675$	$D - 1 + 0,459$	5,5	$D - 4 + 0,428$	$D - 6 + 0,046$
0,6	$D - 1 + 0,610$	$D - 1 + 0,350$	6	$D - 4 + 0,103$	$D - 7 + 0,505$

5.2.10 Допуски на параметри різі мітчиків. Допуски встановлюють на такі п'ять елементів різі: кут профілю, крок, середній діаметр, зовнішній діаметр, внутрішній діаметр.

Кут профілю різі α залежить в основному від точності інструменту (накатні ролики, різець, шліфувальний круг та ін.) і правильності його встановлення на верстаті. Для мітчиків із нешліфованою різзю необхідно враховувати також і спотворення її профілю за термічного оброблення. ГОСТ 16925–71 передбачає граничні відхилення $\frac{\alpha}{2}$ для мітчиків (табл. 5.4).

Крок різі залежить від точності механізму верстата, який створює різь на мітчику, і похибки термічного оброблення. Верстати забезпечують точність кроку різі $\pm 0,01$ мм. Під час термічного оброблення похибки утворюються значно більшими, приблизно $\pm(0,04—0,07)$ мм на 25 мм довжини. Мітчики із шліфованою різзю похибки від термічного оброблення не

мають, оскільки вона виправляється під час шліфування, і точність їх кроку залежить винятково від точності різешліфувальних верстатів. Вони можуть шліфувати різь із точністю кроку в межах 0,003—0,008 мм.

Звичайно величина похибки кроку задається плюсом і мінусом на довжині 25 мм. Для мітчиків 1-го, 2-го, 3-го класів

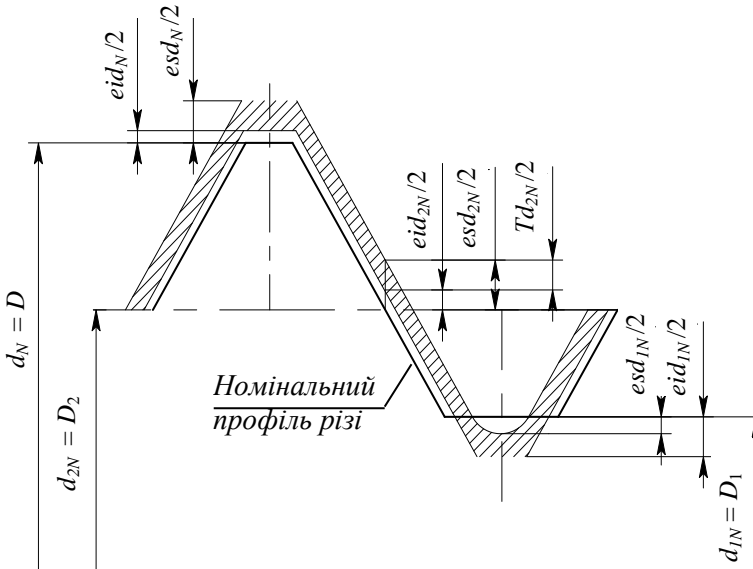


Рисунок 5.14 – Відхилення діаметрів різі мітчика

точності – це $\frac{TP}{2} = \pm 0,01$ мм, а для 4-го класу – $\frac{TP}{2} = \pm 0,05$ мм.

Дійсна похибка не повинна перевищувати цю величину між будь-якими витками у межах базової довжини.

Середній діаметр. Допуск на середній діаметр мітчиків 1-го, 2-го, 3-го класів визначається (ГОСТ 16925-71) залежно від допуску на середній діаметр такої самої різі, ГОСТ 16093-81, але 5-го ступеня точності

$$Td_{2N} = 0,2TD_2(5), \quad (5.8)$$

де $TD_2(5)$ – допуск на середній діаметр внутрішньої різі при п'ятому ступені точності.

Таблиця 5.4 – Відхилення половини кута профілю мітчиків

Крок різі P , мм	Граничне відхилення половини кута профілю, хв	
	клас точності мітчика	
	1-й, 2-й, 3-й	4-й
0,25—0,35	±40	±65
0,35—0,40		±50
0,40—0,60	±30	±40
0,60—0,80		
0,80—1,00	±25	±35
1,00—1,50		
1,50—3,00	±20	±25
3,00—5,00	±15	±20

Допуск на середній діаметр мітчиків 4-го класу точності дорівнює

$$Td_{2N} = 0,4TD_2(5). \quad (5.9)$$

Для компенсації похибок, а також для отримання запасу на зношення необхідно надати мінімальному середньому діаметру мітчика перевищення над номіналом. Теоретично нижнє відхилення середнього діаметра мітчика визначається за формулою [19]:

$$eid_{2N} = f_p^K + f_\alpha^K + f_p^M + f_\alpha^M + \delta_3 + \delta,$$

де $f_p^K + f_\alpha^K$ – діаметральна компенсація відхилень кроку і кута профілю різі прохідного калібру;

$f_p^M + f_\alpha^M$ – діаметральна компенсація відхилень кроку і кута профілю різі мітчика;

δ_3 – припуск на зношення середнього діаметра мітчика;

δ – мінімальне розбиття за середнім діаметром отвору, нарізаного мітчиком.

Імовірне значення середнього діаметра калібру розміщується близько до номінального і діаметральна компенсація відхилень

кроку й кута профілю різевого прохідного калібра незначна порівняно з величиною розбиття отвору за середнім діаметром. На підставі цього цілком допустимо під час розрахунку нижнього відхилення не враховувати величини $f_p^K + f_\alpha^K$.

Величини діаметральних компенсацій відхилень кроку і кута профілю f_p^M, f_α^M визначаються за формулами

$$f_p^M = 1,732 \cdot \Delta P_n, \quad f_\alpha^M = 0,364P \cdot \Delta \frac{\alpha}{2},$$

де ΔP_n – накопичена похибка кроку на довжині згвинчування;

$\Delta \frac{\alpha}{2}$ – похибка половини кута профілю.

Залежно від класу точності мітчика величини відхилень кроку і кута профілю вибирають різними, тому і значення f_p^M та f_α^M також будуть різними: для мітчиків класів 1, 2, 3 – меншими, а для мітчиків класу 4 – більшими (за умови однакової величини розбиття отвору за середнім діаметром). Проте остання не може бути постійною при нарізуванні різі мітчиками різних класів. Вона буде меншою для мітчиків класу 1, 2, 3 і більшою для мітчиків класу 4. Таким чином, ці сумарні похибки майже однакові для усіх мітчиків.

Вибір більш значних величин нижнього відхилення недоцільний через необхідність мати у своєму розпорядженні достатній запас для допуску на неточність виготовлення мітчика і для розбиття отвору за середнім діаметром.

Але ГОСТ 16925-71 рекомендує визначати нижнє відхилення за формулами залежно від класу точності мітчика і допуску на середній діаметр різі 5-го ступеня точності відповідно до ГОСТу 16093-81 (табл. 5.5).

Точність мітчика впливає на величину зазору між поверхнями згвинчених деталей, тобто на щільність нарізного з'єднання. Допуски на середній діаметр мітчиків 4-го класу точності більші від попередніх класів удвічі.

Верхнє відхилення для середнього діаметра різі мітчика розраховується як

$$esd_{2N} = eid_{2N} + Td_{2N}. \quad (5.14)$$

А допуск на середній діаметр мітчика залежить від допуску на нарізану різь (5.8), (5.9).

Таблиця 5.5 – Формули для розрахунку нижнього відхилення середнього діаметра мітчика

Клас точності мітчика	Нижнє відхилення середнього діаметра	Номер формули
1	$eid_{2N} = 0,1TD_2 (5)$	(5.10)
2	$eid_{2N} = 0,3TD_2 (5)$	(5.11)
3	$eid_{2N} = 0,5TD_2 (5)$	(5.12)
4	$eid_{2N} = 0,3TD_2 (5)$	(5.13)

Спираючись на ці співвідношення, можна вибрати клас мітчика залежно від допуску на середній діаметр нарізуваної різі (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – Рекомендації щодо вибору класу мітчика

Клас мітчика	Поле допуску на середній діаметр різі
1	4H, 5H, 6H, 7H, 8H, 9H
2	4G, 5G, 6G, 7G, 8G, 9G
3	4F, 5F, 4E, 5E, 6F, 7F, 8F, 9F, 5E, 6E, 7E, 8E, 9E
4	6G, 7G, 8G, 9G, 6F, 7F, 8F, 9F

Але, як показує схема відносного положення полів допусків внутрішньої різі та мітчика (рис. 5.15), будь-який мітчик можна використовувати для нарізування різі з будь-яким основним відхиленням, якщо лише нижнє відхилення на середній діаметр мітчика перевищує нижнє відхилення на середній діаметр різі. Наприклад, мітчик 4-го класу точності можна застосувати для нарізування різі з полем допуску 8H.

Точність нарізування різі залежить від оброблюваного матеріалу, швидкості різання, змащувально-охолоджувального технологічного середовища, точності верстатів, допоміжного інструменту та інших факторів. Тому мітчики одного класу точності використовуються як для нарізування точної, так і

менш точної різі.

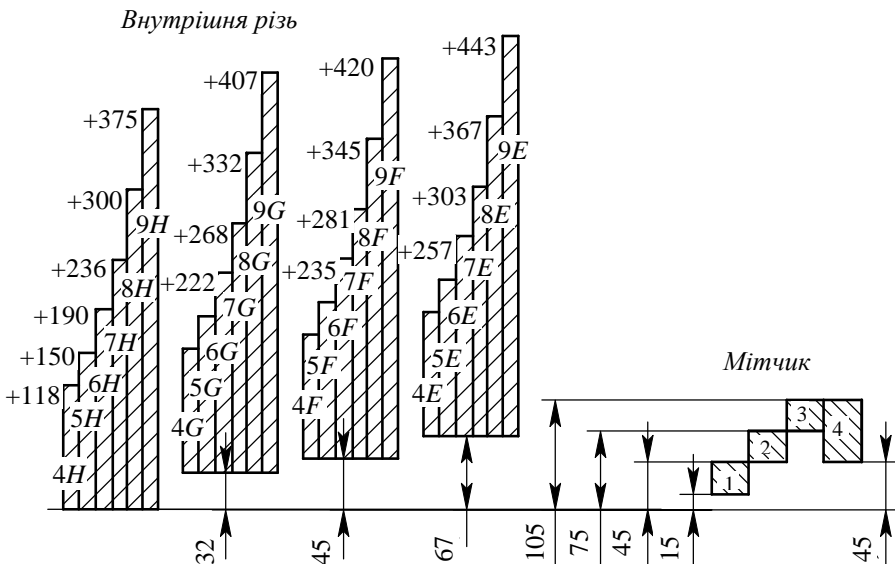


Рисунок 5.15 – Схема відносного положення полів допусків на середній діаметр внутрішньої різі і мітчика $\text{Ø}22 \text{ мм}$, $P = 1,5 \text{ мм}$

Допуски на неточність виготовлення цілком досяжні і можуть бути вільно витримані як на різешліфувальному верстаті (для мітчиків класу точності 1, 2, 3), так і на накатному або різенарізному (для мітчиків 4-го класу точності).

Зовнішній діаметр. Зовнішній діаметр мітчика d_N зношується більше, ніж середній діаметр. Це пояснюється тим, що вершини витків гострі, більш схильні до знеуглецьовування під час термічного оброблення і працюють в умовах гіршого відведення тепла.

Тому необхідно для зовнішнього діаметра призначати допуск більшої величини, ніж це передбачено для середнього діаметра. Допуск на зовнішній діаметр різі гайки стандартами не встановлюється, і верхнє відхилення для нього не регламентується, оскільки розмір зовнішнього діаметра різі не може вийти за межі теоретичного трикутника. З цієї точки зору можна було б не призначати допуск і на зовнішній діаметр [16]

мітчика. Проте ГОСТ 16925-71 все-таки передбачає допуск на зовнішній діаметр різі мітчика (рис. 5.16), оскільки за відсутності регламентованого допуску до споживача можуть надійти мітчики з надмірно гострими і мало-міцними вершинами витків. Це може спричинити підвищене зношення мітчика по зовнішньому діаметру.

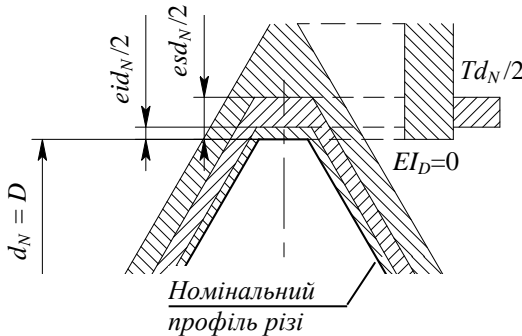


Рисунок 5.16 – Схема допусків на зовнішній діаметр внутрішньої різі і мітчика

При визначенні верхнього відхилення бажано, щоб ширина вершини різі мітчика, відсічена горизонтальною лінією теоретичного профілю, становила приблизно 0,6 від ширини теоретичного профілю (рис. 5.15). Але це не вдається зробити за малих кроків. І навіть щоб уникнути отримання надмірно загостреної різі в мітчиків із кроком різі 0,2—0,75 мм, стандартом визначається лише нижнє відхилення.

Аналіз таблиць ГОСТу 16925-71 засвідчує, що співвідношення між Td_N та Td_{2N} залежить від кроку різі P :

$$Td_N = Td_{2N} \cdot e^{0,686(\ln P+1)}. \quad (5.15)$$

Нижнє відхилення на зовнішній діаметр проектованого мітчика визначається через допуск на середній діаметр нарізуваної внутрішньої різі, але 5-го ступеня точності – за ГОСТом 16093-81:

$$eid_N = 0,4TD_2(5). \quad (5.16)$$

Тоді верхнє відхилення зовнішнього діаметра дорівнює

$$esd_N = eid_N + Td_N. \quad (5.17)$$

Внутрішній діаметр. Внутрішній діаметр мітчика d_{IN} (рис. 5.17) не повинен контактувати з металом заготовки під час різання. Це стосується всіх різьнарізних інструментів. Для них важливо виключити з роботи різальну кромку, яка міститься на дні западини витків. Звичайно це досягається шляхом невеликого збільшення висоти ніжки профілю різі мітчика або за допомогою збільшення попереднього отвору під різь.

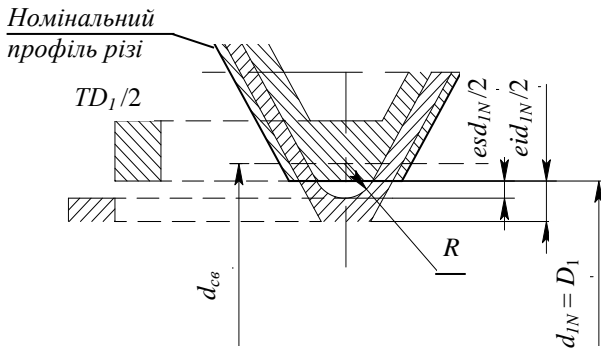


Рисунок 5.17 – Схема допусків на внутрішній діаметр внутрішньої різі й мітчика

Це стосується всіх різьнарізних інструментів. Для них важливо виключити з роботи різальну кромку, яка міститься на дні западини витків. Звичайно це досягається шляхом невеликого збільшення висоти ніжки профілю

різі мітчика або за допомогою збільшення попереднього отвору під різь.

Під час нарізування різі мітчиком можливе більше або менше (залежно від ступеня в'язкості) деформування оброблюваного матеріалу. Якщо просвердлити отвір для різі, нарізану мітчиком, свердлом діаметром, що дорівнює номінальному внутрішньому діаметру різі, то процес нарізування буде утруднений, і мітчик може зламатися. Щоб цього уникнути, завжди застосовують свердла більшого діаметра, ніж номінальний внутрішній діаметр різі, $d_{ce} > D_1$ (див. рис. 5.16). Тому верхнє відхилення внутрішнього діаметра мітчика

$$esd_{IN} \leq 0. \quad (5.18)$$

Значення нижнього відхилення не встановлюється.

Деяке зменшення висоти різі не має практичного значення. Експериментальними роботами встановлено [1], що для міцності нарізного з'єднання достатньо, якщо різь має 70 % від своєї номінальної висоти профілю. Якщо взяти, що висота профілю

різі зменшується не на всі 30 %, а лише наполовину від цього числа (тобто на 15 %), то діаметр свердла можна визначити як

$$d_{cs} = d_{1N} + 0,15(d_N - d_{1N}). \quad (5.19)$$

Для цього западину різі мітчика заокруглюють (див. рис. 5.12). Максимальний радіус заокруглення R розраховують залежно від величини зменшення найбільшого внутрішнього діаметра мітчика і коливається в межах 0,04—0,13 кроку різі. Найменший внутрішній діаметр різі мітчика не регламентується, оскільки він не може вийти за вершину трикутника теоретичного профілю.

На точність внутрішньої різі впливає оброблюваний матеріал. В'язкі матеріали, особливо легкі сплави, сприяють більшому розбиванню різі. Щоб уникнути цього, необхідно під час виготовлення мітчика додержуватися мінімальних розмірів або навіть зменшувати їх проти номінальних. Навпаки, для крихких матеріалів (наприклад, пластмаси, ебоніту та ін.) отвір зменшується, тому розміри мітчика необхідно збільшувати (на 0,05—0,30 мм) порівняно з номінальними. У деяких випадках необхідні розміри мітчиків доводиться встановлювати експериментально.

5.2.11 Машинні мітчики. Машинні мітчики, що нарізують різь у різних деталях на верстатах за один або два проходи, повинні мати довжину різальної частини залежно від виду отвору. Для глухих отворів $l_l = 2$ витки, а для наскрізних – $l_l = 6$ (кут $\varphi = 6^\circ 30'$).

Для полегшення роботи машинних мітчиків рекомендується в усіх випадках, де це допустимо з точки зору конструкції деталі, просвердлювати глухий отвір для різі на якомога більшу довжину. Такий отвір можна нарізувати мітчиком, призначеним для наскрізних отворів.

Коротка різальна частина є більш універсальною, ніж довга. Вона придатна як для довгих, так і для коротких отворів і має такі переваги порівняно з довгою:

- зменшення питомого зусилля різання через зрізування

стружок із більшим перерізом;

- зменшення крутного моменту;
- зменшення сил тертя і затискання стружки, а також небезпеки заклинювання і поломки мітчика;
- підвищення продуктивності;
- економія матеріалу і зменшення вартості оброблення мітчика;
- зменшення викривлення мітчика під час термічного оброблення.

Недоліком короткої різальної частини є те, що вона не може забезпечити надійного спрямування під час роботи, й отвір на початку може виявитися дещо розширеним. Тому в тих випадках, коли висуваються підвищені вимоги до різі, доводиться подовжувати різальну частину.

Довжина калібрувальної частини становить 6—12 витків.

Граничні відхилення середнього діаметра різі машинного мітчика вимірюють на початку калібрувальної частини.

У машинних мітчиків конструкція хвостовика залежить від типу патрона. Згідно з ГОСТом 3266-81 хвостовик машинних мітчиків забезпечується кільцевою виточкою і квадратом (рис. 5.18).

5.2.12 Гайкорізи. Гайкорізи використовують для нарізування різі в гайках на напівавтоматичних і автоматичних верстатах.

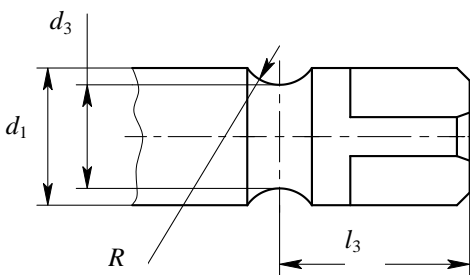


Рисунок 5.18 – Хвостовик машинного мітчика

Через автоматичне підведення заготовок у зону різання, для надійного базування їх на різальній частині, для гайкорізів усіх типів кут ϕ призначають таким, що дорівнює $3^{\circ} 30'$ (це приблизно 12 витків) для усіх діаметрів від 2 до 30 мм.

Для гайкорізів мінімальна довжина калібрувальної частини

після всіх переточувань повинна складати не менше ніж 0,6 висоти гайки, що відповідає 0,5 діаметра різі. Рекомендована довжина калібрувальної частини для гайкорізів усіх типів і розмірів – 8 витків.

Нешліфовані гайкорізи обов'язково повинні бути затиловані по зовнішньому діаметру на різальній частині і на калібрувальній частині, оскільки під час оброблення гайок мітчик не вивертається після нарізування, тому тут не доводиться остерігатися пошкодження різі затилованою поверхнею.

Граничні відхилення середнього діаметра різі гайкорізів вимірюють на відстані одного – двох витків від середини довжини різальної частини (у бік калібрувальної частини).

Гайкорізи з коротким хвостовиком (ГОСТ 1604-71) звичайно викручуються з отвору після нарізування різі.

Гайкорізи з довгим хвостовиком (ГОСТ 6951-71) дозволяють у процесі нарізування утримувати на хвостовику декілька гайок, завдяки чому немає необхідності вивертати або виймати мітчик із патрона кожного разу після нарізування однієї гайки. У промисловості встановлені розміри для так званих верстатних гайкорізів, відмінних від гайкорізів із довгим хвостовиком тим, що їх довжина може мати лише три значення: 180 мм – для мітчиків діаметром 6—12 мм; 250 мм – для мітчиків діаметром 9—27 мм; 350 мм – для мітчиків діаметром 16—52 мм.

Ці мітчики застосовуються на спеціальних верстатах, що забезпечують можливість використання мітчиків різних діаметрів, але з однією і тією самою довжиною. Іноді гайкорізи замість квадрата забезпечують іншими елементами для передавання крутного моменту.

Якщо гайкорізи в процесі нарізування повинні періодично вийматися з патрона для видалення нарізаних гайок, то це створює зайву витрату часу. Для підвищення продуктивності застосовують мітчики із зігнутим хвостовиком (рис. 5.19), який дозволяє викидати готові гайки, не виймаючи мітчик із патрона,

ГОСТ 6951–71.

На практиці часто встановлюється для усіх типів гайкорізів (з хвостовиками короткими, довгими, зігнутими) однакова довжина різальної частини, яка дорівнює 12 крокам нарізуваної різі. Товщина зрізування для цих мітчиків є заниженою, а для малих розмірів навіть і небажаною з точки зору процесу різання.

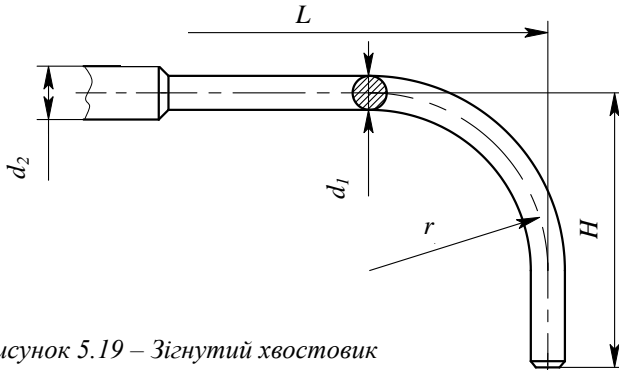


Рисунок 5.19 – Зігнутий хвостовик

Тому краще все-таки під час проектування різальної частини гайкоріза виходити не з її довжини, а спершу призначити кут $\varphi = 3,5^\circ$ і потім за формулою (5.4) розрахувати l_1 .

Цілком можливо без зниження якості нарізуваної різі значно зменшити довжину різальної частини, принаймні до восьми витків. Це дозволить збільшити товщину зрізування на 1/3 і зменшити загальну довжину мітчика. Але водночас погіршуються умови попереднього базування гайки під час автоматичного завантаження.

5.2.13 Ручні мітчики. Ручні мітчики застосовують для найрізноманітніших за довжиною отворів (від 0,5 до 2 діаметрів нарізуваної різі), як наскрізних, так і глухих. Ручні мітчики постачають у комплекті з трьох або двох мітчиків, які позначають номерами: 1, 2, 3. Номер 1 (чорновий) комплекту має подовжену різальну частину (рис. 5. 20), що сприяє кращій його орієнтації щодо осі отвору. Останній номер має коротку різальну частину і це дозволяє використовувати комплект для нарізування різі як у наскрізному отворі, так і в «глухому».

При визначенні довжини калібрувальної частини для комплектних мітчиків треба виходити з довжини для чорнового мітчика, оскільки він має найменшу її величину.

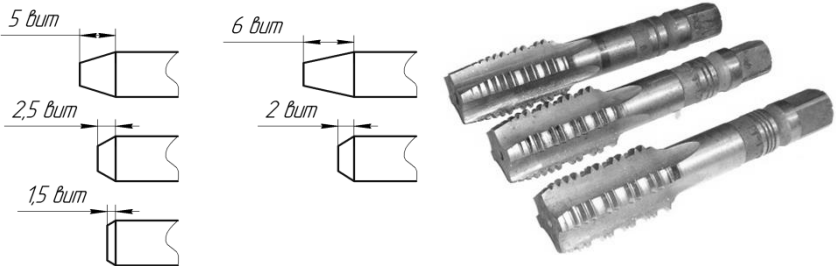


Рисунок 5.20 – Комплекти мітчиків

Щоб відрізнити номери комплекту один від одного на хвостовики наносять відповідні риси.

5.2.14 Алгоритм проектування мітчиків. Алгоритм проектування мітчиків наведений у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Послідовність розрахунків і конструювання мітчика

№ пор.	Назва етапу	Формула та позначення
1	2	3
1	Розрахувати середній та внутрішній діаметри	d_{2N}, d_{1N}
2	Призначити клас мітчика	1, 2, 3, 4
3	Розрахувати граничні відхилення на зовнішній діаметр	$Td_N = Td_{2N} \cdot e^{0,686(\ln p + 1)},$ $eid_N = 0,4TD_2(5),$ $esd_N = eid_N + Td_N$
4	Розрахувати граничні відхилення на середній діаметр	$eid_{2N}, esd_{2N} = eid_{2N} + Td_{2N},$ $Td_{2N} = 0,2TD_2(5)$ або $Td_{2N} = 0,4TD_2(5)$
5	Призначити відхилення на внутрішній діаметр	$esd_{1N} \leq 0$
6	Призначити кількість стружкових канавок	n
7	Розрахувати ширину пера та діаметр серцевини	p, d_c

Продовження таблиці 5.7

1	2	3
<i>Гайкоріз</i>		
8	Призначити кут φ	$\varphi = 3,5^{\circ}$
9	Визначити довжину різальної частини	$l_1 = \frac{d_{N \min} - d_{cs}}{2 \operatorname{tg} \varphi (1 - f)},$ $f = 0,31 - 0,004 d_N,$ $d_{cs} = d_{1N} + 0,15(d_N - d_{1N})$
10	Визначити довжину калібрувальної частини	$l_2 = 8$ витків
<i>Машинний мітчик</i>		
11	Визначити довжину різальної частини	Наскрізний отвір: $l_1 = 6P$ Глухий отвір: $l_1 = 2P$
<i>Далі для усіх мітчиків</i>		
12	Розрахувати кут φ	$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d_{N \min} - d_{cs}}{2l_1 (1 - f)},$ $d_{cs} = d_{1N} + 0,15(d_N - d_{1N})$
13	Розрахувати довжину мітчика	$L = 25\sqrt{d_N}$
14	Визначити довжину калібрувальної частини	$l_2 = 12$ витків
15	Розрахувати товщину зрізування	$a = \frac{P \operatorname{tg} \varphi}{n}, \quad (a_{\min} = 0,02, \quad a_{\max} = 0,15)$
16	Розрахувати діаметр торця	$d_T = d_{cs} - 2l_1 \operatorname{tg} \varphi$
17	Призначити геометрію лез	α, γ
18	Розрахувати коефіцієнт затилування	$K = \frac{\pi d_T}{n} \operatorname{tg} \alpha$
19	Розрахувати параметри профілю стружкової канавки	$\theta = \frac{360^{\circ}}{n},$ $r = 0,134 d_N, \quad r_1 = 0,56 d_N$
20	Призначити кут нахилу стружкової канавки	ω
21	Спроектувати приєднувальну частину	ГОСТ 3266-81, ГОСТ 6951-71
22	За необхідності скоригувати стружкову канавку	$\operatorname{tg} \lambda = \frac{h}{l_1 - a}$

5.2.15 Робоче креслення мітчика. Робоче креслення необхідно виконувати у масштабі 1:1. Повинно бути стільки видів і перерізів, щоб можна було зрозуміти конструкцію і виготовити інструмент. Нечіткі (через малі розміри) елементи конструкції зображають у збільшеному вигляді. Необхідно показати геометрію.

На кресленні повинні бути всі розміри, допуски на лінійні і кутові розміри, на похибки форми та розміщення поверхонь. Необхідно позначити шорсткість поверхонь, записати технічні вимоги.

Обов'язково накреслити профіль різі мітчика з усіма розмірами та допусками. Спроекувати приєднувальну частину відповідно до умов використання інструменту.

Умовними позначеннями на кресленні показати допуск на радіальне биття, величину оберненої конусності. На діаметр приєднувальної поверхні d призначають допуск за шостим квалітетом.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментального матеріалу;
- твердість леза біля різальних кромок, HRC 62-65;
- маркування (товарний знак виробника, номінальний діаметр, позначення допуску на різь, марка інструментального матеріалу);
- робоча частина не повинна мати зон із заниженим вмістом вуглецю зі зниженою твердістю.

5.3 Плашки

5.3.1 Типи плашок та їх конструкції. Плашки використовують для нарізування або калібрування зовнішньої різі. Плашки бувають: круглі (рис. 5.21 *а*) та їх різновиди – квадратні й шестигранні (рис. 5.21 *б, в*); трубчасті (рис. 5.21 *г, д*) і призматичні (рис. 5.21 *е*). Квадратні і шестигранні плашки відрізняються від круглих тільки формою приєднувальної поверхні. В усьому іншому їх конструкції однакові.

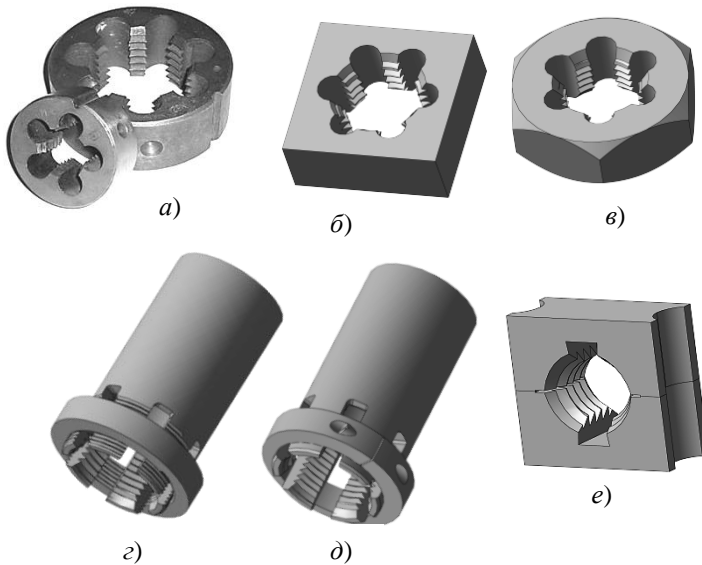


Рисунок 5.21 – Типи плашок

Перші два типи застосовують в основному на револьверних верстатах або автоматах і нарізують різь за один прохід, рідше вручну; третій тип – переважно для ручного нарізування за декілька проходів.

Призматичні (розсувні) плашки складаються з двох половинок, що називаються півплашками. На кожній із них зазначені розмір різі і цифра 1 або 2 для того, щоб правильно їх закріплювати в пристосуванні. На зовнішній поверхні півплашок є пази, якими вони приєднуються до напрямних 1 і 2 (рис. 5.22) у плашкотримачі. Для рівномірного розподілу тиску гвинта 3 на півплашки, щоб уникнути їх перекошування, між півплашками і гвинтом розміщують спеціальні прокладення (сухарі). Розсувні плашки виготовляють комплектами по 4—5 пар у кожному як для метричної різі, так і для дюймової (табл. 5.8). Плашкотримачі бувають шести розмірів – від № 1 до № 6.

Трубчасті плашки (рис. 5.21 з, д) використовують для нарізування різі на револьверних верстатах і токарних автоматах. Вони менше забиваються стружкою, менше

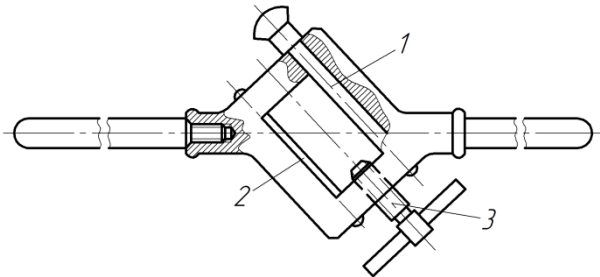


Рисунок 5.22 – Тримач призматичної плашки

викривлюються під час термічного оброблення; їх легше заточувати; допускають більш точну установку щодо заготовки.

Таблиця 5.8 – Комплекти призматичних плашок

Номер плашкотримача	Різь	
	метрична, мм	трубна, дюйми
1	4, 5, 6, 7	–
2	6, 8, 10, 12	1/8, 1/4
3	10, 12, 14, 16	1/4, 3/8
4	18, 20, 22, 24	3/8, 1/2, 5/8
5	24—39	5/8, 3/4, 7/8, 1
6	39—52	1

Для запобігання пружної деформації пелюсток плашки під дією сил різання на зовнішню її поверхню встановлюють спеціальне кільце. Для закріплення кільця і регулювання діаметрів різі плашки є два методи. Перший (рис. 5.21 з) – якщо на зовнішній поверхні утворюють конічну різь. Загвинчуючи кільце, зменшують діаметри різі плашки. Це важливо при попередньому настроюванні та після зношування інструмента. За другого методу (рис. 5.21 д) використовують розрізане кільце, яке затягують гвинтом. Довжина робочої частини трубчастої плашки становить сім – вісім витків, різальної – 2—2,5 витка. Кут конуса різальної частини – 50—60°.

Круглі плашки є найбільш поширеним інструментом і використовують під час нарізування різей, до яких не ставлять особливих вимог щодо точності розмірів і якості поверхні. Різь плашки після термічного оброблення не шліфують, тому її крок, кут профілю та середній діаметр дещо спотворюються. В окремих випадках для підвищення точності плашки після термічного оброблення її калібрують спеціально загартованим мітчиком або притиром.

Основними конструктивними елементами плашки є (рис. 5.23):

- зовнішній діаметр плашки;
- товщина B ;
- кількість стружкових отворів n ;
- різальна l_1 і калібрувальна частини l_2 ;
- ширина пера b ;
- діаметр і положення стружкових отворів 2ρ , u ;
- геометрія α , γ ;
- отвори для кріплення і регулювання плашки;
- елементи різі.

Круглі плашки виготовляють із розрізаною і нерозрізаною перетинками (під кутом 60°). Перші дають менш точну різь. Наявність розрізу спричинює перекошування різального пера, і часто є причиною неправильного встановлення плашки в патроні. Проте вони допускають регулювання розмірів різі плашки в невеликих межах. Інструментальні заводи випускають нерозрізані плашки, в яких лише потім, після втрати розмірів через зношення, можна перетинку видалити.

Зовнішній діаметр плашки залежить від розміру нарізуваної різі та діаметра стружкових отворів. Зі збільшенням діаметра отворів покращуються умови відведення стружки і зменшується небезпека ламання пера плашки. Проте необхідно враховувати, що великий розмір стружкових отворів приводить до збільшення зовнішнього діаметра плашки. Це спричинює підвищену витрату матеріалу на виготовлення плашок і

патронів. Номенклатура плашок повинна бути невеликою і кожен діаметр плашки обслуговує декілька розмірів різей.

Стандартні круглі плашки нарізують метричну різь діаметром від 2 до 52 мм включно.

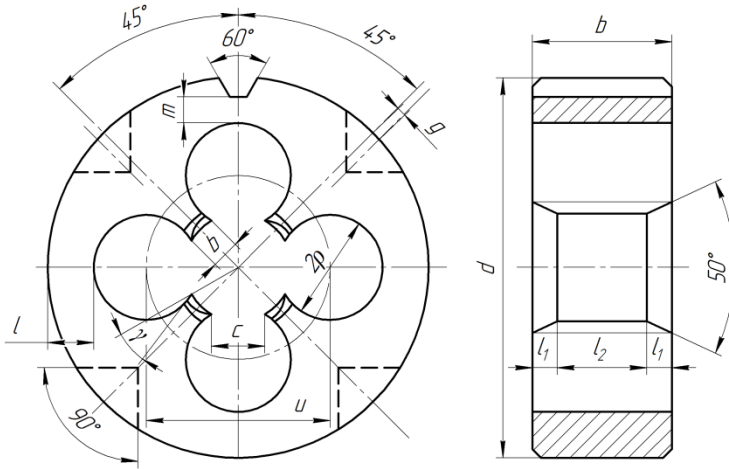


Рисунок 5.23 – Креслення круглої плашки

5.3.2 Товщина плашки. Зі збільшенням товщини плашки підвищуються спотворення кроку різі під час гартування, погіршуються умови відведення стружки із стружкових отворів і збільшується тертя між витками. Мала товщина не може забезпечити правильного напрямку плашки, особливо під час ручної роботи. Товщину плашки вибирають за умови достатньої кількості витків на різальній і калібрувальній частинах. Якщо різальна частина $l_1 = 1,5—2$ витки, калібрувальна $l_2 = 3—5$ витків, то товщина плашки вийде $B = 6—9$ витків.

Проте вибираючи товщину плашки, доводиться враховувати також і уніфікацію цього розміру для різних різей. Для плашок із дрібним кроком загальна кількість витків може досягати 12—16.

5.3.3 Кількість стружкових отворів. Зі зменшенням кількості стружкових отворів збільшується навантаження на

кожне перо, але одночасно зменшується питома сила різання через зрізування товщої стружки. Проте, вибираючи кількість стружкових отворів, доводиться зважати і на діаметри плашки й різі. Рекомендації стандарту для круглих плашок подані в таблиці 5.9. Відповідно до конструктивних особливостей виготовлюваної деталі ці параметри можуть змінюватися (рис. 5.24).

Таблиця 5.9 – Діаметри різі та відповідна кількість отворів у стандартних круглих плашок

Діаметр різі, мм	Кількість отворів
2—5	3
6—18	4
20—30	5
33—48	6
52	7

5.3.4 Різальна частина. Різальна частина виконує основну роботу різання і там формується зона зношування інструмента.



Рисунок 5.24 –
Нестандартна плашка

Для продовження терміну використання плашки вона має різальні частини з двох боків, що дає можливість нарізувати різь як одним, так і іншим боком.

Різальна частина має вигляд внутрішнього конуса, що забезпечує розподілення роботи різання на декілька різців. Зі зменшенням кута конуса 2ϕ робота різання розподіляється на

більшу кількість різців. При занадто великому куті конуса плашка не може захопити заготовку, зривається і псує різь.

Для плашок згідно із стандартом кут конуса $2\phi = 50^\circ$. За такого кута 2ϕ товщина зрізування a – в межах 0,063—0,375 мм. Товщину зрізування a можна розрахувати за аналогією до мітчика за формулою (5.2).

Круглі плашки працюють з більшою товщиною зрізування, ніж мітчики. Це пояснюється тим, що плашка нарізує різь за один прохід, різальна частина її коротка і, головне (див. формулу (5.2)), має більший кут φ .

Плашка міститься у сприятливіших умовах, ніж мітчик, оскільки вона нарізує зовнішню різь. Під час роботи плашки довжина нарізуваної різі майже не впливає на якість і умови оброблення, тоді як для мітчика довжина різі, особливо під час нарізування глухого отвору, має велике значення.

Для різей із дрібним кроком (трубна, дрібнометрична) доцільніше брати більший кут конуса, ніж для різей із великим кроком (основна метрична, дюймова). На кут φ впливає і оброблюваний матеріал. Наприклад, для в'язких і твердих матеріалів необхідно призначати $2\varphi = 40\text{—}30^\circ$. Коли плашка повинна нарізувати різь до упору, кут конуса 2φ можна збільшити до 90° .

5.3.5 Калібрувальна частина. Калібрувальна частина призначена для формування якості поверхні різі, забезпечує плашці самозатягування (рух подачі), спрямовує відносно поверхні деталі і створює запас витків на переточування. Зношення плашки відбувається так само, як і мітчика, тобто в області переходу від різальної частини до калібрувальної, в основному по задній поверхні. Тому для зменшення шару, що знімається при переточуваннях, необхідно заточувати плашку не лише по передній поверхні, але також і по задній (шляхом затилування шліфувальним кругом). Запас витків на переточування невеликий, оскільки зі збільшенням кількості витків плашки зростають деформації під час термічного оброблення.

5.3.6 Ширина пера. Ширина пера (рис. 5.25) відіграє значну роль у конструкції плашки. Ширина пера повинна бути достатньою для забезпечення міцності й жорсткості. Зі збільшенням ширини пера плашка краще центрується і спрямовується під час роботи, забезпечує самозатягування. Проте велика ширина пера має недоліки: з'являються додаткові

сили тертя між витками плашки і поверхнею різі на деталі, погіршується відведення стружки.

Найбільша кількість поломок плашок відбувається в основному через надмірну ширину пера. Зазвичай плашка

ламається значно частіше, ніж використовується повністю запас по ширині пера, передбачений для переточувань. Тому необхідно, щоб ширина пера b була меншою за відстань c . Доцільно відношення b/c призначати в межах 0,65—0,7. Це відношення залежить від діаметра стружкових отворів і діаметра кола, на якому знаходяться

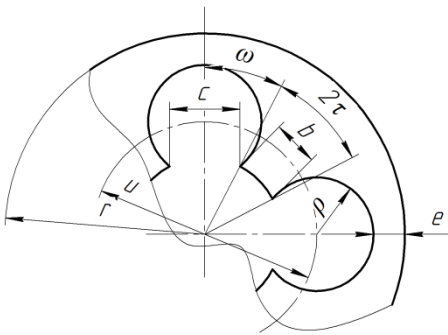


Рисунок 5.25 – Ширина пера і відстань між перами

їх центри. Проте з метою зменшення кількості кондукторів для свердління стружкових отворів і застосування свердел нормального ряду, не завжди вдається витримати відношення b/c в необхідних межах. Ширина пера і відстань між перами (рис. 5.24) визначаються за формулами:

$$b = d_1 \sin \tau, \quad \omega = \frac{180}{n} - \tau, \quad c = d_1 \sin \omega = d_1 \sin \left(\frac{180}{n} - \tau \right), \quad \frac{b}{c} = \frac{\sin \tau}{\sin \omega},$$

де d_1 – внутрішній діаметр різі.

5.3.7 Розмір і розміщення стружкових отворів. При заданих габаритних розмірах і вибраній ширині пера розрахунок круглої плашки зводиться до визначення радіусу стружкових отворів ρ і діаметра кола u (рис. 5.24). З метою забезпечення міцності плашки необхідно, щоб відстань e від зовнішньої поверхні до стружкового отвору була в межах 0,6—0,9. Перевірка виконання умови щодо величини e (відстані від приєднувальної поверхні плашки до кола стружкових отворів) за формулою

$$e = r - u - \rho,$$

де r – радіус приєднувальної поверхні плашки.

Усі величини ρ , u , γ , e пов’язані між собою.

5.3.8 Геометрія. Передній кут γ призначають залежно від оброблюваного матеріалу: для твердих матеріалів $10\text{—}15^\circ$, для м’яких $20\text{—}25^\circ$. Проте для деяких розмірів плашок він зменшується до 10° і нижче. Наявність переднього кута не спричиняє в плашки спотворення різі. Для спрощення виготовлення і заточування плашки в процесі експлуатації передню поверхню шліфують під одним і тим самим кутом. Проте доцільно з точки зору процесу різання, щоб передній кут на різальній частині був більшим, ніж на калібрувальній. Великий передній кут на різальній частині сприяє утворенню якісної поверхні різі.

Задній кут α на різальній частині значно впливає на роботу плашки. За малого кута α виникає сильне тертя між витками плашки та оброблюваного матеріалу, утворюється шорстка або зіпсована різь. Із підвищенням в’язкості оброблюваного матеріалу кут α необхідно збільшувати. Звичайно кут α беруть у межах $6\text{—}9^\circ$. За великих значень кутів α і γ різальна кромка ослаблюється і зуби на різальній частині можуть руйнуватися. Задній кут на різальній частині утворюється в результаті затилування за архімедовою спіраллю на спеціальному затилувальному верстаті. Величину затилування визначають за формулою

$$k = \frac{\pi d_1}{n} \operatorname{tg} \alpha,$$

де d_1 – внутрішній діаметр різі;

n – число отворів;

α – задній кут.

Через технологічну складність задній кут на калібрувальній частині не утворюється. З одного боку відсутність його на калібрувальній частині погіршує умови різання, а з іншого – сприяє підвищенню якості різі.

5.3.9 Отвори для кріплення і регулювання плашки. Під час ручної роботи плашки закріплюють у плашкотримачі

(рис. 5.26). Плашкотримач дозволяє відрегулювати розмір розрізаної плашки перед початком її використання.

Регулюють розмір плашки в плашкотримачі після розрізування перетинки за допомогою трьох гвинтів. Середній гвинт 2 входить у прорізь плашки (60°) і призначений для її розтискання, а два бічних – 1, 3 (90°) – її стискають. Завдяки незначному зміщенню осей різей на плашкотримачі під гвинти

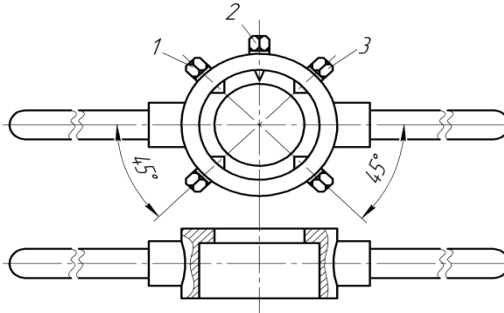


Рисунок 5.26 – Тримач круглої плашки

1, 2, 3 відносно отворів плашки у бік його базової поверхні, гвинти завжди притискають плашку до внутрішнього торця плашкотримача. Бічні гвинти розміщені під кутом 45° до осі симетрії плашки. Осі отворів під затискні гвинти зміщені відносно центра плашки на $0,5\text{—}2,0$ мм залежно від розміру різі. Це необхідно для того, щоб під час загвинчування кожен гвинт упирався не у вершину конічного отвору, а в його бічну поверхню. Гвинт ковзає конічною поверхнею отвору і забезпечує стискання плашки.

5.4 Гребінки

Гребінки (рис. 5.27) – це фасонні різці, які можуть бути стрижневими, призматичними, круглими.

Робоча частина гребінок (рис. 5.27 а) складається з різальної частини $l_1 = (1,5\text{—}2) p$ і калібрувальної частини $l_2 = (3\text{—}6) p$, де p – крок різі.

Завдяки куту $\varphi = 25\text{—}30^\circ$ навантаження розподіляється між декількома різальними зубами. Під час нарізування різі за один прохід довжину різальної частини збільшують до $l_1 = (3\text{—}4) p$. Передній кут у гребінок $\gamma = 0$

Гребінка з подачею, що дорівнює кроку на один оберт, рухається вздовж осі заготовки, яка обертається.

Призматичні гребінки можна виготовляти цілісними (рис. 5.27 б) або з механічно закріплюваними спеціальними твердосплавними пластинами (рис. 5.28).

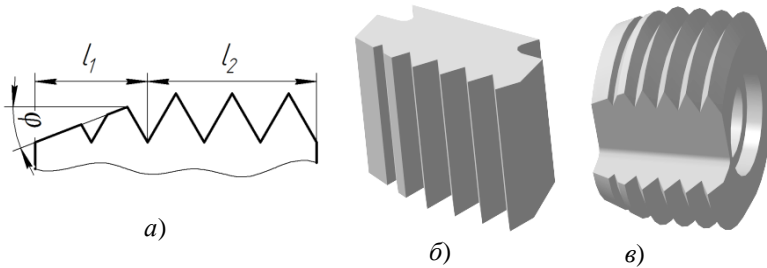


Рисунок 5.27 – Гребінки

У призматичних гребінок задній кут α утворюється за рахунок нахилу гребінки в державці, аналогічно призматичним різцям.

Круглі гребінки (рис. 5.27 в) можуть бути двох типів: із кільцевими витками і з гвинтовими витками. Їх використовують як для нарізування зовнішньої, так і внутрішньої різі. Якщо канавки кільцеві, то вісь гребінки повинна бути нахилена до осі заготовки під кутом підняття різі τ . У гребінок із гвинтовими канавками напрям різі повинен бути зворотним напрямку витків нарізуваної зовнішньої різі. Під час нарізування внутрішньої різі напрями витків гребінки і різі збігаються.



Рисунок 5.28 – Гребінка з твердим сплавом

Задній кут утворюється за рахунок перевищення центру гребінки над центром заготовки.

5.5 Різенарізні головки

Різенарізні головки мають корпус зі вставними гребінками (призматичними або круглими). Їх використовують під час нарізування зовнішньої і внутрішньої різей. Головка для зовнішньої різі має назву гвинтонарізна, а для внутрішньої різі – гайконарізна.

Гвинтонарізна головка (рис. 5.29) нарізує різь за один або два проходи на гвинтах, болтах та інших деталях. У кінці нарізування різі гребінки автоматично розходяться і під час

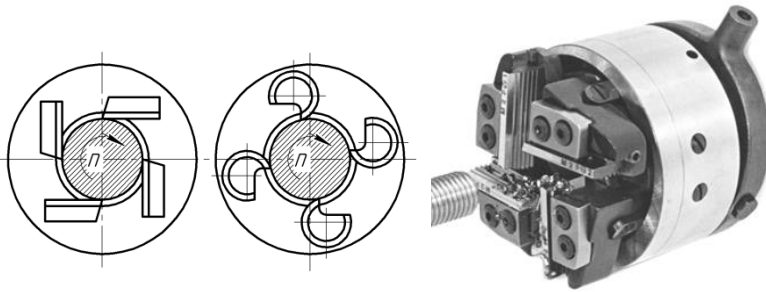


Рисунок 5.29 – Схема та вигляд гвинтонарізної головки

зворотного ходу не торкаються нарізаної поверхні на деталі.

Такі головки можна порівняти з круглими плашками. Але гвинтонарізні головки мають переваги: вставні гребінки можна шліфувати, тому усуваються всі спотворення, що виникають у разі гартування; через відсутність контакту гребінок із нарізаною різзю під час зворотного ходу значно покращуються якість обробленої поверхні і підвищується продуктивність завдяки швидкому відведенню; головки допускають регулювання розмірів різі; гребінки можна багато разів переточувати. Отже, гвинтонарізна головка – це механізм, який як різальні елементи використовує різенарізні гребінки.

За таким самим принципом створені головки для нарізування внутрішньої різі – гайконарізні.

5.6 Дискові різенарізні фрези

Різенарізні дискові фрези застосовують для утворення зовнішньої і внутрішньої різей. Дискові фрези використовують переважно для трапецеїдальної різі, черв'яків та інших різей із великим кроком (рис. 5.30). Вони не достатньо продуктивні порівняно з іншими інструментами. Під час нарізування різі дисковою фрезою її вісь встановлюється під кутом τ до осі заготовки, що дорівнює куту підняття різі. Під час фрезерування фреза обертається і рухається відносно заготовки гвинтовою траєкторією з кроком нарізуваної різі. Виявляється, що профіль різі в перерізі, нормальному до витків, не збігається з профілем зубів фрези. За малих значень кута τ похибка профілю різі, що утворюється внаслідок цього, невелика, проте за $\tau > 10\text{--}15^\circ$ необхідно уточнювати параметри профілю зубів фрези.

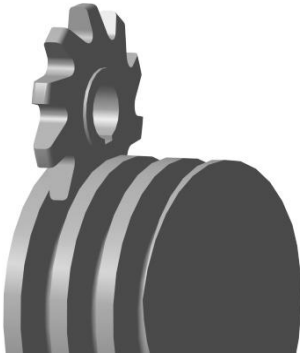


Рисунок 5.30 – Нарізування різі дисковою фрезою

5.7 Гребінчасті фрези

Гребінчасті фрези (рис. 5.31) застосовують для нарізування зовнішніх і внутрішніх різей на циліндричних і конічних поверхнях заготовок. Це набір дискових фрез, складених в одному корпусі з профілем зубів, що відповідає профілю різі. Тому канавки між зубами або «дисковими фрезами» кільцеві.

Для утворення різальних кромek уздовж осі фрези прорізають прямі або гвинтові стружкові канавки. Гвинтові

канавки використовують, якщо необхідно виводити стружку назовні під час нарізування внутрішньої різи. Для утворення задніх кутів зуби затилують за архімедовою спіраллю на величину k . Фрези виготовляють лише із затилованими зубами з метою збереження ідентичності профілю зубів під час

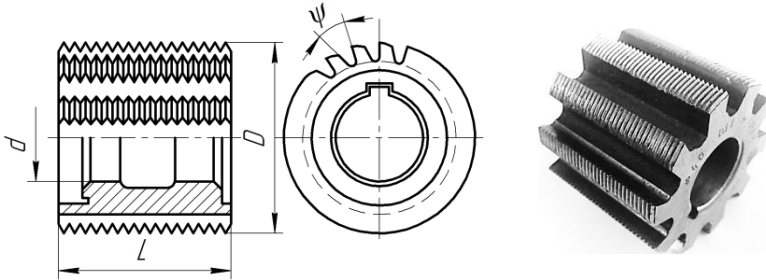


Рисунок 5.31 – Гребінчаста фреза

переточування та спрощення самого процесу переточування, бо переточують лише по передній поверхні з $\gamma = 0$.

Основними конструктивними елементами фрези є діаметр фрези D , діаметр приєднувальної поверхні d , довжина фрези L , кількість зубів z , форма зуба, геометрія $k = f(\alpha)$, $\gamma = 0$, кут западини між зубами ψ , напрям стружкових канавок, елементи різи. Гребінчасті фрези бувають насадними і з хвостовиком.

Вісь фрези встановлюється паралельно осі заготовки. Фреза обертається навколо своєї осі для створення допустимої швидкості різання й одночасно рухається гвинтовою траєкторією відносно поверхні заготовки (переміщується на величину одного кроку різи уздовж осі заготовки за один її оберт). Оброблення закінчується за 1—1,25 оберту заготовки.

Через наявність кільцевих витків на фрезі теоретичний профіль різи відрізняється від дійсного. У процесі фрезерування вісь заготовки з гвинтовими витками паралельна осі фрези з кільцевими витками. Якщо перетнути заготовку і фрезу площиною, перпендикулярною до осей, то в перерізі зуба фрези отримуємо коло, а заготовки – архімедову спіраль. Отже, профіль зуба фрези відрізняється від профілю різи. Підрахунки

показують [19], що при прямолінійній різальній кромці спотворення кута профілю різі незначне (3—4' для зовнішньої різі і 7—9' для внутрішньої). Звичайно така похибка знаходиться в межах регламентованих стандартом на різь. Гребінчасті фрези застосовують для виготовлення різі з дрібним кроком. Для великих різей і довгих заготовок їх не використовують через те, що довжина фрези повинна бути не меншою, ніж довжина нарізаної різі. Довгі фрези виготовляти складно.

5.8 Головка для «вихрового» різьфрезерування

Швидкісне різьфрезерування виконують на токарному верстаті, який оснащують спеціальним механізмом з різенарізною головкою. Різці головки обертаються навколо заготовки по колу, центр якого O_2 зсунутий відносно осі деталі O_1 на величину x (рис. 5.32). Оточення повинне бути захищене від дрібної, гострої і гарячої стружки, яка вихром розлітається із зони різання (через що цей процес одержав назву «вихрового»).

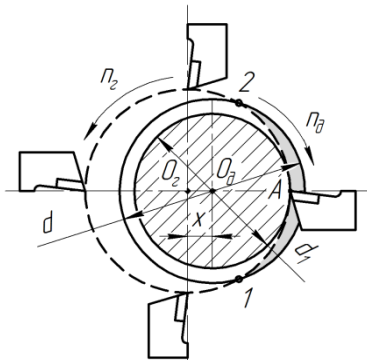


Рисунок 5.32 – Схема «вихрового» нарізування різі

Діаметр траєкторії руху різців і величина x встановлені таким чином, щоб вершина різця проходила через точку A , яка знаходиться на внутрішньому діаметрі різі d_1 . Тому при нерухомій заготовці різці входять у метал у точці 1 і виходять у точці 2, утворюючи дрібну, гостру стружку. Коли заготовка починає обертатися, то на ній

утворюється кільцева канавка, профіль якої відповідає профілю різців головки. Напрями обертів головки n_2 і деталі n_1 зазвичай протилежні, але можуть і збігатися. Для утворення гвинтової поверхні головка рухається ще і поступально вздовж осі заготовки з подачею, що дорівнює кроку нарізаної різі.

Під час швидкісного різьфрезерування головка створює швидкість різання в межах 100—450 м/хв. Нарізування різи відбувається за один прохід.

Контрольні питання

- 1 Які методи формоутворення реалізують різьнарізні різи?
- 2 На яких виробництвах використовують різьнарізні різи?
- 3 Як утворюються різальні кромки мітчика?
- 4 Призначення особливої форми різальної частини мітчика.
- 5 Основні конструктивні параметри мітчика.
- 6 Товщина зрізування під час роботи мітчика.
- 7 Граничні значення товщини зрізування мітчиком та їх фізична сутність.
- 8 Напрямок стружкових канавок мітчика.
- 9 Кількість стружкових канавок мітчика.
- 10 Від чого залежить значення переднього кута мітчика?
- 11 Затилування шліфованих і нешліфованих мітчиків.
- 12 Класи точності мітчиків.
- 13 Довжина різальної і калібрувальної частин машинного мітчика.
- 14 Довжина різальної частини гайкоріза та причини такого її визначення.
- 15 Конструкції хвостовиків гайкорізів.
- 16 Комплекти ручних мітчиків.
- 17 Довжина різальної частини ручних мітчиків.
- 18 Типи плашок.
- 19 Основні конструктивні елементи круглої плашки.
- 20 Довжина різальної і калібрувальної частин, ширина круглої плашки.
- 21 Кількість стружкових отворів у круглих плашках.
- 22 Кріплення і регулювання круглої плашки.
- 23 Типи різьнарізних гребінок.
- 24 Застосування дискових різьнарізних фрез.
- 25 Профілі різи та дискової різьнарізної фрези.
- 26 Конструкція гребінчастої різьнарізної фрези.
- 27 Рухи гребінчастої різьнарізної фрези.
- 28 Рухи різців головки для «вихрового» різьфрезерування.

6 ЗУБООБРОБНІ ІНСТРУМЕНТИ

Зубонарізні інструменти працюють переважно за методами копіювання та обкочування. Метод копіювання – це такий метод, якщо профіль інструмента збігається з профілем западини зубчастого колеса. Метод обкочування імітує зчеплення зубчастих коліс. При цьому одна ланка цього механізму – інструмент, а інша – заготовка. Рухи забезпечуються кінематикою верстата.

6.1 Пальцеві зубонарізні фрези

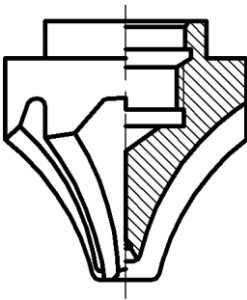


Рисунок 6.1– Пальцева фреза

Пальцеві зубонарізні фрези нарізують зубчаті колеса за методом копіювання. Інструмент дуже недосконалий унаслідок малої продуктивності і низької точності. Не достатня продуктивність цих фрез обумовлена малою кількістю зубів (4—8) та нежорстким (консольним) закріпленням у верстаті (рис. 6.1). Мала точність фрез обумовлена зміною профілю фрези та її діаметра під час переточування. Пальцеві фрези застосовують у тих випадках, якщо зубчасте колесо не може бути нарізане ніяким іншим інструментом. Наприклад, під час нарізування шевронних коліс із кількістю шевронів два і більше. Іноді їх застосовують і для нарізування одношевронних коліс. Якщо пальцева фреза нарізує прямозубе колесо, то вона працює методом копіювання, тобто її профіль однаковий із профілем западини нарізуваного колеса.

Якщо ж фреза нарізує колеса з косими зубами, то профіль нарізуваного зуба виходить як обвідна різних положень профілю фрези. У цьому разі профіль фрези не збігається з профілем остаточно нарізаної западини.

6.2 Дискові зубонарізні фрези

Дискові зубонарізні фрези виготовляють із затіланими зубами, цілісної або складеної конструкції (рис. 6.2). Їх зуби мають відповідний профіль. Вони призначені для попереднього



Рисунок 6.2 – Дискові зубонарізні фрези

або остаточного нарізування прямозубих, косозубих і шевронних коліс. Під час нарізування прямозубих коліс дискові фрези працюють за методом копіювання, а під час нарізування косозубих і шевронних коліс (як і в пальцевих фрез) профіль нарізаного зуба виходить як обвідна різних положень профілю фрези.

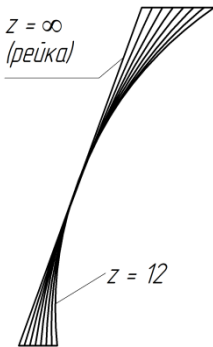


Рисунок 6.3 – Профілі зубів

Евольвентне колесо із заданою кількістю зубів має профіль зубів, властивий лише колесу з цією кількістю зубів. Тому для точного нарізування колеса методом копіювання потрібно мати окрему фрезу з відповідним профілем. А для нарізування усіх можливих коліс теоретично необхідно мати нескінченну кількість різних дискових фрез. Вихід із такої ситуації

можливий з урахуванням того, що профіль зуба колеса виготовляють із допустимою точністю. Найбільша кривизна профілю за $z = 12$ (рис. 6.3), і кривизна зменшується, профіль перетворюється на пряму лінію за $z = \infty$ (рейка). Якщо призначити похибку на профіль зуба колеса, то з'являється можливість виготовляти колеса з деяким інтервалом кількості зубів одним інструментом. Виявилось, що достатньо мати комплект із 8 фрез (табл. 6.1), щоб нарізувати колеса одного модуля з будь-якою кількістю зубів. Для більш точного формоутворення використовують комплект із 15 фрез, або навіть із 26. Стандартні дискові фрези виготовляють такими комплектами. Ці фрези через низьку точність і малу продуктивність застосовують лише для індивідуального неточного виробництва.

Таблиця 6.1 – Комплекти дискових зубонарізних фрез

Номер фрези	Кількість зубів колеса		Номер фрези	Кількість зубів колеса	
	комплект 1	комплект 2		комплект 1	комплект 2
1	12—13	12	5	26—34	26—29
1,5		13	5,5		30—34
2	14—16	14	6	35—54	35—41
2,5		15—16	6,5		42—54
3	17—20	17—18	7	55—134	55—79
3,5		19—20	7,5		80—134
4	21—25	21—22	8	135— ∞	135— ∞
4,5		23—25			

6.3 Зубодовбальна головка

Зубодовбальні головки нарізують за методом копіювання усі зуби циліндричного колеса одночасно. В опорному фланці 1 (рис. 6.4), який кріпиться до корпусу 2, в радіальних пазах розміщуються різці 5. Різці мають профіль, ідентичний профілю западини між зубами нарізаного колеса. Кількість різців дорівнює кількості западин.

Головку закріплюють на верстаті нерухомо. Рух різання D_r відбувається за рахунок зворотно-поступального руху заготовки 6. Радіальне переміщення різців конусами 3 і 4 в пазах головки створює рух подачі D_s .

Подачу призначають від 0,5 до 0,06 мм/подв. хід. Причому спочатку призначають найбільшу подачу, а потім за кожним подвійним ходом її зменшують. Така схема (рис. 6.5) дозволяє зберегти приблизно однаковою площу зрізуваного металу, а отже, і силове навантаження на різці за весь період оброблення.

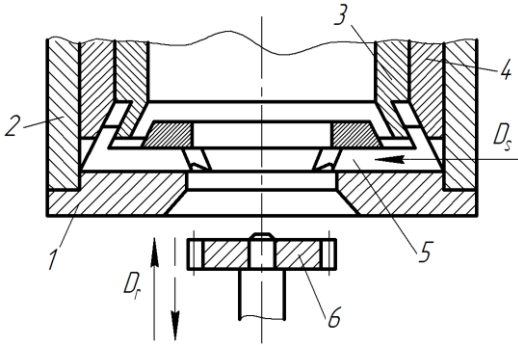


Рисунок 6.4 – Зубодобвальна головка

Під час зворотного руху заготовки різці відводяться від неї в радіальному напрямі на 0,5 мм. Відведення різців здійснюється рухом уверх конуса відведення 3.

Хоча головка працює з невеликою швидкістю різання (від 3 до 10 м/хв), вона має високу продуктивність за рахунок великої довжини різальних кромки, що одночасно беруть участь у процесі зрізування шарів металу.

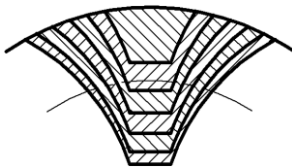


Рисунок 6.5 – Схема подач

Для кожного оброблюваного колеса відповідно до модуля і кількості зубів потрібно мати індивідуальну головку, тому такий інструмент використовують в масовому або великосерійному виробництвах. Головками можна нарізувати блокові колеса, колеса з буртами, короткі багатошліцьові вали.

Різці зубодовбальних головок звичайно мають передній кут $\gamma = 5^\circ$ та задній кут $\alpha = 8^\circ$ на вершині. Малі задні кути на бічних сторонах профілю різця є істотним недоліком.

Передній кут різців може бути збільшений до оптимального значення залежно від оброблюваного матеріалу, а задній кут до -10 — 12° залежно від конструкції верстата.

Оскільки головка працює за методом копіювання, то проекція різальної кромки (що лежить у площині $A - A$, рис. 6.6) на торець нарізованого колеса (на площину $C - C$) повинна збігатися з профілем западини між зубами нарізованого колеса.

Якщо профіль западини заданий координатами x, y , то абсциси точок різальної кромки залишаються незмінними, а ординати в площині $A - A$ дорівнюють $y_A = y / \cos \gamma$. Ці координати використовують під час контролю профіля різця після заточування по передній поверхні.

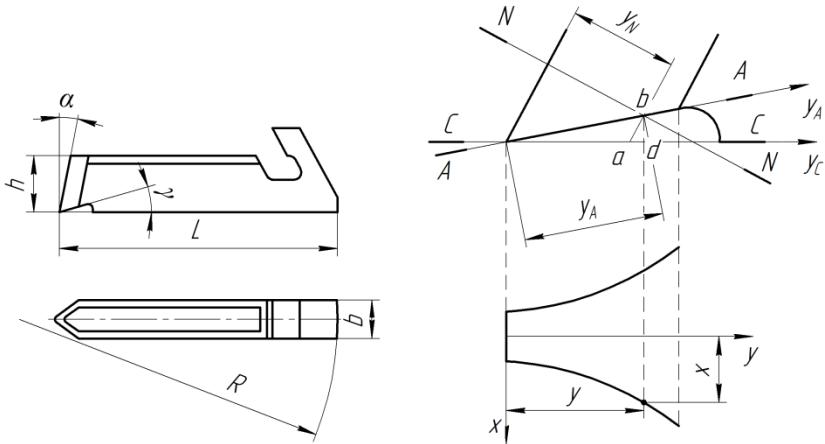


Рисунок 6.6 – Різець зубодовбальної головки та його профіль

Ординати профіля до заточування, тобто в площині $C - C$, визначають як

$$y_c = y - (ad) = y - y \tan \gamma \tan \alpha = y(1 - \tan \gamma \tan \alpha).$$

Для перевірки профіля задньої поверхні визначають його координати у площині $N-N$. Абсциси збігаються з абсцисами профіля западини зубчастого колеса, а ординати дорівнюють

$$y_N = y_A \cos(\gamma + \alpha) = y \cos(\gamma + \alpha) / \cos \gamma.$$

6.4 Довбачі

6.4.1 Особливості конструкції довбача. У процесі різання довбач має прямолінійний або гвинтовий обертально-поступальний рух різання. Подачу здійснюють через відносне обертання довбача і заготовки навколо їх осей (рис. 6.7), тобто здійснюється метод обкочування.

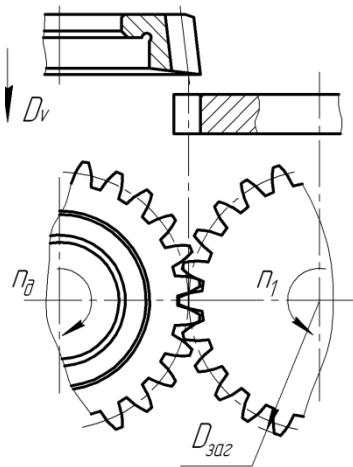


Рисунок 6.7 – Нарізування довбачем зубів на циліндричному колесі:

D_V – головний рух різання;
 n_0, n_1 – частота обертання інструменту та заготовки (рух подачі)

Величину подачі вимірюють у міліметрах ділильного кола нарізуваного колеса на один подвійний хід довбача (S_K , мм/подв. хід). Крім названих основних рухів – різання і колової подачі, довбач отримує радіальну подачу під час врізування в заготовку (S_p , мм/подв. хід) і відводиться від заготовки під час кожного зворотного ходу для усунення тертя задніх поверхонь по обробленій поверхні. Довбачі бувають дискові (рис. 6.8), чашкові (рис. 6.9) і з хвостовиком (рис. 6.10). Класи точності довбачів: АА, А, В. Нарізають колеса 6, 7, 8-го ступенів точності.

Довбач може нарізувати будь-яке циліндричне колесо, якщо лише воно може бути нарізане яким-небудь іншим зуборізальним інструментом. У ряді випадків він має вищу

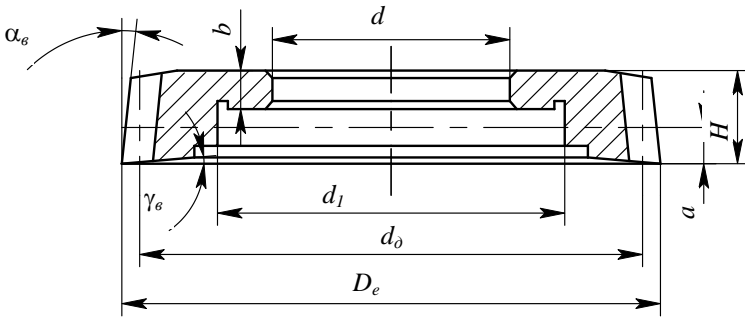


Рисунок 6.8 – Довбач дисковий прямозубий

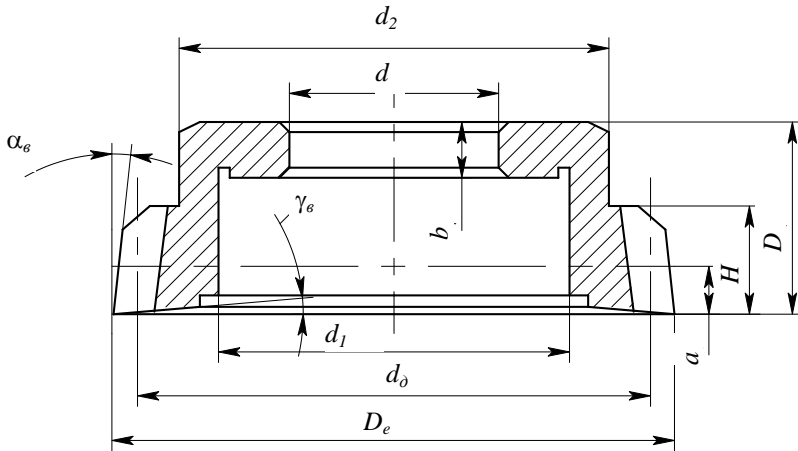


Рисунок 6.9 – Довбач чашковий прямозубий

продуктивність, ніж фрези.

Наприклад, під час нарізування зубчастих секторів, коліс із вузьким ободом і великою кількістю зубів, при нарізуванні коліс з модулем меншим ніж 1,5 мм.

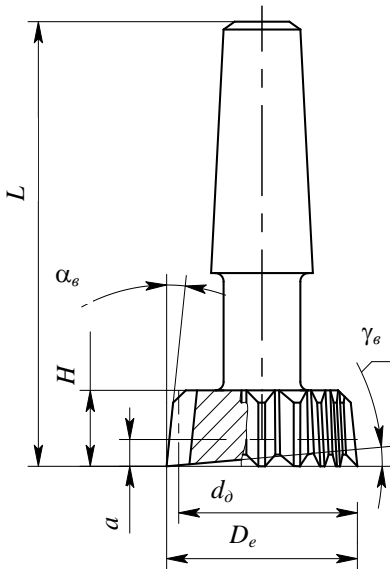


Рисунок 6.10 – Довбач із хвостовиком

При проектуванні довбача необхідно призначити геометрію зубів, визначити його габаритні розміри, розміри зуба довбача у вихідному перетині, на передній поверхні, величину вихідної відстані довбача a . Розв'язують кожну з цих задач не окремо, а комплексно, у зв'язку з іншими задачами. Тому процес проектування ітераційний, що визначає його складність.

6.4.2 Геометрія зубів довбача. Довбач – це зубчасте колесо, перетворене на різальний інструмент (рис. 6.11).

Задній кут на вершині зубів α_v зазвичай дорівнює 6° . Задній кут у перерізі по ділильному

циліндру визначають за формулою $tg\alpha_v = tg\alpha_s tg\alpha_o$.



Рисунок 6.11 – Зубонарізні довбачі

Для створення заднього кута на вершині зуба α_v і на його бічних сторонах та забезпечення незмінності профілю після переточування зуби довбача затилюють. Виконують затилювання завдяки радіальній подачі черв'ячної фрези, яка разом з осьо-

вою подачею створює прямолінійну траєкторію затилювання (рис. 6.12).

Це призводить до рівномірного зсуву початкового контуру рейки. Тому довбач можна розглядати як сукупність великої

кількості зубчастих коліс із нескінченно малою шириною δ (рис. 6.13), які мають відповідно позитивний, нульовий і негативний зсув контуру ξm . Будь-який переріз довбача, перпендикулярний до його осі, має один і той самий евольвентний профіль. Під час переточування довбача по передній поверхні «відкидаються непридатні колеса» і з нарізуваним колесом зачеплюється наступне за ними нескінченно тонке зубчасте колесо з відповідною величиною ξm . Тому й колеса, нарізані різними перерізами довбача, матимуть один і той самий евольвентний профіль.

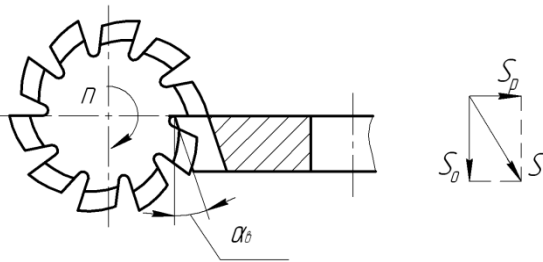


Рисунок 6.12 – Затилування довбача

Переріз, у якому зсув початкового контуру рейки дорівнює нулю ($\xi = 0$), називають *вихідним*, а відстань від переднього торця довбача до вихідного перерізу a називають *вихідною відстанню*. У цьому перерізі розміри зубів довбача (товщина зуба по дузі ділильного кола, висота головки і ніжки) будуть дорівнювати відповідним розмірам вихідного контуру рейки довбача.

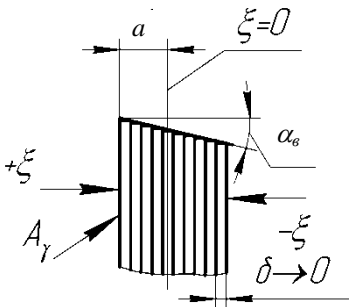


Рисунок 6.13 – Довбач як сукупність коригованих коліс

Знаючи розміри зуба у вихідному перерізі, можна визначити розміри зуба у будь-якому іншому перерізі, зокрема по передньому торцю, як розміри коригованого

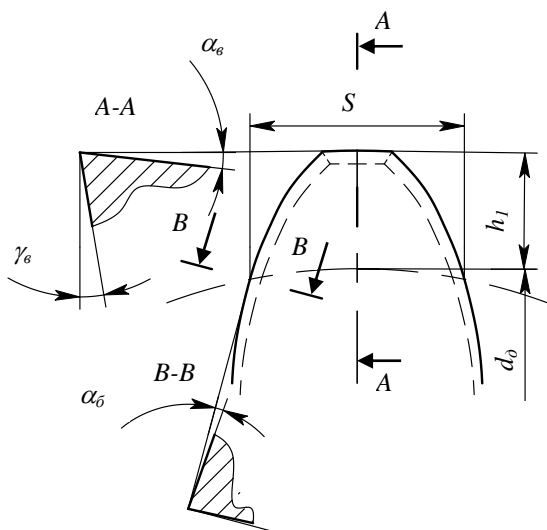


Рисунок 6.14 – Профіль зубів довбача

шинах зубів γ_0 вимірюється у площині, що проходить радіально через вісь довбача (рис. 6.14). Зазвичай він дорівнює 5° .

Дослідження І. І. Семенченка та ін. [19] показали, що збільшення γ_0 до 15° і α_0 – до 9° не викликає істотного відхилення від евольвенти, але підвищує стійкість довбачів у 3–4 рази. Тому можна рекомендувати під час оброблення звичайних конструкційних матеріалів задній кут на вершині $\alpha_0 = 9^\circ$ і передній кут $\gamma_0 = 12$ – 15° .

Якщо б довбач не мав переднього кута γ_0 , то його профільний кут у перерізі, перпендикулярному до осі, був

колеса, що має відповідний зсув початкового контуру рейки.

Передній кут γ_0 у довбача створюється завдяки тому, що торець його не плоский, а має форму конуса. Твірна цього конуса складає з площиною, перпендикулярною до осі довбача, кут, що дорівнює передньому куту γ_0 . Передній кут на вер-

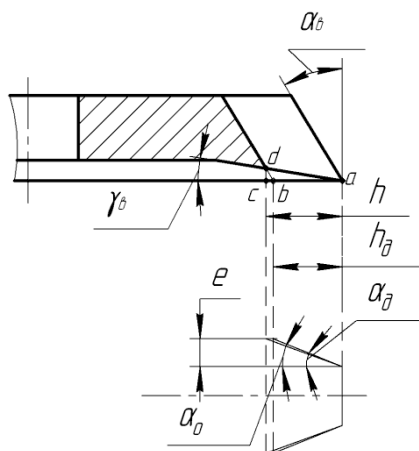


Рисунок 6.15 – Визначення профільного кута рейки довбача

повністю ідентичний із профільним кутом нарізаного колеса, тобто $\alpha_{dm} = \alpha_0$.

За наявності переднього кута профіль довбача в цьому перетині не збігається з профілем проекції передньої поверхні на торець (рис. 6.15) нарізаного колеса, $\alpha_{dm} \neq \alpha_0$.

Для спрощення розрахунків α_{dm} збільшимо кількість зубів довбача до нескінченності. Тоді він перетвориться на зуборізальну рейку. Позначимо відрізок cb як d , відрізок dc – як e .

$$\text{Маємо } tg\alpha_{dm} = \frac{e}{h} = \frac{e}{h-d},$$

$$d = c \cdot tg\alpha_g = htg\gamma_g tg\alpha_g,$$

$$\text{тоді } tg\alpha_{dm} = \frac{e}{h(1-tg\gamma_g tg\alpha_g)} = \frac{e}{h} \cdot \frac{1}{1-tg\gamma_g tg\alpha_g},$$

$$tg\alpha_{dm} = tg\alpha_o / (1-tg\gamma_g \cdot tg\alpha_g). \quad (6.1)$$

Отже, щоб отримати на нарізаному довбачем колесі заданий профільний кут, довбач повинен бути виготовлений із профільним кутом $\alpha_{dm} \neq \alpha_0$. Тому проекція профілю передньої поверхні довбача на торець колеса, а отже, і профіль зуба останнього не буде точною евольвентою.

6.4.3 Визначення розмірів зуба колеса. Висота головки зуба колеса

$$h_a = m. \quad (6.2)$$

Висота ніжки зуба колеса

$$h_f = (1+c_k)m, \quad (6.3)$$

де $c_k = 0,25$ – коефіцієнт радіального зазору.

Діаметр ділильного кола нарізаного колеса

$$d_1 = z_1 \cdot m. \quad (6.4)$$

Найменша товщина зуба колеса по хорді визначається з урахуванням допуску на виготовлення та припуску на шліфування

$$S_{ymin} = \frac{\pi m}{2} - E_{cs} - T_c + \Delta, \quad (6.5)$$

де E_{cs} – найменше відхилення товщини зуба;

T_c – допуск на товщину зуба колеса;

$\Delta = 0,2\sqrt[3]{m}$ – припуск на шліфування колеса.

6.4.4 Визначення величини вихідної відстані довбача a та параметрів довбача у вихідному перерізі. Практика зубонарізувального виробництва засвідчує, що якість нарізаних довбачем коліс із збільшенням вихідної відстані a підвищується. Із зростанням вихідної відстані зменшується небезпека підрізування профілю зубів у коліс з малою кількістю зубів. Але, з іншого боку, із збільшенням a зменшується ширина зуба на вершині S_e . Це негативно позначається на стійкості інструменту. Крім того, довбачі з більшою величиною a створюють біля ніжки зубів нарізаних коліс велику перехідну криву, що може призвести до погіршення зчеплення.

Тому зменшення ширини зуба на вершині та небезпечність заклинювання передачі є основними чинниками, що обмежують величину вихідної відстані. Вихідну відстань розраховують за формулою

$$a = \xi m \cdot ctg \alpha_e, \quad (6.6)$$

де ξ – найбільший коефіцієнт корекції.

Отже, якщо виникає потреба змінити вихідну відстань, то насамперед це можна зробити, змінивши ξ (коефіцієнт корекції) або α_e .

Висота головки зуба довбача більша від висоти головки зуба колеса для створення радіального зазору у зчепленні. Висота головки зуба довбача у вихідному перерізі дорівнює

$$h_1 = (f + c)m, \quad (6.7)$$

де $f = 0,8—1$ – коефіцієнт висоти головки зуба довбача;

$c = 0,25—0,35$ – коефіцієнт радіального зазору довбача.

На величину радіального зазору впливає і коефіцієнт корекції ξ . Наявність ξ збільшує зазор. Якщо два однакові колеса нарізати двома різними довбачами, що мають однакові величини ξ , але різну кількість зубів, то радіальний зазор вийде меншим там, де використовували довбач із більшою кількістю

зубів. Він буде найменшим, якщо колесо буде нарізане довбачем із нескінченною кількістю зубів, тобто рейкою. Якщо довбач із постійним значенням ξ нарізує два колеса з різною кількістю зубів, то менший радіальний зазор буде в колеса, де більше зубів. Найменший зазор буде під час нарізування зубчастої рейки.

Вихідними даними для проектування довбача є параметри нарізуваного колеса і передачі, а також геометрія, номінальний діаметр ділильного кола, коефіцієнт корекції та параметри зубчастої рейки довбача (рис. 6.16).

Параметри колеса та передачі

$m := 6$ $z1 := 50$ $Tc := 0.010$ $\xi_k := 0$ $ck := 0.25$
 $z2 := 99$ $Ecs := 0.006$ $\alpha_0 := 20$

Параметри довбача

$dH := 100$ $\xi := 0.15$ $c := 0.25$ $\alpha := 6$ $\gamma := 5$ $f := 1$

Рисунок 6.16 – Приклад формування вихідних даних у Mathcad для розрахунку довбача

Висота ніжки зуба довбача у вихідному перерізі

$$h_2 = (1 + c)m. \quad (6.8)$$

Висота усього зуба довбача у вихідному перерізі

$$h = h_1 + h_2. \quad (6.9)$$

Звідси діаметр виступів довбача у вихідному перерізі

$$d_e = d_o + 2h_1. \quad (6.10)$$

Номінальна товщина зуба довбача по ділильному колу у вихідному перетині

$$S_o = \pi m - S_{y_{\min}} - (0,25, \dots, 0,33)T_c. \quad (6.11)$$

Розрахунок довбача базується на конструктивних параметрах нарізуваного колеса і передачі. Необхідно визначити його параметри у вихідному перерізі та габаритні розміри.

6.4.5 Визначення габаритних розмірів довбача. Розміри приєднувального отвору, хвостовика, виїмки та інших конструктивних елементів визначають формою приєднувальних поверхонь зубодовбальних верстатів.

До габаритних розмірів довбача належать: кількість зубів z_{∂} , діаметр ділильного кола d_{∂} , діаметр виступів D_e , висота зуба вздовж осі H , діаметр приєднувального отвору в дискового та чашкового довбачів d , конус Морзе в довбача з хвостовиком. Крім того, чашковий довбач має свою висоту B та ширину маточини b , а довбач із хвостовиком – довжину L .

Довбачі конструюють з різними номінальними діаметрами ділильних кіл d_n : 12, 16, 20, 25, 38, 50, 75, 100, 125, 160, 200, 360 мм. Довбачі з хвостовиком мають номінальний діаметр ділильного кола від 12 до 38 мм. А дискові та чашкові довбачі звичайно починаються з номінального діаметра 75 мм.

Прийняте значення номінального діаметра використовують на початку розрахунків. Але потім його уточнюють, і фактичний діаметр ділильного кола відрізняється від номінального через те, що кількість зубів довбача z_{∂} – завжди ціле число. Для нарізування циліндричних коліс зовнішнього зчеплення кількість зубів довбача може бути від 15 до 40. Проте це не суворе обмеження. Так, для довбачів великих модулів, а також для нарізування коліс внутрішнього зачеплення призначають і менше ніж 15. Визначивши кількість зубів довбача за номінальним діаметром

$$z_{\partial} = d_n / m, \quad (6.12)$$

округлюємо до цілого числа. Тоді дійсний діаметр ділильного кола довбача

$$d_{\partial} = z_{\partial} \cdot m. \quad (6.13)$$

Необхідно враховувати, що дійсний діаметр ділильного кола повинен мінімально відрізнятися від номінального, причому для спрощення технології виготовлення кількість зубів необхідно вибирати парним.

Основний діаметр довбача

$$d_0 = d_o \cos \alpha_{om}.$$

Висоту зуба уздовж осі можна визначити за формулою

$$H = 2a + (3, \dots, 5) \text{ мм},$$

де a – величина вихідної відстані;

$(3, \dots, 5)$ мм – величина, що обмежує сточування довбача.

Загальна висота H лімітується також технологічним чинником і стандартом. Вона може бути збільшена порівнянно з розрахованою вище. Аналіз таблиць стандартів дає підстави визначати її за такою емпіричною залежністю:

$$H = \sqrt{82m}. \quad (6.14)$$

Діаметр приєднувального отвору d залежить від номінального діаметра ділильного кола d_n і остаточно визначається розміром оправки на верстаті (табл. 6.2) [16, 20].

Таблиця 6.2 – Співвідношення діаметрів ділильного кола та приєднувального отвору

d_n , мм	50—75	100—125	160	200—360
d , мм	31,743	44,443	88,886	101,552

Ширина маточини дискового та чашкового довбача визначається як

$$b = \sqrt{24,4m}, \quad (6.15)$$

але не менша 8 мм.

Висота чашкового довбача B удвічі більша за висоту зуба вздовж осі.

Діаметр виточки визначається як частка від діаметра ділильного кола:

$$d_1 = (0,65, \dots, 0,71) d_o. \quad (6.16)$$

Довжина довбача з хвостовиком визначається залежно від розмірів ділильного кола:

$$L = \sqrt{239d_o}. \quad (6.17)$$

6.4.6 Розміри довбача на передній поверхні. Зовнішній діаметр нового довбача

$$D_e = d_e + 2\xi m. \quad (6.18)$$

Задній кут на бічних різальних кромках довбача у точках перетину з ділильним колом

$$\operatorname{tg}\alpha_{\delta} = \operatorname{tg}\alpha_o \operatorname{tg}\alpha_o. \quad (6.19)$$

Торцева товщина зуба нового довбача

$$S = S_o + 2atg\alpha_{\delta}. \quad (6.20)$$

Після визначення параметрів нарізованого колеса визначаються конструктивні параметри довбача (рис. 6.17).

Конструктивні параметри нарізованого колеса

$$d_l = z_l \cdot m \quad h_a = m \quad h_f = (1 + c_k) \cdot m \quad \Delta = 0,2 \sqrt[3]{m}$$

$$h_l = h_a + h_f \quad \text{Якщо колесо не шліфується, то } \Delta = 0$$

$$S_{\text{умн}} = \pi \left(\frac{m}{2} \right) - Ecs - Tc + \Delta$$

Параметри довбача у вихідному перерізі

$$h_1 = (f + c) \cdot m \quad h_2 = (1 + c) \cdot m \quad z_d := \frac{dH}{m} \quad z_d = 16,667$$

$$S_d = \pi \cdot m - S_{\text{умн}} - \frac{Tc}{3} \quad h := h_1 + h_2 \quad \text{Беремо } z_d := 17$$

$$d_d = z_d \cdot m \quad d_e := d_d + 2 \cdot h_1 \quad \alpha_d := \operatorname{atan} \left[\frac{\operatorname{tan}(\alpha_0)}{(1 - \operatorname{tan}(\gamma) \cdot \operatorname{tan}(\alpha))} \right]$$

$$d_0 = d_d \cdot \cos(\alpha_d)$$

Габаритні розміри довбача

$$H = \sqrt{82 \cdot m} \quad b := \sqrt{24,4 \cdot m} \quad B := 2 \cdot H$$

$$d_l := 0,65 \cdot d_d \quad L := \sqrt{239 \cdot d_d} \quad \operatorname{tgab} := \operatorname{tan}(\alpha) \cdot \operatorname{tan}(\alpha_0)$$

$$a := \xi \cdot \frac{m}{\operatorname{tan}(\alpha)} \quad S := S_d + 2 \cdot a \cdot \operatorname{tgab} \quad D_e := d_e + 2 \cdot \xi \cdot m$$

Рисунок 6.17 – Розрахунки параметрів довбача

Потім необхідно перевірити, чи буде створений інструмент достатньо працездатний, чи не буде він підрізувати ніжку та

зрізувати головку зуба колеса і чи не виникне ускладнення під час роботи виготовленого колеса.

6.4.7 Перевірка загострення вершини зубів довбача. Загострення зубів довбача впливає на його стійкість. Мінімально допустиму товщину зуба на колі виступів визначають за формулою

$$S_{\min} = 0,51\sqrt{m}. \quad (6.21)$$

Товщину зуба на колі виступів спроектованого довбача визначають за формулою [8]:

$$S_e = D_e \left(\frac{S}{d_\delta} + \operatorname{inv}\alpha_{\delta m} - \operatorname{inv}\alpha_e \right), \quad (6.22)$$

де $\alpha_e = \arccos\left(\frac{d_\delta \cos \alpha_{\delta m}}{D_e}\right)$ – кут тиску на колі виступів довбача.

Інволюту, що входить до виразу визначення товщини зуба на вершині, визначають як $\operatorname{inv}\alpha_i = \operatorname{tg}\alpha_i - \alpha_i$.

Для забезпечення стійкості повинно бути $S_{\min} \leq S_e$. Якщо така нерівність не забезпечується створеним довбачем, тоді його переробляють, зменшуючи α , коефіцієнт корекції ξ (звичайно він дорівнює 0,15) або збільшуючи номінальне ділильне коло довбача d_n чи змінюючи кількість зубів z_δ (рис. 9.13).

6.4.8 Перевірка на інтерференцію профілів зубів (нарізаного спроектованим довбачем і парного йому коліс). Під час нарізування коліс довбачем біля ніжки зуба утворюється перехідна крива. Якщо нарізане колесо з кількістю зубів z_1 працює в парі з колесом, в якого z_2 зубів, то контакт відбувається в межах активної евольвентної ділянки на бічній поверхні. Але за деякого значення z_2 контакт виходить за межі евольвенти, і головки зубів парного колеса z_2 починають контактувати з перехідною кривою. Тоді відбувається перетин (інтерференція) профілів зубів коліс, що спричиняє швидке зношення, порушення плавності роботи, шум або навіть защемлення та руйнування зубів. Щоб перевірити, буде чи ні

інтерференція, необхідно розрахувати діаметр кола d_{G1} , на якому закінчується перехідна крива в нарізованому колесі (рис. 9.12) та діаметр, де починається активна частина профілю, d_{B1} . Звідси випливає, що

$$d_{G1} \leq d_{B1}. \quad (6.23)$$

Зі збільшенням відстані від точки, що розміщена на евольвенті профілю зуба, до центра колеса кут тиску на евольвенту збільшується. Тому якщо в якійсь точці B_1 , де закінчується робоча частина профілю зуба, кут тиску більший, ніж у точці G_1 , де евольвента переходить у перехідну криву (у цій точці закінчується «робоча поверхня» пари «довбач – колесо z_1 »)

$$\alpha_{B1} \geq \alpha_{G1}, \quad (6.24)$$

то це свідчить про те, що точка B_1 далі від центра, ніж точка G_1 [8], тобто зберігається нерівність (6.23).

Кут тиску в точці B_1 дорівнює

$$\alpha_{B1} = \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha_{12} - \frac{z_2}{z_1} (\operatorname{tg} \alpha_{e2} - \operatorname{tg} \alpha_{12}) \right), \quad (6.25)$$

де α_{12} – кут зчеплення коліс z_1 і z_2 , який визначають за формулою

$$\operatorname{inv} \alpha_{12} = \operatorname{inv} \alpha_o + 2 \frac{\xi_1 + \xi_2}{z_1 + z_2} \operatorname{tg} \alpha_o$$

(тут $\alpha_{e2} = \arccos \frac{r_2}{r_{e2}}$, а радіуси r_2 та r_{e2} визначають за формулами

$$r_2 = \frac{m z_2 \cos \alpha_o}{2 \cos \alpha_{12}}, \quad r_{e2} = m \frac{z_2 + 2}{2}).$$

Якщо колеса z_1 і z_2 некориговані, то $\alpha_{12} = \alpha_o$.

Кут тиску в точці G_1 дорівнює

$$\alpha_{G1} = \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha_{1o} - \frac{z_o}{z_1} (\operatorname{tg} \alpha_e - \operatorname{tg} \alpha_{1o}) \right), \quad (6.26)$$

де $\alpha_{1\delta}$ – кут зчеплення колеса z_1 (заготовки) і довбача. Визначають $\alpha_{1\delta}$ із формули

$$\operatorname{inv}\alpha_{1\delta} = \operatorname{inv}\alpha_0 + 2 \frac{\xi_1 + \xi_\delta}{z_1 + z_\delta} \operatorname{tg}\alpha_0. \quad (6.27)$$

Щоб знайти кут $\alpha_{1\delta}$ за формулою (6.27), де $\xi_1 = 0$, необхідно розв'язати трансцендентне рівняння $\operatorname{inv}\alpha_{1\delta} = \operatorname{tg}\alpha_{1\delta} - \alpha_{1\delta}$. Це пов'язане з деякими труднощами із застосуванням числових методів. Тому можна використати емпіричний вираз

$$\alpha_{1\delta} = 7,2272 \cdot \operatorname{inv}\alpha_{1\delta} + 0,2414. \quad (6.28)$$

Діаметри кіл, що проходять через точки B_1 та G_1 , такі:

$$d_{B_1} = d_0 \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_{B_1}}, \quad d_{G_1} = d_0 \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_{G_1}}. \quad (6.29)$$

Якщо виявлена інтерференція, то необхідно збільшити s , кількість зубів довбача або діаметр номінального ділильного кола довбача (оскільки збільшення діаметра збільшує кількість зубів). Перевірка показана на рисунку 6.18.

6.4.9 Перевірка на відсутність підрізування ніжки та зрізування головки зубів колеса довбачем. Перевірка відсутності підрізування полягає в тому, що точка G_1 може бути або на діаметрі основного кола (тоді $\alpha_{G_1} = 0$), або вище. Тобто

$$\alpha_{G_1} \geq 0. \quad (6.30)$$

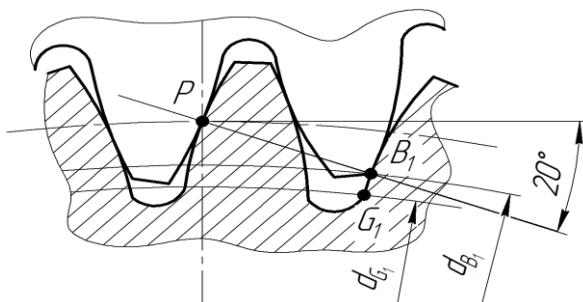


Рисунок 6.18 – Обмеження перехідної кривої та активної ділянки на профілі зуба колеса z_1

Перевірка загострення головки зуба

$$\alpha_e := \arccos\left(\frac{d_d \cdot \cos(\alpha_d)}{D_e}\right) \quad S_{\min} = 0.51 \cdot \sqrt{r_n} \quad r_{ed} = \tan(\alpha_d) \cdot d_d$$

$$i_{ae} = \tan(\alpha_e) \cdot \alpha_e \quad S_{\min} < S_e$$

$$S_e = D_e \cdot \left(\frac{S}{d_d} + i_{ad} - i_{ae}\right) \quad S_{\min} = 1.249 \quad S_e = 1.572$$

Перевірка відсутності інтерференції

$$r_2 := \frac{(m \cdot z_2)}{2} \quad r_{e2} = m \cdot \frac{(z_2 + 2)}{2} \quad \alpha_{e2} = \arccos\left(\frac{r_2}{r_{e2}}\right)$$

$$\alpha_{B1} := \arctan\left[\tan(\alpha_0) - z_2 \cdot \frac{(\tan(\alpha_{e2}) - \tan(\alpha_0))}{z_1}\right]$$

$$i_{a0} = \tan(\alpha_0) \cdot \alpha_0 \quad y_1 = 2 \cdot \xi \cdot \frac{\tan(\alpha_0)}{z_1 + z_2} \quad i_{ald} = i_{a0} + y_1$$

$$\alpha_{ld} := 7.2272 \cdot i_{ald} + 0.2414$$

$$\alpha_{G1} := \arctan\left[\tan(\alpha_{ld}) - z_d \cdot \frac{(\tan(\alpha_e) - \tan(\alpha_{ld}))}{z_1}\right]$$

$$d_{B1} := d_d \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{B1})} \quad d_{G1} = d_d \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{G1})}$$

Умова відсутності інтерференції $d_{B1} > d_{G1}$

$$d_{B1} = 116.16 \quad d_{G1} = 98.939$$

Перевірка на підрізування ніжки та зрізування головки

Підрізування немає, якщо $\alpha_{G1} \geq 0$ $\alpha_{G1} = 0.251$

$$r_1 = m \cdot \frac{z_1}{2} \quad r_{e1} = m \cdot \frac{(z_1 + 2)}{2} \quad \alpha_{e1} := \arccos\left(\frac{r_1}{r_{e1}}\right)$$

$$\alpha_{Bd} := \arctan\left[\tan(\alpha_{ld}) - z_1 \cdot \frac{(\tan(\alpha_{e1}) - \tan(\alpha_{ld}))}{z_d}\right]$$

$$\alpha_{Gd} := \alpha_{Bd} \quad d_{Gd} := d_d \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{Gd})}$$

Максимальний діаметр, де перехідна крива переходить в евольвенту без зрізування головки зуба

$$d_{Gd} = 114.178$$

Рисунок 6.19 – Перевірка конструкції довбача

Відсутність зрізування головки зуба перевіряють так. Якщо

замість пари коліс « $z_1 - z_2$ » розглянути пару «довбач – z_1 » (рис. 6.18), то наявність інтерференції буде призводити не до заклинювання «передачі», а до зрізування довбачем певної ділянки на головці зуба колеса z_1 .

Щоб цього не сталося, повинна виконуватися нерівність, аналогічна (6.24):

$$\alpha_{B\delta} \geq \alpha_{G\delta}. \quad (6.31)$$

Кут тиску головки зуба колеса z_1 у точці B_δ на робочу поверхню зуба довбача визначається за формулою

$$\alpha_{B\delta} = \arctg \left(tg\alpha_{1\delta} - \frac{z_1}{z_\delta} (tg\alpha_{e1} - tg\alpha_{1\delta}) \right), \quad (6.32)$$

де $\alpha_{e1} = \arccos \frac{d_1}{d_{e1}}$ – кут тиску на колі виступів колеса z_1 , а

$$d_{e1} = d_1 + 2h_a.$$

Тоді кут тиску в точці G_δ

$$\alpha_{B\delta} \geq \alpha_{G\delta} \geq 0. \quad (6.33)$$

Припустимо, що $\alpha_{B\delta} = \alpha_{G\delta}$, та обчислимо максимальний діаметр кола, на якому евольвента зуба довбача може переходити у перехідну криву і при цьому не зрізується головка зуба колеса

$$d_{G\delta} = \frac{d_\delta \cos \alpha_{om}}{\cos \alpha_{G\delta}}. \quad (6.34)$$

Відповідно до (6.33) одержимо, що $d_{G\delta} \geq d_0$.

Повна перевірка розрахованого раніше довбача (див. рис. 6.17) показана на рисунку 6.19.

Послідовність розрахунків довбача наведена в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Послідовність розрахунків довбача

№ пор.	Параметр	Позначення, формула
1	2	3
Вихідні дані		
1	Модуль	m
2	Кут профілю	$\alpha_o = 20^\circ$

Продовження таблиці 6.3

1	2	3
3	Кількість зубів	z_1
4	Кількість зубів у парного колеса	z_2
5	Найменше відхилення товщини зуба	E_{cs}
6	Допуск на товщину зуба	T_c
7	Коефіцієнт радіального зазору	$c_k = 0,25$
8	Коефіцієнт корекції	$\xi_k = 0,15$
9	Коефіцієнт радіального зазору довбача	$c = 0,25, \dots, 0,35$
10	Коефіцієнт корекції довбача	$\xi = 0,15$
11	Передній кут	$\gamma_6 = 5-15^\circ$
12	Задній кут довбача	$\alpha_6 = 6-9^\circ$
13	Номинальний діаметр ділильного кола довбача	$d_n = \left\{ \begin{array}{l} 12, 16, 20, 25, 38, 50, 75, \\ 100, 125, 160, 200, 360 \end{array} \right\}$
14	Коефіцієнт висоти головки зуба довбача	f
Конструктивні параметри нарізованого колеса		
15	Діаметр ділильного кола	$d_1 = z_1 \cdot m$
16	Висота головки зуба	$h_a = m$,
17	Висота ніжки зуба	$h_f = (1 + c_k) m$,
18	Висота зуба	$h_l = h_a + h_f$
19	Припуск на шліфування	$\Delta = 0,2\sqrt[3]{m}$
20	Мінімальна товщина зуба	$S_{y\min} = \frac{\pi m}{2} - E_{cs} - T_c + \Delta$
Параметри довбача у вихідному перерізі		
21	Висота головки зуба	$h_1 = (f + c) m$
22	Висота ніжки зуба	$h_2 = (1 + c) m$
23	Кількість зубів	$z_d = d_n / m$
24	Номинальна товщина зуба	$S_d = \pi m - S_{y\min} - \frac{T_c}{3}$
25	Висота зуба	$h = h_1 + h_2$

Продовження таблиці 6.3

1	2	3
26	Діаметр ділильного кола	$d_o = z_o \cdot m$
27	Діаметр виступів	$d_e = d_o + 2h_1$
28	Кут профілю довбача в торцевому перерізі	$tg\alpha_{om} = tg\alpha_o / (1 - tg\gamma_g \cdot tg\alpha_g)$
29	Основний діаметр	$d_o = d_e \cos\alpha_{om}$
Габаритні розміри довбача		
30	Зовнішній діаметр нового довбача	$D_e = d_e + 2\xi m$
31	Висота зуба вздовж осі	$H = \sqrt{82m}$
32	Ширина маточини дискового та чашкового довбача	$b = \sqrt{24,4m}, b \geq 8 \text{ мм}$
33	Висота чашкового довбача	$B \approx 2H$
34	Діаметр виточки	$d_1 = (0,65 - 0,71)d_o$
35	Довжина довбача з хвостовиком	$L = \sqrt{239d_o}$
36	Діаметр приєднувального отвору	d
37	Вихідна відстань	$a = \xi m \cdot ctg\alpha_g$
38	Торцева товщина зуба довбача	$S = S_o + 2atg\alpha_g$
39	Задній кут на бічних поверхнях	$tg\alpha_g = tg\alpha_g tg\alpha_o$
Перевірка загострення головки зуба довбача		
40	Мінімально допустима товщина зуба на колі виступів	$S_{\min} = 0,51\sqrt{m}$
41	Кут тиску на колі виступів довбача	$\alpha_e = \arccos\left(\frac{d_o \cos\alpha_{om}}{D_e}\right)$
42	Товщина зуба на колі виступів довбача	$S_e = D_e \left(\frac{S}{d_o} + inv\alpha_{om} - inv\alpha_e \right)$
43	Умова працездатності	$S_{\min} \leq S_e$

Продовження таблиці 6.3

1	2	3
Перевірка відсутності інтерференції		
44	Радіус діляльного кола та кола виступів колеса z_2	$r_2 = \frac{mz_2}{2}, r_{e2} = m \frac{z_2 + 2}{2}$
45	Кут тиску на колі виступів колеса z_2	$\cos \alpha_{e2} = \frac{r_2}{r_{e2}}$
46	Кут тиску в точці B_I	$\alpha_{B_I} = \arctg \left(tg \alpha_{12} - \frac{z_2}{z_1} (tg \alpha_{e2} - tg \alpha_{12}) \right)$
47	Кут зчеплення колеса z_I (заготовки) і довбача	$inv \alpha_{1\delta} = inv \alpha_o + 2 \frac{\xi}{z_1 + z_\delta} tg \alpha_o,$ $\alpha_{1\delta} = 7,2272 \cdot inv \alpha_{1\delta} + 0,2414$
48	Кут тиску в точці G_I	$\alpha_{G_I} = \arctg \left(tg \alpha_{1\delta} - \frac{z_\delta}{z_1} (tg \alpha_e - tg \alpha_{1\delta}) \right)$
49	Діаметри кіл, що проходять через точки B_I та G_I	$d_{B_I} = d_o \frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_{B_I}}, \quad d_{G_I} = d_o \frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_{G_I}}$
Перевірка підрізування ніжки та зрізування головки		
50	Підрізування немає	$\alpha_{G_I} \geq 0.$
51	Кут тиску на колі виступів колеса z_I	$\alpha_{eI} = \arccos \frac{d_1}{d_1 + 2h_a}$
52	Кут тиску головки зуба колеса z_I у точці B_δ	$\alpha_{B_\delta} = \arctg \left(tg \alpha_{1\delta} - \frac{z_1}{z_\delta} (tg \alpha_{eI} - tg \alpha_{1\delta}) \right)$
53	Кут тиску в точці G_δ	$\alpha_{B_\delta} \geq \alpha_{G_\delta} \geq 0$
54	Максимальний діаметр $d_{G_\delta} \geq d_o$	$d_{G_\delta} = \frac{d_\delta \cos \alpha_{\delta m}}{\cos \alpha_{G_\delta}}$

6.4.10 Робоче креслення. На робочому кресленні повинен бути зображений довбач (див. рис. 6.8—6.10) з усіма розмірами, допусками на них та зазначена шорсткість поверхонь. Повинні бути параметри його зубів та геометрія (див. рис. 6.13).

У верхньому правому куті креслення повинна бути таблиця, яка складається з трьох частин. Зверху (табл. 6.4) записують основні конструктивні дані (m, z), потім – дані, необхідні для контролю довбача (ξ, c, f) та (F_p, f_f , які в три – чотири рази менші за відповідні дані нарізованого колеса), а за ними – довідкові дані ($d_n, d_{G\theta}, d_o$) [11].

Такі технічні вимоги, як допуски на радіальне биття зубців довбача, торцеве биття передньої поверхні, неперпендикулярності опорної поверхні та поверхні приєднувального отвору, непаралельності опорних площин, показати умовними позначеннями на кресленні. Їх значення визначають як 0,25 – 0,33 відповідних значень нарізованого колеса. На діаметр приєднувальної поверхні d призначають допуск за п'ятим квалітетом. Відхилення геометрії зуба до $\pm 5'$.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментальної сталі;
- марку сталі хвостовика (сталь 45 за ГОСТом 1050-60 або 40X за ГОСТом 4593-61);
- твердість робочої частини, HRC 62-65;
- твердість хвостовика, HRC 45;
- робоча частина не повинна мати зон із заниженим вмістом вуглецю зі зниженою твердістю.

Таблиця 6.4 – Приклад конструктивних, контрольних та довідкових даних

Модуль	m	6
Кількість зубів	z	17
Коефіцієнт зсуву	ξ	0,15
Коефіцієнт радіального зазору	c	0,25
Коефіцієнт висоти головки зуба	f	1
Допуск на накопичену похибку кроку	F_p	16
Допуск на похибку профілю	f_f	8
Номинальний ділильний діаметр	d_n	125
Діаметр початку перехідної кривої	$d_{G\theta}$	114,178
Основний діаметр	d_o	95,744

6.5 Зубонарізна гребінка

З інструментів, що працюють за методом обточування, найбільш простими є зубонарізні гребінки. Гребінка є рейкою, забезпеченою переднім і заднім кутами. Утворення гребінкою зубів колеса відтворює зачеплення рейки з колесом (рис. 6.20 а). Під час оброблення, окрім руху різання D_V , гребінка і заготовка здійснюють узгоджені рухи подачі S та обертання n_d . Це відбувається під час кочення без ковзання початкового кола нарізованого колеса по початковій прямій гребінки.

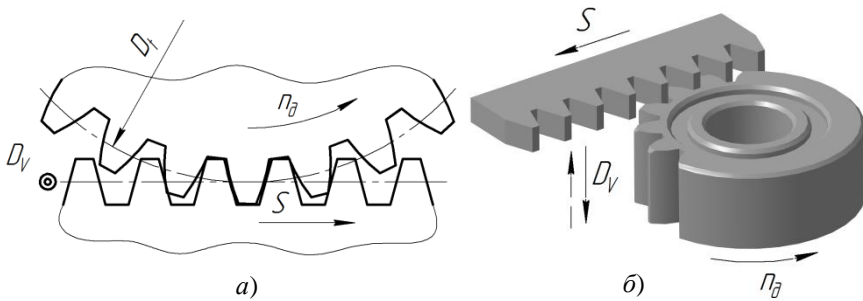


Рисунок 6.20 – Утворення зубів коліс гребінкою

Різнання здійснюють зворотно-поступальними рухами гребінки паралельно осі колеса під час нарізування прямозубих коліс і похило до його осі під час нарізування косозубих коліс.

Зубонарізні гребінки застосовують на зубостругальних верстатах для нарізування коліс зовнішнього зачеплення. Гребінки бувають прямозубі – для нарізування коліс з прямими зубами, і косозубі – для нарізування коліс із гвинтовими і шевронними зубами. Гребінками можна нарізувати блокові колеса з буртом за оброблюваним вінцем.

Для скорочення довжини гребінки її після нарізування декількох западин виводять із зачеплення із заготовкою і повертають у вихідне положення. Після цього відбувається

оброблення наступних западин колеса. На рисунку 6.20 б показано кінцеве положення перед поверненням гребінки для нарізування наступних зубів. Це є недоліком такого інструмента: або довжина гребінки повинна бути $L_{zp} \geq \pi D_t$, або періодично її необхідно повертати у вихідне положення. Крім того, під час різання використовується зворотно-поступальний рух.

6.6 Гребінчаста зубонарізна фреза

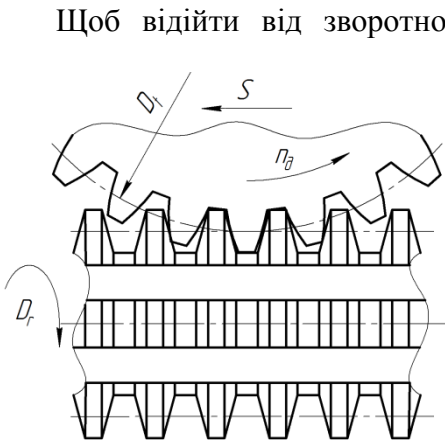


Рисунок 6.21 – Схема роботи зубонарізної гребінчастої фрези

Щоб відійти від зворотно-поступального руху вихідний інструментальний контур обертають навколо деякої осі, утворюючи тіло обертання, профіль якого збігається з профілем зубонарізної гребінки (рис. 6.21). Для утворення різальних кромek, поверхню паралельно осі перетинають стружковими канавками з глибиною не меншою ніж висота зуба колеса.

Це дозволяє здійснювати різання під час обертання фрези навколо її осі, але довжина повинна бути $L_{zp} \geq \pi D_t$, або, так само, як і зубонарізну гребінку, періодично повертати у вихідне положення.

6.7 Черв'ячні фрези

6.7.1 Фрези для зубчастих коліс. Така незручність може бути подолана, якщо зважити на те, що профіль гвинтової поверхні рухається поступально вздовж осі обертання. Отже, створюємо тіло, рухаючи вихідний інструментальний контур по гвинтовій траєкторії,

перетинаємо нормально утворені витки стружковими канавками та отримуємо інструмент, довжина якого L визначається лише обмеженнями контакту двох ланок зубчастого механізму (рис. 6.22). Такий інструмент можна назвати гребінчастою фрезою з гвинтовою задньою поверхнею

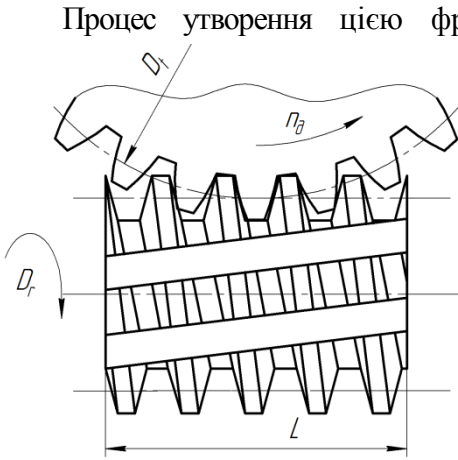


Рисунок 6.22 – Схема роботи зубонарізної гребінчастої фрези з гвинтовою задньою поверхнею

Процес утворення цією фрезою профілю зубів колеса аналогічний процесу зчеплення черв'ячного колеса з черв'яком (рис. 6.23), тому її називають «черв'ячною фрезою». Черв'ячні фрези бувають загального призначення класів A, B, C, D , прецезійні – класу AA , і складені – класів A, B, C, D . Формоутворення базується на огинанні послідовних положень різальної кромки під час кочення без ковзання центроїди інструменту по центроїді деталі. Центроїди оброблюваної деталі й

інструменту не матеріальні, а уявні, і взаємне їх кочення забезпечується кінематикою верстата. Крім руху огинання, для

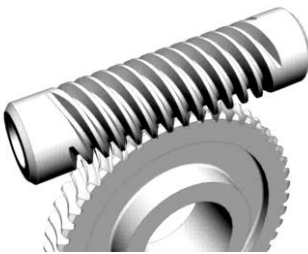


Рисунок 6.23 – Черв'як і черв'ячне колесо

оброблення необхідний рух різання. Він створюється обертанням черв'ячної фрези. Відповідно до умов зчеплення фреза і нарізуване колесо безперервно обертаються навколо своїх осей. За один оберт фрези колесо повертається на один крок (при однозахідній фрезі) або на $1/z_k$ оберту, де z_k – кількість зубів колеса.

У фрезі роблять поздовжні, зазвичай гвинтові, канавки для утво-

рення передніх поверхонь зубів і різальних кромки, а задні поверхні створюють затилуванням.

Черв'ячні фрези бувають монолітні і складені (рис. 6.24). Відомо, що для надійного зчеплення зубчастих коліс їх зуби повинні правильно зчіплюватися з однією і тією самою

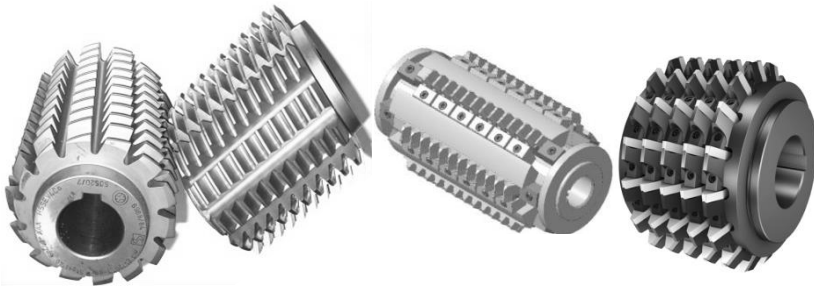


Рисунок 6.24 – Черв'ячні фрези

зубчастою рейкою (вихідний контур зубчастої рейки). Для цього необхідно, щоб у перерізі, нормальному до напрямку зубів рейки, в обох коліс були рівні кроки і кути профілю. Отже, і фреза в перерізі, нормальному до напрямку витків на ділільному циліндрі, повинна мати крок зубів p_n і кут профілю α , які відповідно дорівнюють кроку і куту профілю нарізаного колеса по його ділільному циліндру (рис. 6.25), що визначає вихідний контур

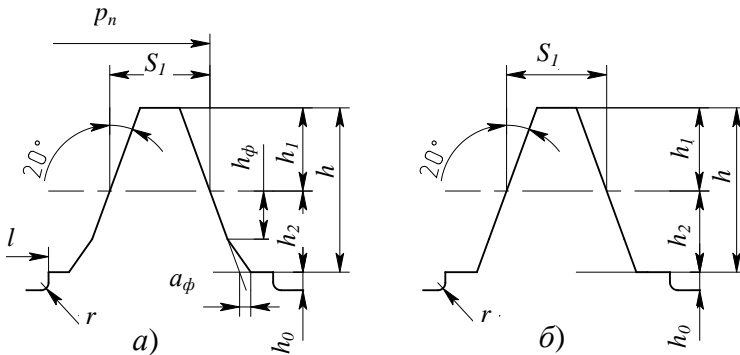


Рисунок 6.25 – Розміри профілю зубів фрези для коліс:
 а) зі зрізаною вершиною; б) із незрізаною вершиною

інструментальної рейки.

Головка зуба фрези h_1 має таку саму висоту, як і ніжка зуба нарізаного колеса. Зазвичай $h_1 = 1,25m$ і $h_2 = 1,25m$. Товщина зуба S_1 дорівнює ширині западини колеса. Найменшу товщину зуба колеса по хорді визначають з урахуванням допуску на виготовлення та припуску на шліфування:

$$S_{\kappa \min} = \frac{\pi m}{2} - E_{cs} - T_c + \Delta, \quad (6.35)$$

де E_{cs} – найменше відхилення товщини зуба;

T_c – допуск на товщину зуба колеса;

$\Delta = 0,2\sqrt[3]{m}$ – припуск на шліфування колеса.

Тоді номінальна товщина зуба фрези по ділильній прямій

$$S_1 = \pi m - S_{\kappa \min}. \quad (6.36)$$

У фрезах зі шліфованим профілем у западині роблять канавки глибиною $h_0 \geq 4$ мм для полегшення роботи шліфувального круга.

Черв'ячні фрези з позитивним переднім кутом ріжуть краще, проте водночас спотворюється профіль нарізаного колеса. Тому звичайно призначають передній кут таким, що дорівнює нулю, а фрези з позитивним значенням переднього кута використовують лише для попереднього оброблення. Задній кут на вершині утворюється завдяки затилуванню зубів за архімедовою спіраллю. Величину затилування визначають як

$$k = \frac{\pi D_e}{z_\phi} \operatorname{tg} \alpha_\phi, \quad (6.37)$$

де D_e – зовнішній діаметр;

z_ϕ – кількість зубів фрези;

α_ϕ – задній кут на вершині.

Шліфувальний круг не може обробити всю задню поверхню зуба. Щоб нешліфована частина не виступала над шліфованою, її зрізують (рис. 6.26), затилуючи з більшим значенням коефіцієнта затилування

$$k_1 = (1,5, \dots, 1,75)k. \quad (6.38)$$

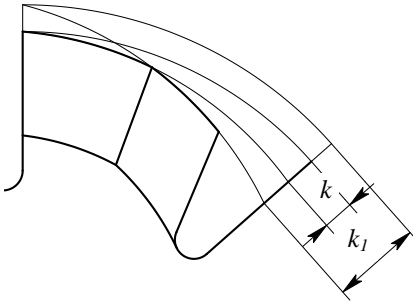


Рисунок 6.26 – Зуб із подвійним затилюванням

Фрези бувають загального призначення, прецизійні та складені. Відповідно до цього рекомендують [12, 19] призначати такі зовнішні діаметри D_e та кількості зубів z_ϕ (табл. 6.5).

Буртики мають ширину l_1 , що дорівнює 3—5 мм, та діаметр d_1 , на 1—2 мм менший від кола, дотичного до дна стружкової канавки (рис. 6.27).

Глибина стружкової канавки дорівнює

$$H = h_1 + h_2 + \frac{k + k_1}{2} + h_0, \quad (6.39)$$

де k і k_1 – величини першого та другого затилювання.

Таблиця 6.5 – Рекомендовані значення зовнішнього діаметра та кількості зубів фрези

Фреза	m , мм	D_e , мм	z_ϕ
Загального призначення	1—14	63—180	9—12
Прецизійна	1—10	70—225	12—16
Складена	10—20	180—250	8

Діаметр приєднувального отвору можна визначити за формулою

$$d = (0, 20, \dots, 0, 45) D_e. \quad (6.40)$$

Кут піднімання витків фрези по ділильному циліндру діаметром D_t визначають як $tg \tau = \frac{P_0}{\pi D_t}$. Ураховуючи, що

$$P_0 = \frac{P_n}{\cos \tau}, \text{ одержуємо}$$

$$tg \tau = \frac{P_n}{\pi D_t \cos \tau} \text{ або } \sin \tau = \frac{P_n}{\pi D_t} = \frac{m}{D_t}.$$

Під час нарізування зубчастих коліс кут τ не повинен бути більшим ніж 3° . Через те що стружкова канавка проходить нормально до витків черв'яка, кут її нахилу такий, як і кут підйому витків черв'яка, тобто $\beta = \tau$.

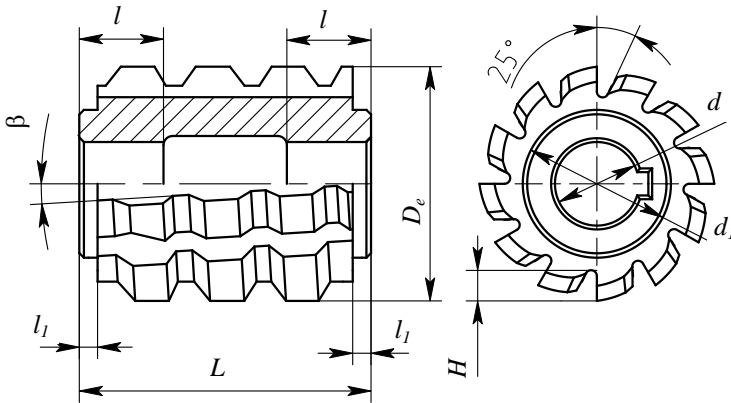


Рисунок 6.27 – Габаритні розміри фрези

Для того щоб витки фрези і зуби колеса контактували з однією просторовою рейкою,

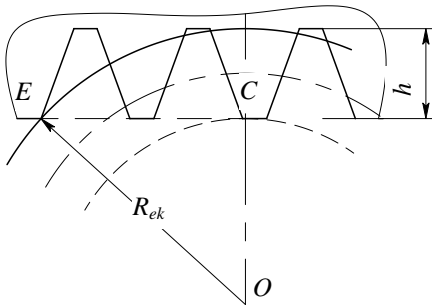


Рисунок 6.28 – Схема для визначення довжини фрези

вісь фрези повинна бути встановлена під кутом τ до нормального перерізу рейки, а отже, і колеса. Наприклад, якщо в прямозубого колеса нормальний до напрямку зуба перетин збігається з торцем, то вісь фрези для його оброблення встановлюється під кутом τ до торця колеса.

Довжина фрези переважно залежить від зовнішнього діаметра та модуля нарізуваного колеса. Половина робочої частини не повинна бути меншою від відрізка EC (рис. 6.28), довжина якого визначається як

$$EC = \sqrt{R_{ek}^2 - (R_{ek} - h)^2} = \sqrt{(2R_{ek}h)h}.$$

Практика довела, що встановивши інструмент на верстаті, його необхідно періодично зсувати вздовж оправки. Це дозволяє продовжити термін експлуатації і тим самим зменшити складову витрат на інструмент у собівартості деталі. Крім того, потрібно мати можливість зрізати частину витка черв'яка, де профіль менший ніж 0,33 від номінального. Тому розраховану довжину робочої частини (дві довжини відрізка EC) збільшують у 4–5 разів. З урахуванням довжини буртиків одержуємо

$$L = 10\sqrt{(2R_{ek} - h)h} + 2l_1. \quad (6.41)$$

6.7.2 Фрези для шліцьових валів. Метод огинання використовують не лише для оброблення зубчастих коліс з евольвентним профілем, а й для оброблення деталей з іншими профілями. Це можуть бути циліндричні зубчасті колеса з циклоїдним профілем, зубчасті колеса для ланцюгів, шліцьові вали, багатогранники, деталі з фасонним профілем, розміщеним на конічній, торцевій та внутрішній поверхнях, різі, зубчасті рейки та ін.

При аналітичному визначенні конструктивних параметрів черв'ячної фрези для оброблення шліцьового вала *розміри його профілю* є вихідними даними. До того ж необхідно враховувати допуски на розміри деталі та специфічні умови оброблення за методом огинання (рис. 6.29).

Зменшення розрахункового зовнішнього діаметра порівняно з фактичним спричиняє відповідне зменшення розрахункового діаметра початкового кола оброблення, що може позначитися на деякому зрізуванні профілю деталі за межами прийнятого розрахункового зовнішнього діаметра. Тому розрахунковий зовнішній діаметр повинен бути таким, що дорівнює максимальному допустимому зовнішньому діаметру.

Якщо вершина шліца обмежується фаскою або заокругленням, то в розрахунках використовується коло, яке

проходить через граничну точку прямолінійної ділянки профілю (початок фаски) або через центр заокруглення:

$$D_p = D_{\max} = D + es - 2f . \quad (6.42)$$

+

Вихідні дані:

$d := 32$	$esd := -0.31$	$eid := -0.47$
$D := 36$	$esD := -0.31$	$eiD := -0.47$
$b := 6$	$esb := 0$	$eib := -0.058$
$z := 8$	$f := 0.5$	$\alpha b := 12$

Розрахункові параметри:

$$D_p := D + esD - 2 \cdot f \quad dp := d + eid + 0.25 \cdot |esd - eid|$$

$$bp := b + eib + 0.25 \cdot |esb - eib| \quad r := 0.5 \cdot \sqrt{D_p^2 - 0.75 \cdot bp^2}$$

$$h := r - \frac{dp}{2} \quad \gamma := \arcsin \left[\frac{bp}{(2 \cdot r)} \right]$$

Рисунок 6.29 – Розміри вала для розрахунку в Mathcad

Ураховуючи можливість розбиття профілю деталі під час оброблення, розрахункові розміри діаметра кола западин і ширину шліца беруть у межах допуску на їх виготовлення:

$$d_p = d_{\min} + 0,25Td , \quad (6.43)$$

$$b_p = b_{\min} + 0,25Tb , \quad (6.44)$$

де Td та Tb – відповідно допуски на виготовлення d і b .

Радіус початкового кола визначають за формулою

$$r = 0,5 \sqrt{D_p^2 - 0,75b_p^2} . \quad (6.45)$$

Висота ніжки шліца

$$h = r - \frac{d_p}{2} . \quad (6.46)$$

Прямолінійний профіль деталі визначається кутом профілю γ_i (рис. 6.30) між прямою профілю і радіусом, проведеним у дану точку. Для різних точок одного профілю кути профілю різні. Для вала з паралельними шліцями можна записати

$$\sin \gamma_i = \frac{b}{2r_i}. \quad (6.47)$$

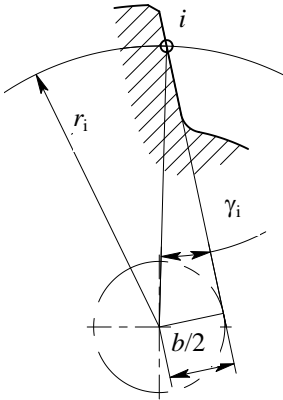


Рисунок 6.30 – Кут профілю шліцьового вала

Профіль зуба фрези визначається у прямокутній системі координат XOY , пов'язаний з інструментом [16] (рис. 6.31). Вісь абсцис спрямована по початковій прямій фрези, а початок координат знаходиться у точці перетину профілю зуба фрези з початковою прямою. Вісь ординат перпендикулярна до початкової прямої і спрямована в бік центра деталі. Вихідним є положення, коли профілі деталі та інструменту контактують у полюсі P . Водночас початок координат також знаходиться в точці P .

Довільне положення профілю деталі визначається поворотом на кут φ від початкового положення. Зважаючи на те що початкова пряма зубів фрези (рейки) котиться без ковзання по початковому колу деталі, то при повороті профілю деталі на кут φ профіль зубів фрези і система координат перемістяться від полюса P уздовж початкової прямої на відстань $r\varphi$ (r – радіус початкового кола).

Координати точок профілю зуба фрези (рейки) визначаються як

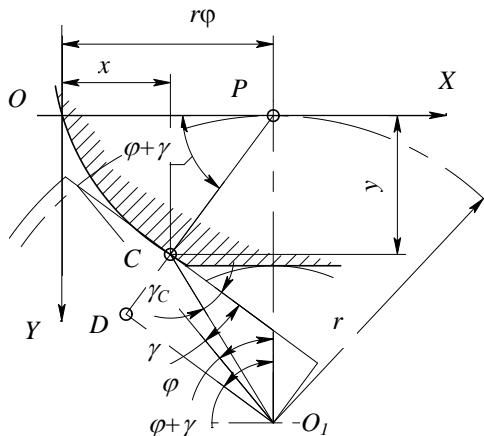


Рисунок 6.31 – Визначення профілю зуба фрези

$$x = r\varphi - PC \cdot \cos(\varphi + \gamma),$$

$$y = PC \cdot \sin(\varphi + \gamma).$$

Відстань PC від полюса до точки профілізації (рис. 6.31) дорівнює різниці відрізків PD і CD :

$$PC = r \sin(\varphi + \gamma) - r \sin \gamma.$$

Тоді

$$x = r \left\{ \varphi - [\sin(\varphi + \gamma) - \sin \gamma] \cos(\varphi + \gamma) \right\}, \quad (6.48)$$

$$y = r [\sin(\varphi + \gamma) - \sin \gamma] \sin(\varphi + \gamma). \quad (6.49)$$

Суму кутів $\varphi + \gamma$ визначають так. Відрізок DO_1 (рис. 6.31) дорівнює

$$DO_1 = r_c \cos \gamma_c,$$

де r_c – радіус кола з центром у точці O_1 , яке проходить через точку C ;

γ_c – кут профілю в довільній точці C .

Із трикутника DO_1P одержуємо

$$\varphi + \gamma = \arccos\left(\frac{DO_1}{r}\right) = \arccos\left(\frac{r_c}{r} \cos \gamma_c\right). \quad (6.50)$$

Координати x та y визначають за зміни значень φ у межах, що відповідають крайнім точкам профілю.

Знайдений профіль зуба замінюють дугою кола, оскільки таку форму виготовити набагато простіше. Щоб визначити радіус і центр замінного кола, використовують три точки профілю зуба фрези [16] з координатами $A_0(x_0, y_0)$, $A_1(x_1, y_1)$ і $A_2(x_2, y_2)$ (рис. 6.32). Початок координат розміщують у точці A_0 , через яку проходить початкове коло деталі (і початкова пряма профілю інструменту). Точка A_1 профілю зуба контактує з профілем шліца на колі з радіусом

$$r_1 = r - 0,5h, \quad (6.51)$$

а точка A_2 контактує на колі з радіусом

$$r_2 = r - 0,9h. \quad (6.52)$$

Кути між хордами, що з'єднують ці точки, та віссю x дорівнюють

$$\sigma_1 = \arctg\left(\frac{y_1}{x_1}\right), \quad \sigma_2 = \arctg\left(\frac{y_2}{x_2}\right), \quad \sigma_3 = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right).$$

Кут між хордами A_0A_1 та A_0A_2 дорівнює половині центрального кута, який спирається на точки A_1 та A_2 , тобто $\delta = \sigma_1 - \sigma_2$. Хорда A_1A_2 дорівнює

$$A_1A_2 = \frac{y_2 - y_1}{\sin \sigma_3}.$$

На підставі цього визначають (рис. 6.33) радіус замінного кола та координати його центра:

$$R_k = \frac{A_1A_2}{2 \sin \delta} = \frac{y_2 - y_1}{2 \sin \delta \sin \sigma_3}, \quad (6.53)$$

$$x_k = R_k \sin(\sigma_3 + \delta) + x_1, \quad y_k = y_1 - R_k \cos(\sigma_3 + \delta). \quad (6.54)$$

Для перевірки точності такої заміни визначають відхилення Δ дуги замінного кола від теоретичної кривої у двох точках профілю. Ці точки знаходяться між A_0 і A_1 та між A_1 і A_2 .

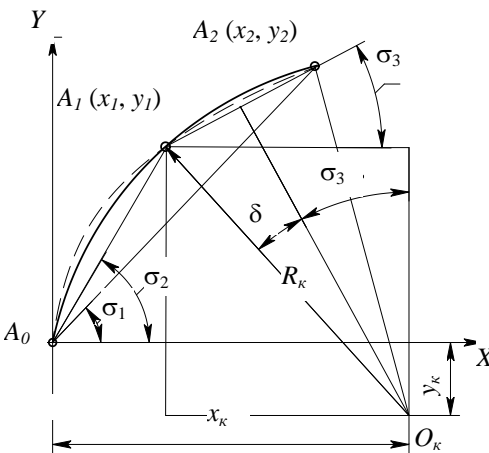


Рисунок 6.32 – Заміна кривої профілю

Координати їх визначають за формулами для розрахунку профілю зуба. Відстань від будь-якої точки теоретичного профілю до центра замінного кола

$$F = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}.$$

Найбільша різниця між цією відстанню та радіусом замінного кола з достатньою точністю визначить похибку замінування:

$$\Delta = F - R_k. \quad (6.55)$$

Якщо різниця перевищує 2/3 допуску на відхилення профілю, то вибирають точки A_1 і A_2 з іншими координатами. Коли і це не допомагає, то профіль зуба замінюють дугами двох кіл.

Координати першої точки на профілі

$$r1 := r - 0.5 \cdot h \quad \gamma1 := \arcsin \left[\frac{bp}{(2 \cdot r1)} \right] \quad \alpha1 := \arccos \left(\frac{r1 \cdot \cos(\gamma1)}{r} \right)$$

$$x1 := r \cdot (\alpha1 - \sin(\alpha1)) \cdot \cos(\alpha1) - \gamma + \sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha1)$$

$$y1 := r \cdot (\sin(\alpha1) \cdot \sin(\alpha1) - \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha1))$$

Координати другої точки на профілі

$$r2 := r - 0.9 \cdot h \quad \gamma2 := \arcsin \left[\frac{bp}{(2 \cdot r2)} \right] \quad \alpha2 := \arccos \left(\frac{r2 \cdot \cos(\gamma2)}{r} \right)$$

$$x2 := r \cdot (\alpha2 - \sin(\alpha2)) \cdot \cos(\alpha2) - \gamma + \sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha2)$$

$$y2 := r \cdot (\sin(\alpha2) \cdot \sin(\alpha2) - \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha2))$$

Параметри замінного кола

$$\sigma1 := \operatorname{atan} \left(\frac{y1}{x1} \right) \quad \sigma2 := \operatorname{atan} \left(\frac{y2}{x2} \right) \quad \sigma3 := \operatorname{atan} \left[\frac{(y2 - y1)}{(x2 - x1)} \right] \quad \delta := \sigma1 - \sigma2$$

$$Rk := \frac{(y2 - y1)}{(2 \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\sigma3))} \quad xk := Rk \cdot \sin(\sigma3 + \delta) + x1$$

$$yk := y1 - Rk \cdot \cos(\sigma3 + \delta)$$

Рисунок 6.33 – Визначення параметрів замінного кола

Черв'ячною фрезою не можна правильно обробити прямолінійний профіль деталі до внутрішнього кола. Це пов'язане з тим, що повний теоретичний профіль бічної

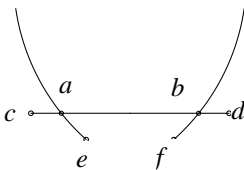


Рисунок 6.34 – Повний профіль зуба

поверхні і вершина зуба перетинаються (рис. 6.34). Якщо відкинути відрізки ac , ae , bd , bf , то бічна поверхня шліца та внутрішній циліндр будуть оброблятися не повністю, між ними утворюється криволінійна ділянка – *перехідна крива*. Якщо ж залишити

відрізки ae , bf , то біля підніжжя шліца створюється заглиблення, яке використовують як технологічний елемент під час шліфування внутрішньої поверхні шліцьового вала. Таке конструктивне доопрацювання профілю зуба дозволяє отримати фрезу без «вусиків» (рис. 6.35) та фрезу з «вусиками» (рис. 6.36). Фрезу без «вусиків» застосовують для виготовлення валів за виконанням B та C , а фреза з «вусиками» утворює вали виконання A (рис. 6.37).

Розміри профілю зубів фрези в перерізі, нормальному до її витків, дорівнюють розмірам профілю рейки, пов'язаної з профілем оброблюваної деталі. У цьому перерізі (рис. 6.25) крок зубів фрези p_n дорівнює кроку по початковому колу деталі

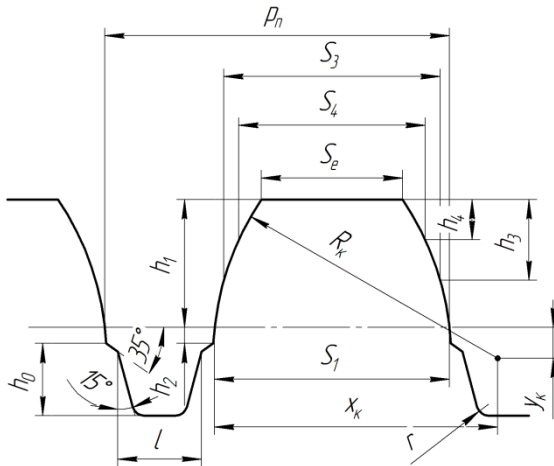


Рисунок 6.35 – Параметри профілю зубів фрези без «вусиків»

$$p_n = \frac{2\pi r}{z}, \text{ де } z - \text{кількість шліців; } r - \text{радіус початкового кола}$$

виробу. Ширина зуба фрези по початковій прямій дорівнює ширині западини профілю деталі S .

Зовнішнє коло зубів фрези обмежується паралельною до початкової лінії прямою, дотичною до внутрішнього кола оброблюваного профілю деталі.

Зовнішній циліндр деталі цими черв'ячними фрезами не обробляють, між ним і дном западини профілю фрези існує невеликий зазор. Біля підніжжя профілю зуба створюють фаску або заокруглення відповідно до форми вершини профілю деталі. Кут фаски зазвичай дорівнює 35° (рис. 6.35, 6.36).

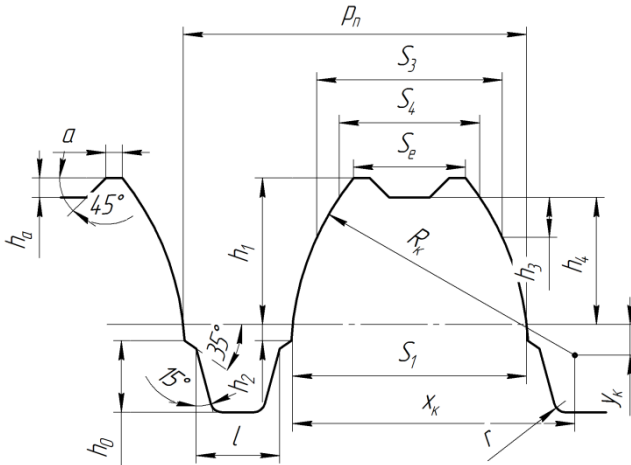


Рисунок 6.36 – Параметри профілю зубів фрези з «вусиками»

Для полегшення шліфування профілю зубів і розвантаження вершини круга у фрезах зі шліфованим профілем на дні западини роблять затиловану канавку шириною l . У фрезах із

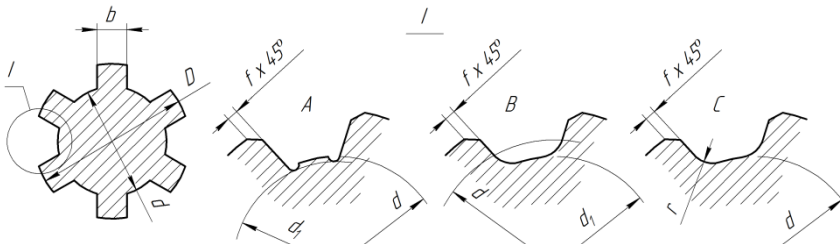


Рисунок 6.37 – Конструктивні параметри шліфувального вала

нешліфованим профілем канавку можна не робити. Бічні поверхні канавки можуть бути паралельними або під кутом 15° .

На кресленні профілю зуба фрези в нормальному перерізі показують товщину зуба по початковій прямій S_1 , на зовнішньому діаметрі S_e – висоту головки зуба h_1 , ніжки зуба h_2 , для фрези з «вусиками» – висоту вусика h_a , радіус R_k і координати центра дуги замінного кола x_k і y_k . Повинно бути ще два – три розміри товщини зуба на певних відстанях від початкової прямої, які використовують у разі контролю. Ці товщини вимірюються у тих точках профілю, через які проведені замінні кола. Проте визначити якусь відстань від початкової прямої на реальному інструменті неможливо. Через це, отримавши їх теоретично, як ординати точок профілю розраховують відстані цих самих точок від вершини і відповідні значення ширини зуба (рис. 6.38):

$$h_i = h - y_i, \quad S_i = S_1 - 2x_i,$$

де x_i , y_i – абсциса та ордината i -ї точки теоретичної кривої профілю.

Точка профілю зуба фрези, що лежить на початковій прямій, пройде в поступальному русі шлях, що дорівнює товщині зуба, коли шліцьовий вал повернеться на кут $\varphi = \frac{2\pi}{z} - 2\gamma$. Звідси товщина зуба фрези по початковій прямій

$$S_1 = 2r \left(\frac{\pi}{z} - \gamma \right). \quad (6.56)$$

Виміряти з великою точністю товщину зуба на вершині важко. Тому в разі одного замінного кола у фрезах без «вусиків» зазначають S_4 на відстані $h_4 = 0,3—0,4$ мм, а у фрезах з «вусиками» – на висоті вусика h_4 . Якщо використовують два кола, то розміри в останній точці (на вершині) не контролюють.

Висоту головки у фрезі з вусиками визначають відповідно до формул (6.49), (6.50) з радіусом, що дорівнює розрахунковому внутрішньому радіусу шліцьового вала:

$$h_1 = r \left(\sin^2 \alpha_2 - \sin \gamma \sin \alpha_2 \right), \quad (6.57)$$

$$\alpha_e = \arccos\left(\frac{d_p}{2r} \cos \gamma_e\right), \quad \gamma_e = \arcsin\left(\frac{b_p}{d_p}\right).$$

Товщина зуба по діпильному колу та крок по нормалі

$$S_1 := \left(\frac{\pi}{z} - \gamma\right) \cdot 2 \cdot r \quad p_n := 2 \cdot \pi \cdot \frac{r}{z}$$

Висота ніжки зуба фрези

$$m := \frac{D_p}{2} \quad \gamma_n := \arcsin\left[\frac{b_p}{(2 \cdot m)}\right] \quad \alpha_n := \arccos\left(\frac{m \cdot \cos(\gamma_n)}{r}\right)$$

$$y_n := r \cdot (\sin(\alpha_n) \cdot \sin(\alpha_n) - \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha_n)) \quad h_2 := |y_n|$$

Профіль фрези з "вусиками"

висота головки зуба фрези h1

$$r_g := \frac{d_p}{2} \quad \gamma_g := \arcsin\left[\frac{b_p}{(2 \cdot r_g)}\right] \quad \alpha_g := \arccos\left(\frac{r_g \cdot \cos(\gamma_g)}{r}\right)$$

$$y_g := r \cdot (\sin(\alpha_g) \cdot \sin(\alpha_g) - \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha_g)) \quad h_1 := y_g$$

товщина зуба фрези на висоті h1

$$\beta_g := \arcsin\left(\frac{h_1 - y_k}{R_k}\right) \quad S_g := S_1 - 2 \cdot (x_k - R_k \cdot \cos(\beta_g))$$

висота h3: h3 := h - y1

товщина зуба фрези на висоті h3: S3 := S1 - 2 · x1

висота h4: h4 := h

товщина зуба фрези на висоті h4

$$\beta_4 := \arcsin\left(\frac{h_4 - y_k}{R_k}\right) \quad S_4 := S_1 - 2 \cdot (x_k - R_k \cdot \cos(\beta_4))$$

$$h_a := h_1 + h_2 - h$$

Рисунок 6.38 – Визначення параметрів профілю зуба з «вусиками»

Товщину зуба на вершині визначають через координату x точки, яка належить заміньому колу (див. рис. 6.32):

$$S_e = S_1 - 2(x_k - R_k \cos(\beta_e)), \quad \beta_e = \arcsin\left(\frac{h_1 - y_k}{R_k}\right). \quad (6.58)$$

Висота $h_3 = h - y_1$, а товщина $S_3 = S_1 - 2x_1$.

Висота $h_4 = h$, а товщина S_4 знову ж таки відповідно до рисунка 6.32:

$$S_4 = S_1 - 2(x_k - R_k \cos(\beta_4)), \beta_4 = \arcsin\left(\frac{h_4 - y_k}{R_k}\right). \quad (6.59)$$

Висота вусика дорівнює $h_a = h_1 - h$.

Під час проектування фрези без вусиків значення h_4 задається. Товщину S_4 визначають через координату x за виразами (6.59). Значення h_3 та S_3 , як у фрезі з вусиками, визначають через координати точки A_1 . Висота головки дорівнює h , а ширину зуба на вершині S_e розраховують за виразами, подібними до (6.58), (6.59).

Висоту ніжки зуба фрези визначають за формулами (6.49), (6.50) з радіусом, що дорівнює розрахунковому зовнішньому радіусу шліцьового вала:

$$h_2 = r(\sin^2 \alpha_n - \sin \gamma \sin \alpha_n), \quad (6.60)$$

$$\alpha_n = \arccos\left(\frac{D_p}{2r} \cos \gamma_n\right), \quad \gamma_n = \arcsin\left(\frac{b_p}{D_p}\right).$$

Основні вимоги щодо вибору *габаритних і конструктивних розмірів* черв'ячних зубонарізних фрез справедливі і для шліцьових фрез. Тому нижче наведені лише деякі особливості розрахунку.

Зважаючи на значну величину кроку профілів шліцьових валів, кут $\tau = \beta$ підйому витків фрези виходить більшим, ніж в аналогічних черв'ячних фрез для зубчастих коліс. Кут підйому витків допускають до $\tau = 6^\circ$, а іноді – й до 10° .

Для поліпшення чистоти і правильності оброблення кількість зубів фрези необхідно призначати по можливості більшою. Діаметр D_e та кількість зубів фрези z_{ϕ} призначають залежно від висоти оброблюваного профілю. Можна скористатися емпіричними залежностями.

Для легкої серії

$$D_e = 11(D - d) + 37. \quad (6.61)$$

Для середньої та важкої серій

$$D_e = 7,7(D - d) + 39,9. \quad (6.62)$$

Менші діаметри і більша кількість зубів взяті для валів із меншою висотою профілю – для валів легкої серії [20]. Великі діаметри і меншу кількість зубів призначають для валів середньої і важкої серій (табл. 6.6).

Залежність між діаметром фрези, кроком і кутом підйому витків визначається за однією з таких формул:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{P_0}{\pi D_t} \quad \text{або} \quad \sin \tau = \frac{P_n}{\pi D_t}. \quad (6.63)$$

Таблиця 6.6 – Рекомендації щодо співвідношення між зовнішнім діаметром та кількістю зубів фрези

Серія вала	Зовнішній діаметр фрези D_e , мм	Кількість зубів z
Легка	70—80	12
	90—125	14
Середня та важка	63—90	10
	100—140	12

Розрахунковий ділильний діаметр цих фрез D_t так само, як і черв'ячних зубонарізних фрез, беруть у перерізі, віддаленому від передньої поверхні на 0,125 кроку по колу, саме ділильне коло проходить не через середину висоти зуба, а дотично до початкової прямої деталі:

$$D_t = D_e - 2h_1. \quad (6.64)$$

Діаметр кіл виступів і западин та висота канавки визначаються так само, як і в черв'ячних зубонарізних фрезах. Оскільки глибина профілю шліцьових валів звичайно невелика, то й глибина канавок виходить меншою, ніж у черв'ячних зубонарізних фрезах із таким кроком.

Довжина шліцьової фрези так само, як і довжина зубонарізної фрези, може бути визначена за такою наближеною формулою:

$$L = 10\sqrt{(D - h)h} + 2l_1. \quad (6.65)$$

Геометрія лез черв'ячних фрез має деякі особливості. Черв'ячні фрези для деталей прямолінійного профілю виготовляють із затіланими зубами. Задній кут на вершині зуба беруть у межах $\alpha_e = 9\text{—}12^\circ$. Задні кути на бічних сторонах профілю в нормальному перерізі в будь-якій точці i за $\gamma = 0$ визначають за формулою

$$\operatorname{tg}\alpha_{oi} = \frac{D}{D_i} \operatorname{tg}\alpha_e \sin \varphi_i .$$

Необхідно, щоб задній кут був $\alpha_o \geq 1^\circ 30'$.

6.7.3 Послідовність розрахунків

Таблиця 6.7 – Послідовність розрахунків фрези для оброблення шліцьового вала

Номер	Назва	Позначення, формула
1	2	3
Вихідні дані		
1	Центрування	d
2	Конструктивні параметри вала	z, D, d, b, f
3	Відхилення розмірів	$es_D, ei_D; es_d, ei_d; es_b, ei_b$
Розрахункові параметри вала		
4	Зовнішній діаметр	$D_p = D + es_D - 2f$
5	Внутрішній діаметр	$d_p = d + ei_d + 0,25(es_d - ei_d)$
6	Ширина шліца	$b_p = b + ei_b + 0,25(es_b - ei_b)$
7	Радіус початкового кола	$r = 0,5\sqrt{D_p^2 - 0,75b_p^2}$
8	Кут бічної поверхні шліца	$\sin \gamma = \frac{b_p}{2r}$
9	Висота ніжки шліца	$h = \frac{D_H - d_p}{2}$

Продовження таблиці 6.7

1	2	3
Розрахунок фрези		
10	Координати першої точки на профілі зуба фрези	$r_1 = r - 0,5h, \quad \gamma_1 = \arcsin\left(\frac{b_p}{2r_1}\right),$ $\alpha_1 = \arccos\left(\frac{r_1}{r} \cos \gamma_1\right),$ $x_1 = r(\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 - \gamma + \sin \gamma \cos \alpha_1),$ $y_1 = r(\sin^2 \alpha_1 - \sin \gamma \sin \alpha_1)$
11	Координати другої точки на профілі зуба фрези	$r_2 = r - 0,9h, \quad \gamma_2 = \arcsin\left(\frac{b_p}{2r_2}\right),$ $\alpha_2 = \arccos\left(\frac{r_2}{r} \cos \gamma_2\right),$ $x_2 = r(\alpha_2 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 - \gamma + \sin \gamma \cos \alpha_2),$ $y_2 = r(\sin^2 \alpha_2 - \sin \gamma \sin \alpha_2)$
12	Параметри замінного кола	$\sigma_1 = \arctg\left(\frac{y_1}{x_1}\right), \quad \sigma_2 = \arctg\left(\frac{y_2}{x_2}\right),$ $\sigma_3 = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right), \quad \delta = \sigma_1 - \sigma_2,$ $R_\kappa = \frac{y_2 - y_1}{2 \sin \delta \sin \sigma_3},$ $x_\kappa = R_\kappa \sin(\sigma_3 + \delta) + x_1,$ $y_\kappa = y_1 - R_\kappa \cos(\sigma_3 + \delta)$
13	Найбільше відхилення дуги від теоретичного профілю	$F = \sqrt{(x - x_\kappa)^2 + (y - y_\kappa)^2},$ $\Delta = F - R_\kappa$

Продовження таблиці 6.7

1	2	3
14	Кількість зубів	z_{ϕ}
15	Діаметр фрези залежно від серії	Легка: $D_e = 11(D - d) + 37$, середня та важка: $D_e = 7,7(D - d) + 39,9$
16	Крок по нормалі	$p_n = \frac{2\pi r}{z}$
17	Товщина зуба по ділильному колу	$S_1 = 2r \left(\frac{\pi}{z} - \gamma \right)$
18	Висота ніжки зуба фрези	$r_n = \frac{D_p}{2}$, $\gamma_n = \arcsin \left(\frac{b_p}{2r_n} \right)$, $\alpha_n = \arccos \left(\frac{r_n}{r} \cos \gamma_n \right)$, $y_n = r \left(\sin^2 \alpha_n - \sin \gamma \sin \alpha_n \right)$; $h_2 = y_n $
Фреза з «вусиками»		
19	Висота головки зуба	$r_2 = \frac{d_p}{2}$, $\gamma_2 = \arcsin \left(\frac{b_p}{2r_2} \right)$, $\alpha_2 = \arccos \left(\frac{r_2}{r} \cos \gamma_2 \right)$, $y_2 = r \left(\sin^2 \alpha_2 - \sin \gamma \sin \alpha_2 \right)$, $h_1 = y_2$
20	Товщина зуба на вершині	$\sin \beta_2 = \frac{h_1 - y_{\kappa}}{R_{\kappa}}$, $S_e = S_1 - 2(x_{\kappa} - R_{\kappa} \cos \beta_2)$
21	Висота h_3 , товщина S_3	$h_3 = h - y_1$, $S_3 = S_1 - 2x_1$

Продовження таблиці 6.7

1	2	3
22	Висота h_4 , товщина S_4	$h_4 = h,$ $\sin \beta_4 = \frac{h_4 - y_\kappa}{R_\kappa},$ $S_4 = S_1 - 2(x_\kappa - R_\kappa \cos \beta_4)$
23	Висота «вусика»	$h_a = h_1 + h_2 - h$
Фреза без «вусиків»		
24	Висота h_4 , товщина S_4	$h_4 = 0,3,$ $\sin \beta_4 = \frac{h - h_4 - y_\kappa}{R_\kappa},$ $S_4 = S_1 - 2(x_\kappa - R_\kappa \cos \beta_4)$
25	Висота h_3 , товщина S_3	$h_3 = h - y_1, \quad S_3 = S_1 - 2x_1$
26	Висота h_1 , товщина S_e	$h_1 = h,$ $\sin \beta_1 = \frac{h_1 - y_\kappa}{R_\kappa}, \quad S_e = S_1 - 2(x_\kappa - R_\kappa \cos \beta_1)$
27	Діаметр приєднувальної поверхні	$d = (0,20, \dots, 0,45) D_e$
28	Ширина канавки у западині профілю	$x_n = r(\alpha_n - \sin \alpha_n \cos \alpha_n - \gamma + \sin \gamma \cos \alpha_n),$ $S_n = S_1 - 2x_n, \quad l = p_n - S_n - 4f$
29	Коефіцієнти затилування	$k = \frac{\pi D_e \operatorname{tg} \alpha_e}{z_\phi}, \quad k_1 = (1,5, \dots, 1,75) k$
30	Задній кут на бічній поверхні по ділильному колу	$\tan \varphi = \frac{y_\kappa}{x_\kappa}, \quad \tan \alpha_\sigma = \frac{D_e}{2r} \tan \alpha_e \sin \varphi$

Продовження таблиці 6.7

1	2	3
31	Діаметр ділительного кола	$D_t = 2r$
32	Глибина стружкової канавки	$H = h_1 + h_2 + h_0 + \frac{k + k_1}{2}$
33	Довжина фрези	$L = 10\sqrt{(D - h)h} + 2l_1$
34	Кут підйому черв'яка	$\tau = \arcsin \frac{P_n}{D_t \pi}$
35	Осьовий крок витків	$p_0 = \frac{P_n}{\cos \tau}$
36	Осьовий крок канавки	$P = 2\pi r \cdot \operatorname{ctg} \tau$

6.7.4 Робоче креслення. На робочому кресленні повинна бути зображена черв'ячна фреза (див. рис. 6.27) з усіма розмірами, допусками на них та зазначена шорсткість поверхонь. Повинні бути параметри профілю зубів (рис. 6.25, 6.35, 6.36) з допусками, що забезпечують оброблення відповідно до креслення деталі та параметри затилування зубів (див. рис. 6.26).

У верхньому правому куті креслення повинна бути таблиця, яка складається з трьох частин. Зверху (табл. 6.8) записують [6] основні конструктивні дані (z_ϕ), потім – дані, необхідні для контролю фрези ($F_p, F_{ps}, f_\gamma, f_f$), які у три, чотири рази менші від відповідних даних оброблюваної деталі, а за ними – довідкові дані ($\alpha_\phi, \alpha_\phi, p_o, P, \Delta$).

Такі технічні вимоги, як допуски на радіальне биття зубців фрези, радіальне та торцеве биття буртиків, потрібно показати умовними позначеннями на кресленні. Їх значення визначають як 0,25—0,33 відповідних допусків деталі. На діаметр приєднувальної поверхні d призначають допуск за п'ятим квалітетом.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментальної сталі;
- твердість робочої частини, HRC 62-65;
- маркування;
- робоча частина не повинна мати зон із заниженим вмістом вуглецю зі зниженою твердістю.

Таблиця 6.8 – Приклад конструктивних, контрольних та довідкових даних

Модуль	m	–
Кількість зубів	z_{ϕ}	12
Допуск на накопичену похибку кроку передньої поверхні	F_p	18
Допуск на похибку кроку різальної кромки	F_{ps}	3
Допуск на відхилення форми і положення передньої поверхні	f_{γ}	10
Допуск на похибку профілю	f_f	4
Задній кут на вершині	α_e	12°
Задній кут на бічній поверхні	α_b	$1,56^\circ$
Осьовий крок черв'яка	p_o	13,492
Осьовий крок канавки	P	$4,367 \cdot 10^3$
Найбільше відхилення дуги від теоретичного профілю	Δ	0,37

6.8 Нарізування коліс із коловими зубами

Нарізування коліс з коловими зубами відбувається за методом обкочування. Імітується зачеплення заготовки з кінематично пов'язаним плоским колесом, зубом якого є різці головки, які під час її обертання проходять через западину заготовки (рис. 6.39).

Профіль зуба деталі утворюється як обвідна послідовних положень прямолінійного профілю різця, який збігається з вихідним контуром інструментальної рейки (рис. 6.40). Під час нарізування колеса процес огинання здійснюється за рахунок узгодженого обертання заготовки й уявного парного колеса. Роль уявного колеса в зубонарізному верстаті відіграє люлька,

на якій обертається різцева головка. Вісь люльки збігається з віссю уявного плоского колеса. Заготовку закріплюють на шпинделі ділильної бабки. Вершина початкового конуса

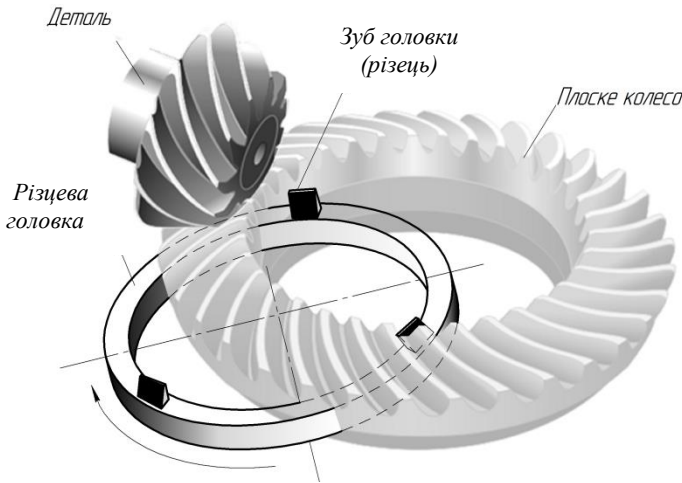


Рисунок 6.39 – Схема нарізування конічних коліс із коловими зубами

заготовки збігається з центром плоского колеса.

Під час нарізування різці переміщують уздовж западин заготовки. Кількість різців і швидкість обертання головки не впливають на процес огинання. Це залежить від допустимої швидкості різання.

Різцеві головки залежно від призначення поділяють на однібічні та двобічні.

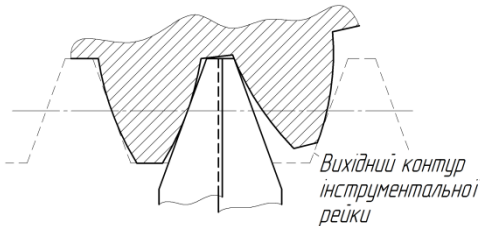


Рисунок 6.40 – Профільювання зуба різцями головки

Однібічні головки мають або зовнішні різці для нарізування ввігнутого боку зуба, або внутрішні різці для нарізування опуклого боку.

Двобічні чистові головки мають зовнішні та внутрішні різці, які чер-

гуються.

Залежно від напрямку обертання головки під час різання вони бувають праворізальні (обертання проти годинникової стрілки) і ліворізальні (обертання за годинниковою стрілкою, коли дивитись із боку переднього торця головки).

Різці 2 розміщені по колу в корпусі 4 (рис. 6.41),

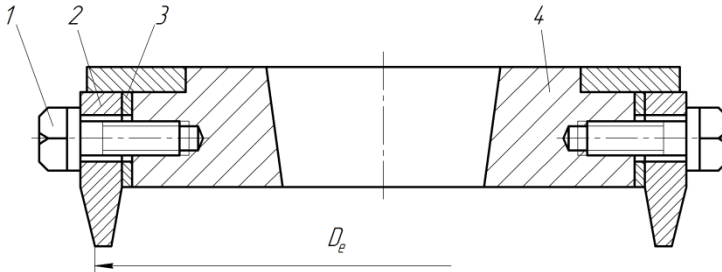


Рисунок 6.41 – Конструкція головки зі вставними зубами

регулюються в радіальному напрямі за допомогою підкладок 3 і закріплені гвинтами 1. Різцева головка забезпечена конічним отвором із конусністю 1:24 і торцевим шпонковим пазом. Для полегшення знімання головки зі шпинделя передбачені знімні гвинти.

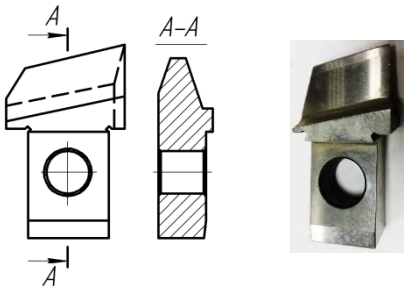


Рисунок 6.42 – Зовнішній різець праворізальної головки

Різці чистової головки працюють лише бічною кромкою, вершинна кромка не бере участі в різанні. Різці (рис. 6.42) мають розширену головку, що виступає над стрижнем різця. Цим виступом різець прилягає до торця корпусу і закріплюється гвинтом. Різець ліворізальної головки є дзеркальним відображенням різця праворізальної.

6.9 Нарізування конічних прямозубих коліс

Нарізування конічних прямозубих коліс на зубошугальних верстатах базується на умовах зчеплення нарізуваної заготовки

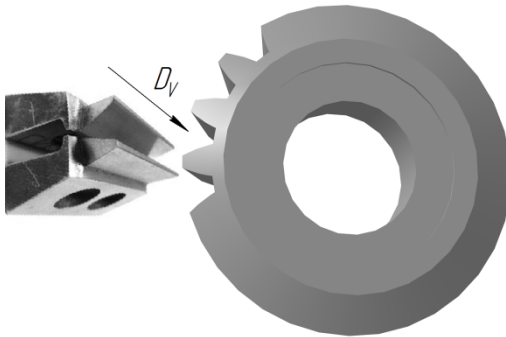


Рисунок 6.43 – Схема нарізування конічних прямозубих коліс

з парним колесом (рис. 6.43). У процесі нарізування зуб заготовки обробляють з обох боків за допомогою двох різців (рис. 6.44). Заготовка встановлюється так, щоб твірна конуса западин була паралельна напрямку різання. Для отримання потрібної якості обробленої поверхні нарізування здійснюється іноді за два проходи (для другого

проходу залишають припуск 0,5—0,8 мм).

Розміри різців і конструкції їх для різних моделей верстатів стандартизовані (ГОСТ 5392-50). Різець (рис. 6.45) виготовляють у вигляді призматичного тіла і кріплять до державки гвинтами.

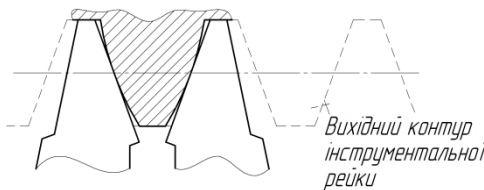


Рисунок 6.44 – Профілювання зуба шугальними різцями

Висота різальної кромки повинна бути достатньою для забезпечення повного огинання профілю зуба заготовки. Товщина a вершини різця повинна бути меншою від розміру дна западини. З іншого боку, в западині

не повинна залишатися незрізаною частина металу. Тому величина a повинна бути більшою від половини розміру дна

западни на широкому торці. Цю умову задовольняє величина $a = 0,4$ модуля.

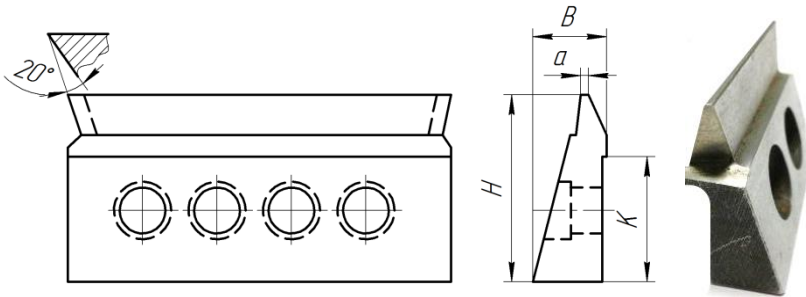


Рисунок 6.45 – Зубостругальний різець

Товщина різця B залежить від товщини зуба по дільному колу конуса. Відстань від основи до робочої частини (розмір K) залежить від висоти зуба на колі найбільшого діаметра.

6.10 Шевери

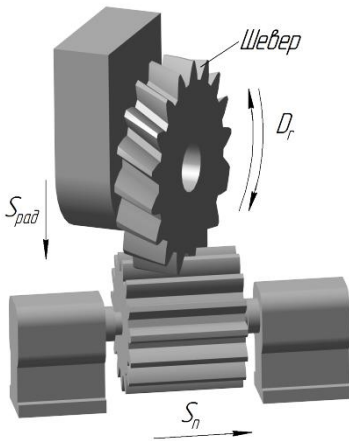


Рисунок 6.46 – Процес шевінгування

6.10.1 Призначення. Шевери застосовують для чистового оброблення прямозубих і косозубих колі зовнішнього і внутрішнього зачеплення після попереднього їх нарізування. Найбільшого поширення набули шевери дискового типу. Застосовують також шевери рейкового (монолітні й складені) та черв'ячного типів. У процесі шевінгування відбувається зачеплення двох колі із схрещеними осями – оброблюваного колеса і шевера. Для створення руху різання використовується відносне ковзання поверхонь зубів у

процесі зачеплення профілів косозубих коліс (рис. 6.46).

Під час шевінгування шевер і оброблюване колесо перебувають у безззорному зачепленні. У більшості конструкцій верстатів шевер – ведуча ланка, а оброблюване колесо – ведене і вільно обертається в центрах. Поздовжня подача S_n здійснюється столом верстата, на якому встановлюється оброблюване колесо. Після кожного проходу колеса напрям поздовжньої подачі змінюється. Напрямок обертання шевера і поздовжньої подачі погоджені між собою. Якщо обертання шевера D_r змінюється зі зміною напрямку поздовжньої подачі, то це робота з реверсуванням. Проте іноді шевінгування здійснюється без зміни напрямку обертання шевера при зміні напрямку подачі – робота без реверсування. Для зближення осей шевера і оброблюваного колеса до одержання необхідних розмірів зубів існує радіальна подача S_{rad} у кінці поздовжнього ходу після кожного проходу або після подвійного проходу в прямому і зворотному напрямках.

6.10.2 Різальні кромки. Виправлення профілю зубів за рахунок лише тертя під час бічного ковзання було б надто розтягнутим у часі. Тому для інтенсифікації цього процесу на бічних поверхнях зубів шеверів для утворення різальних кромок передбачені стружкові канавки.

Різальні кромки утворюються на зубах шевера канавками (рис. 6.47 а), отриманими довбанням гребінкою. Для виходу гребінки в основі западин зубів шеверів просвердлюють отвори. Канавки на зубах шеверів виконуються в різних варіантах: із

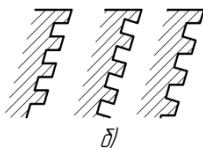


Рисунок 6.47 – Зуб шевера

бічними поверхнями, паралельними торцевій площині шевера, з бічними поверхнями, нормальними до напрямку зуба, і з одною поверхнею, паралельною до торцевої площини шевера, а з іншою – нормальною до напрямку зуба (рис. 6.47 б). Залежно від типу канавок на зубах утворюються передні кути різної величини. Проте практичне використання

шеверів не виявило помітних переваг чи недоліків канавок різного типу.

Ширина і глибина канавок повинні бути достатніми для розміщення стружки не лише під час роботи новими, а й переточеними шеверами. Задні кути на зубах шевера спеціально не передбачаються. Щоб уникнути послаблення вершини зуба шевера канавки з правого і лівого боків зуба не повинні перетинатися, на зовнішньому циліндрі між ними повинна залишатися невелика перетинка.

Значення кута схрещування $\varphi_{схр}$ колеса і шевера дуже впливає на якість обробленої деталі і продуктивність оброблення. Ковзання профілів збільшується зі збільшенням кута $\varphi_{схр}$, тому для поліпшення умов оброблення бажано цей кут брати по можливості більшим. Але зі збільшенням кута схрещування зменшується довжина зони контакту і погіршується виправлення коліс за напрямом зубів. Кут схрещування $\varphi_{схр}$ осей шевера і колеса звичайно дорівнює 15° .

Іноді цей кут збільшують до 20° або для поліпшення виправлення коліс за напрямом зубів зменшують до $10\text{--}8^\circ$. При шевінгуванні коліс з буртом, блокових для можливості проходу шевера по усій довжині оброблюваного зуба кут $\varphi_{схр}$ доводиться зменшувати. Мінімально допустимим вважається кут $\varphi_{схр} = 3^\circ$.

Контакт зубів косозубих коліс у кожен момент теоретично точковий. У точках контакту і відбувається оброблення зубів колеса зубами шевера. Для можливості оброблення профілю зубів колеса по усій ширині заготовки відносно шевера створюється подача в напрямі, паралельному осі оброблюваного колеса (поздовжня подача).

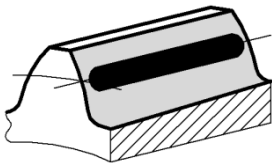


Рисунок 6.48 – Пляма контакту

6.10.3 Корекція профілю зуба шевера. Процес шевінгування відтворює процес зношування косозубих коліс, підвищуючи його інтенсивність за рахунок утворення різальних кромek на поверхнях зубів інструмента. Відомо, що зубчасті колеса найбільш інтенсивно

зношуються у зоні плями контакту (рис. 6.48), а також дещо менше – на головці зуба. Тому якщо шевєр буде мати звичайний евольвентний профіль зубів, то профіль зубів оброблюваного колеса буде спотворений (через різну інтенсивність зрізування металу на різних його ділянках, рис. 6.49 а). Величини відхилень залежать від матеріалу оброблюваного колеса і тривалості шевінгування. Щоб уникнути цього, профіль зубів шевєра піддають відповідному виправленню – корекції. Коригування профілю роблять відповідно до відхилень профілю зубів колеса,

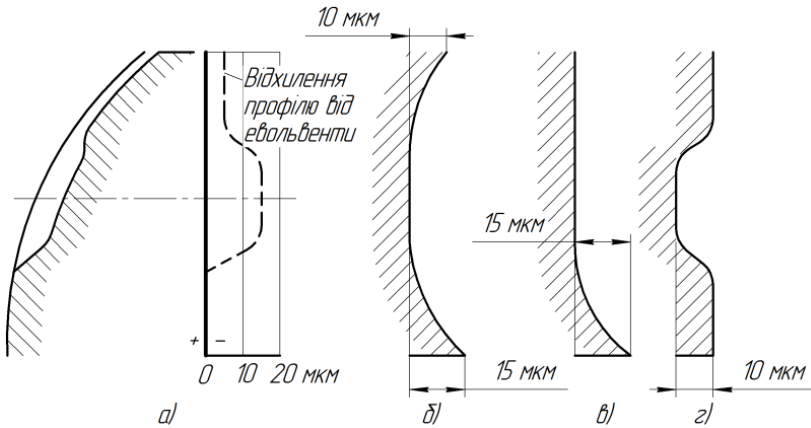


Рисунок 6.49 – Корекція зубів шевєра

що утворюються під час шевінгування. В середньому це 15 мкм у зоні плями контакту і близько 5 мкм на головці зуба.

Реальна величина і форма коригування залежать від багатьох чинників: від призначення, розмірів і форми зубів зв'язаних коліс, матеріалу, попереднього і подальшого оброблення, тривалості шевінгування. Якщо головку і ніжку зуба шевєра зробити товщиною на 15 і 10 мкм відповідно (рис. 6.49 б), то тоді після шевінгування (з урахуванням підвищеної інтенсивності зрізування металу в зоні плями контакту) утворений профіль зуба колеса буде максимально наближений до евольвенти.

Якщо колесо піддається фланкуванню, то тоді немає потреби уточнювати профіль головки зуба колеса і достатньо потовщення головки зуба шевера (рис. 6.49 в).

Третій метод коригування передбачає стоншення зуба шевера в зоні найвищої інтенсивності видалення металу на 10 мкм (рис. 6.49 г). Водночас евольвента відтворюється з точністю ± 5 мкм.

Такі кількісні значення параметрів корекції профілю зуба шевера визначені для умови підвищення точності оброблюваного колеса на одиницю. Виправляють неточності зубчастих коліс за кроком, профілем, напрямом зубів і биттям профілю. Накопичену похибку кроку шевінгуванням не виправляють.



Рисунок 6.50 – Дісковий шевер

На шевінгування доцільно залишати мінімальний припуск, що забезпечує виправлення похибок попереднього оброблення. Для коліс середніх модулів він дорівнює 0,04—0,06 мм на сторону.

Шевери проектують для оброблення коліс із різною кількістю зубів. Розміри їх для оброблення циліндричних (некоригованих) коліс із кутом профілю вихідного контуру $\alpha = 20^\circ$ стандартизовані.

Діскові шевери загального призначення (рис. 6.50) виготовляють трьох класів точності: класу *A* – для коліс 6-го ступеня точності, класу *B* – для коліс 7-го ступеня точності й класу *C* – для коліс 8-го ступеня точності.

Контрольні питання

- 1 Методи нарізування зубів коліс.
- 2 Метод роботи та галузі використання пальцевої зубонарізної фрези.
- 3 Недоліки пальцевої зубонарізної фрези.
- 4 Метод роботи дискової зубонарізної фрези.

- 5 Комплекти дискових зубонарізних фрез.
- 6 Метод роботи зубодовбальної головки.
- 7 Схема зубодовбальної головки.
- 8 Особливості подачі різців зубодовбальної головки.
- 9 Визначення координат профілю різця зубодовбальної головки.
- 10 Метод роботи довбача.
- 11 Класи точності довбача.
- 12 Типи довбачів.
- 13 Геометрія зуба довбача.
- 14 Що таке вихідний переріз довбача?
- 15 Що таке вихідна відстань довбача?
- 16 Визначення профільного кута рейки довбача.
- 17 Визначення кількості зубів довбача.
- 18 Визначення дійсного діаметра ділильного кола довбача.
- 19 Перевірка загострення вершин зубів довбача.
- 20 Перевірка профілю зубів нарізаного колеса на інтерференцію.
- 21 Перевірка на відсутність зрізування головки зуба колеса.
- 22 Рухи під час роботи зубонарізної гребінки.
- 23 Сфера використання та недоліки зубонарізної гребінки.
- 24 Гребінчаста зубонарізна фреза, її переваги та недоліки.
- 25 Черв'ячні фрези, типи та класи точності.
- 26 Геометрія та подвійне затилування черв'ячних фрез.
- 27 Кут піднімання витків черв'яка.
- 28 Довжина черв'ячної фрези.
- 29 Зовнішній діаметр і кількість зубів черв'ячної фрези.
- 30 Аналітичний розрахунок профіля зуба фрези для виготовлення шліцьового вала.
- 31 Черв'ячна фреза з «вусиками» і без «вусиків».
- 32 Схема нарізування коліс із коловими зубами.
- 33 Схема нарізування конічних прямозубих коліс.
- 34 Принцип роботи та сфера використання шевера.
- 35 Різальні кромки шевера.
- 36 Корекція профіля зубів шевера.

7 ПРОТЯЖКИ

7.1 Особливості конструкції та використання

Протяжки – це багатозубий металорізальний інструмент, що здійснює процес зрізування шарів металу за відсутності руху подачі за рахунок перевищення ширини або висоти наступного зуба відносно ширини або висоти попереднього. Це перевищення називають підйомом зуба протяжки.

Під час оброблення круглого отвору протяжка в поступальному русі відносно заготовки зрізує кожним зубом шар a (рис. 7.1), а в цілому – сумарний шар A . Зрізуваний шар a вимірюють у напрямі, перпендикулярному до обробленої поверхні.

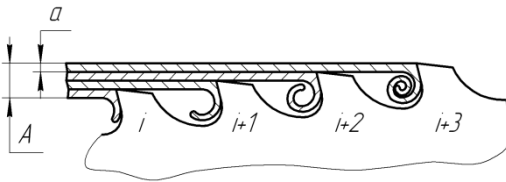


Рисунок 7.1 – Зрізування шарів металу протяжкою

Особливість процесу протягування полягає також у тому, що в процесі різання стружка не може бути видалена із западини між зубами протяжки і повинна повністю розміщуватися у западині до кінця

оброблення деталі.

Протяжки набули значного поширення в основному в масовому й багатосерійному виробництвах унаслідок того, що:

- вони один із найпродуктивніших різальних інструментів;
- дозволяють одержувати високу точність (7—6 квалітети) і якість оброблення ($Ra = 2,5—0,63$) за низької кваліфікації робітників;
- мають високу стійкість;
- протяжки – дуже економічний інструмент (складова інструменту, яка входить до собівартості деталі, відносно невелика).

Протяжка – спеціальний інструмент, який проектують і виготовляють для оброблення однієї або декількох певних деталей. Вона складна і дорога. Це і обумовлює рентабельність застосування протяжок саме в масовому і багатосерійному виробництвах. Проте протяжки можна застосовувати й у дрібносерійному виробництві, у тих випадках, якщо необхідна точність оброблення деталі може бути отримана лише протягуванням.

Протяжки мають високу продуктивність, незважаючи на те, що вони працюють за малих швидкостей різання: $V = 3—12$ м/хв. Причиною цього є те, що під час протягування відпадає необхідність у спеціальному русі поширення зони різання на всю оброблювану поверхню. Поверхня утворюється зі швидкістю, яка дорівнює швидкості різання, тоді як під час точіння або свердління це величина подачі за одну хвилину $S_{x\phi} = Sn \ll 12$ м/хв.

Висока продуктивність протяжок обумовлена також тим, що кожна протяжка поєднує в собі чорнові, чистові і калібрувальні зуби, завдяки цьому однією операцією протягування може бути замінено дві або три окремі операції.

Протяжки поділяють в основному на два види: для протягування отворів – внутрішні протяжки, і для протягування відкритих поверхонь – зовнішні протяжки. Протяжки зазвичай працюють із прямолінійним рухом різання. В окремих випадках застосовують протяжки також із коловим рухом різання. Оброблені такими протяжками поверхні можуть бути тілами обертання з довільної форми твірною (криволінійною, східчастою, конічною та ін.), тоді як протяжками з прямолінійним рухом різання обробляють поверхні лише з прямолінійними твірними.

Найбільш поширені в машинобудуванні протяжки з прямолінійним рухом різання.

Протяжки також розрізняють за схемою силового навантаження (рис. 7.2). Якщо сили розтягують її (рис. 7.2 а), то таку протяжку називають власне протяжкою. Якщо ж сили її

стискають (рис. 7.2 б), то таку протяжку називають прошивкою.

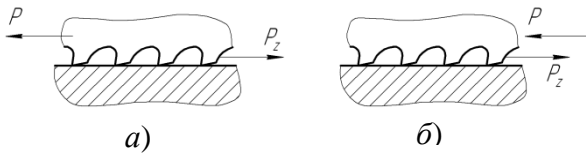


Рисунок 7.2 – Протяжки (а) та прошивки (б)

Конструкція прошивок загалом подібна до конструкції протяжок. Подібно до протяжок прошивки також можуть бути внутрішніми і зовнішніми.

рішніми і зовнішніми.

7.2 Складові частини протяжок і прошивок

Протяжки і прошивки складаються [16, 19] із *приєднувальної* частини, за допомогою якої сила від верстата передається на протяжку, і *робочої* частини, яка безпосередньо виконує роботу різання.

До приєднувальної частини внутрішніх протяжок належать (рис. 7.3) хвостовик 1, шийка 2, опорна цапфа 7. Перехідний конус 3, передня напрямна 4, задня напрямна 6 – допоміжні орієнтувальні елементи.

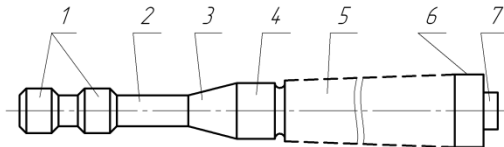


Рисунок 7.3 – Складові частини

Робоча частина 5 складається з чорнових, чистових, калібрувальних та іноді ущільнювальних зубів.

Хвостовик. Основні типи і розміри хвостовиків для протяжок стандартизовані. Вони залежать від розмірів попередньо створеного отвору і конструкції патрона, в якому закріплюється хвостовик.

Прошивки, а також зовнішні протяжки закріплюються на повзуні верстата для зовнішнього протягування і не мають хвостовиків.

Діаметр хвостовика d_x роблять меншим від діаметра отвору під протягування не менше ніж на 0,3 мм для вільного входу

хвостовика в деталь. Остаточний розмір діаметра хвостовика визначають за розміром стандартного верстатного патрона. Якщо отвір у патроні виконаний із допуском $H9$, то хвостовик протяжки потрібно виконувати за $e8$. Довжина хвостовика l_x відповідає розмірам патрона.

Шийка сполучає хвостовик із перехідним конусом. Її довжина повинна забезпечити можливість приєднання протяжки до патрона протяжного верстата. Мінімальну довжину шийки $l_{ш}$ визначають за формулою [16] (рис. 7.4):

$$l_{ш} = l_{см} + l_k + l_{\delta} - l_{нк} - l_{пн}, \quad (7.1)$$

де $l_{см}$ – товщина стінки протяжного верстата;

l_k – товщина буртика опорного кільця;

l_{δ} – довжина деталі;

$l_{нк}$ – довжина перехідного конуса;

$l_{пн}$ – довжина передньої напрямної.

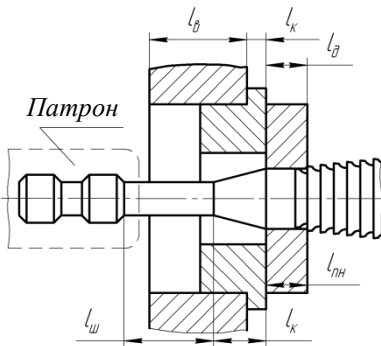


Рисунок 7.4 – Схема для визначення довжини шийки

Одержану довжину $l_{ш. min}$ звичайно збільшують на 5—30 мм.

Діаметр шийки $d_{ш}$ призначають меншим від діаметра хвостовика на 0,3—1 мм із допуском $f12$. Шийку обробляють із $Ra = 1,2$. На її поверхню наносять маркування. Звичайно на кресленні протяжки проставляють розмір від торця хвостовика до першого зуба. Розмір довжини шийки вільний.

Перехідний конус призначений для попередньої орієнтації інструменту. Він необхідний для безперешкодного введення передньої напрямної протяжки в отвір. Довжина конуса $l_{нк} = 10 - 20$ мм залежно від діаметра протяжки. Менший діаметр конуса дорівнює діаметру хвостовика або шийки.

Передня напрямна призначена для центрування протяжки в

отворі заготовки, завдяки чому передні зуби зрізають рівномірний припуск по всьому контуру отвору. Передня напрямна також запобігає перекошуванню деталі.

Довжиною передньої напрямної вважають відстань l_{nn} від кінця перехідного конуса до першого зуба, враховуючи ширину першої западини. Звичайно l_{nn} дорівнює довжині деталі l_d , але не менше ніж 40 мм. Якщо довжина деталі значна, то довжина напрямної може дорівнювати 0,75 від неї.

Номінальні радіальні розміри передньої напрямної дорівнюють найменшим радіальним розмірам отвору до протягування з допусками за шостим квалітетом.

Задня напрямна запобігає перекошенню протяжки під час виходу з деталі останніх зубів протяжки і тим самим усуває небезпеку пошкодження обробленої поверхні та полумки зубів. Довжину задньої напрямної l_{zn} можна орієнтовно визначити як 0,75 від довжини деталі.

Поперечний переріз задньої напрямної повинен бути

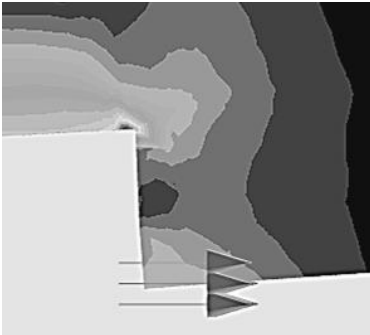


Рисунок 7.5 – Концентрація напружень під час вигинання

ідентичний поперечному перерізу протягнутого отвору [4, 6]. Під час оброблення симетричних отворів може бути також круглим, уписаним у протягнутий отвір (наприклад, як у шліцьових протяжках) [19, 25]. Задні напрямні виготовляють із точністю до п'ятого, шостого квалітету. Поперечні розміри задньої напрямної не повинні перевищувати найменші допустимі значення відповідних розмірів готового отвору.

Крім того, задня напрямна повинна вільно проходити крізь отвір, виготовлений повністю зношеною протяжкою. Якщо цього не враховувати, то в деякий момент часу деталь ущільнюється на задній напрямній, система «протяжка – деталь» сприймається як одне ціле і, за наявності значних відхилень від перпендикулярності торця деталі до обробленої поверхні,

протяжка згинається й у її тілі виникає значна концентрація напружень (рис. 7.5). Це призводить до руйнування протяжки внаслідок вигину (рис. 7.6).

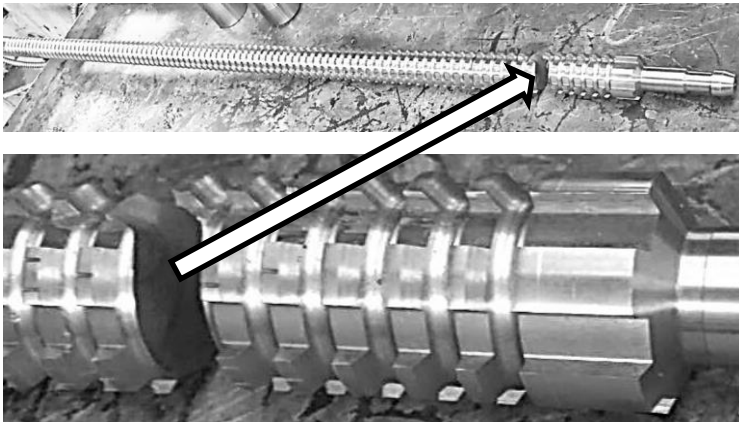


Рисунок 7.6 – Руйнування протяжки під час вигинання через неперпендикулярність торця деталі до її внутрішньої поверхні

Для запобігання непередбаченим ускладненням інколи протяжки виготовляють без задньої напрямної (рис. 7.7). Немає задньої напрямної в шпонкових протяжках, оскільки оброблювана деталь базується на напрямній втулці, що виключає перекошування деталі. Зовнішні протяжки закріплюють на супорті верстата для зовнішнього протягування і також не мають задньої напрямної.

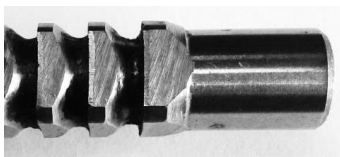


Рисунок 7.7 – Протяжка без задньої напрямної

Якщо протяжки мають значний діаметр і довжину та відповідно велику вагу, то задню напрямну подовжують і використовують як опору, яку вставляють у люнет верстата, для запобігання провисанню протяжки і полегшення операції з нею. Якщо діаметр отвору в люнеті менший за діаметр протяжки, то на подовженій частині задньої напрямної роблять *опорну цапфу* 7 з діаметром, що дорівнює діаметру

отвору люнета.

Внутрішні протяжки мають центрові отвори, які є базами під час виготовлення і наступних переточуваннях під час експлуатації. Тому базові конусні поверхні центрових отворів протяжок виготовляють із підвищеною точністю та низькою шорсткістю і мають запобіжні конуси.

Прошивки не мають хвостовика. Для більш легкого введення в підготовлений отвір прошивки спереду мають конус із кутом 15° і довжиною від 4 до 20 мм (залежно від діаметра прошивки). Радіус заокруглення на передньому торці прошивки дорівнює 2—5 мм. Розміри передньої напрямної такі самі, як і у протяжок. Довжина задньої напрямної прошивок звичайно на 5—10 мм більша від довжини оброблюваного отвору для того, щоб зуби прошивки повністю вийшли з прошитого отвору, перш ніж торець штока преса, який діє на прошивку, торкнеться торця обробленої деталі. Під час роботи прошивка утримується з боку заднього торця пружинним центром або рухомою втулкою, сполученою зі штоком преса.

7.3 Сили різання під час протягування і розрахунок протяжок на міцність

Сила різання під час протягування залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, товщини і ширини шару, що зрізується, геометрії та затуплення зубів, властивостей змащувально-охолоджувальної рідини та ін.

Сумарна сила різання, що виникає під час протягування, може бути розкладена на складові, з яких головною є сила P_z , спрямована уздовж осі протяжки (уздовж руху різання). Інша складова P_y спрямована нормально до осі протяжки. У разі оброблення отвору її елементарні доданки взаємно урівноважуються і P_y на протяжку не діє, а під час зовнішнього протягування сприймається повзуном верстата. Складова сили різання P_x виникає лише за косих зубів зовнішніх протяжок.

Складові сили різання P_x і P_y відносно невеликі, стискають

матеріал протяжки і за звичайного розрахунку її на міцність не втраховуються.

Головну складову сили різання під час протягування, силу P_z визначають за формулою

$$P_z = pfz_{\max}, \quad (7.2)$$

де p – питома сила різання, кг/мм²;

$f = b \cdot a$ – площа шару, що зрізується одним зубом протяжки,

причому $b = \sum_{i>1}^n b_i$ – ширина шару, яка дорівнює ефективній

довжині різальної кромки одного зуба (рис. 7.8);

a – підйом на зуб;

$z_{\max} = \frac{l_d}{t} + 1$ – максимальна кількість зубів протяжки, що може

одночасно перебувати в контакті з оброблюваною деталлю (l_d – довжина обробленої поверхні; t – крок зубів протяжки).

Тут беруть до уваги лише цілу частину виразу z_{\max} , а дріб відкидають. Якщо на деталі є виточка, то максимальна кількість зубів протяжки,

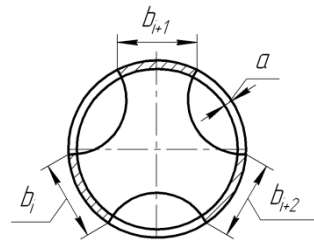


Рисунок 7.8 – Ширина різання

що одночасно працюють, визначають без проміжку з виточкою.

Таким чином, головну складову сили різання під час протягування визначають як

$$P_z = paz_{\max} \sum_{i=1}^n b_i. \quad (7.3)$$

Питома сила різання p під час протягування підлягає загальній закономірності, яка властива різанню металів, а саме: із

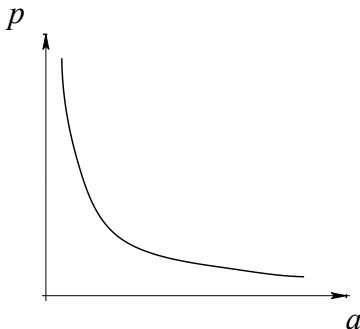


Рисунок 7.9 – Залежність питомої сили різання від підйому на зуб

зменшенням товщини шару металу, що зрізується, питома сила різання зростає (рис. 7.9). Емпіричні залежності $p = f(a)$ для різних матеріалів (табл. 7.1) складені за літературними даними. Це дозволяє підвищити ступінь автоматизації розрахунків робочої частини протяжки. Значення питомих сил різання визначені за звичайно рекомендованих передніх і задніх кутів зубів протяжки, складу змащувально-охолоджувальної рідини і при зношенні зубів по задній поверхні в протяжок для оброблення отворів до 0,3 мм, у протяжок для зовнішнього протягування до – 0,5 мм.

Таблиця 7.1 – Формули для визначення питомої сили різання p , кг/мм², за значенням підйому на зуб a , мм

Матеріал	Твердість	Формула
Вуглецева сталь	$HB < 197$	$p = 104,98a^{-0,413}$
	$HB = 198—229$	$p = 122,31a^{-0,386}$
	$HB > 229$	$p = 157,94a^{-0,345}$
Легована сталь	$HB < 197$	$p = 167,04a^{-0,329}$
	$HB = 198—229$	$p = 176,72a^{-0,337}$
	$HB > 229$	$p = 201,18a^{-0,327}$
Сірий чавун	$HB < 180$	$p = 82,852a^{-0,461}$
	$HB > 180$	$p = 95,99a^{-0,43}$
Ковкий чавун	–	$p = 74,197a^{-0,455}$

Із діаграми (рис. 6.6) впливає дуже істотний висновок щодо конструювання протяжок: з точки зору зменшення сили протягування вигідніше розробляти протяжки, які зрізують більш товсті шари металу.

Міцність протяжок перевіряється за формулою

$$\sigma = \frac{P_z}{F} < [\sigma], \quad (7.4)$$

де F – площа небезпечного перерізу протяжки, мм²;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, кг/мм²;

P_z – головна складова сили різання при протягуванні.

Небезпечний переріз протяжки може знаходитися на хвостовику, якщо хвостовик приварений із сталі марки 40Х. А якщо протяжка виготовлена цілком з інструментальної сталі, то небезпечним може бути переріз по западині перед першим зубом. Перевіряють в обох перерізах.

Допустиме напруження для сталі марки 40Х – $\sigma = 25$ кг/мм², для сталі ХВГ – $\sigma = 30$ кг/мм², для швидкорізальної сталі Р6М5 – $\sigma = 35—40$ кг/мм²

Силу протягування визначають ще і за формулою

$$P_z = F l_b, \quad (7.5)$$

де F – сила різання, кг/мм, що діє на 1 мм довжини різальної кромки протяжки за даною величиною підйому на зуб;

$l_b = b_{z,max}$ – найбільша сумарна довжина, мм, різальних кромок усіх одночасно працюючих зубів.

Здебільшого площа поперечного перерізу протяжок зовнішнього протягування не пов'язана безпосередньо з розмірами заготовки. Розміри поперечного перерізу цих протяжок можуть варіюватися в досить широких межах і призначають виходячи із конструктивних міркувань. Звичайно ці розміри настільки значні, що матеріал протяжки працює з великим запасом міцності. Тому зовнішні протяжки зазвичай на міцність не розраховують.

7.4 Схеми зрізування шарів металу

Відомо, що схема зрізування шарів металу істотно впливає на конструкцію різальної частини інструменту та на його стійкість. Схема показує, яким чином і у якій послідовності весь припуск розподіляється між зубами протяжки. Припуск під час протягування максимально зрізується чорною секцією, тому конструктивні особливості переважно стосуються саме її.

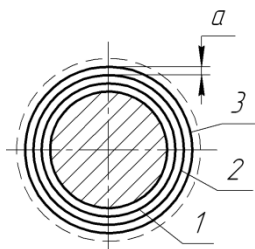


Рисунок 7.10 –
Одинарна схема

Існують дві схеми. Перша, коли припуск розподіляється шарами рівномірно між усіма зубами, а потім кожний шар подрібнюється стружкоподільними канавками (рис. 7.1, рис. 7.10). Поверхні, що розмежують шари, огортають поверхню деталі. Така схема має назву «одинарна схема різання».

Друга – передбачає подрібнення шару товщиною a_2 (рис. 7.11 а) на стружку поверхнями, що перетинають поверхню деталі. Водночас a_2 – це лише частина припуску, що зрізується групою зубів. Звичайно в групі два або три зуби. Може бути чотири і більше, але все залежить від умов стружкоутворення, і велика кількість зубів у групі використовується рідко.

Проходить 1-й зуб групи, за ним – 2-й і т. ін. (рис. 7.11 а, б). Така схема дістала назву «групова схема різання».

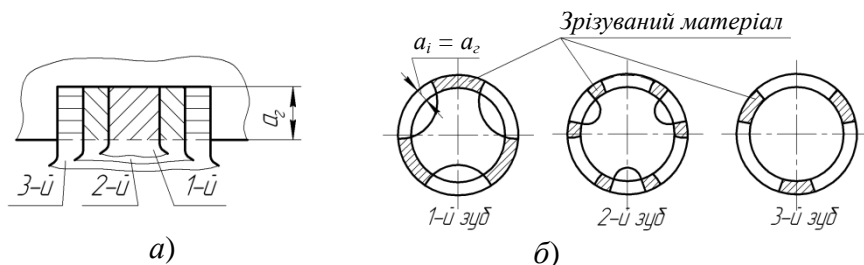


Рисунок 7.11 – Групова схема різання металу

Отже, залежно від схеми різання визначається конструкція інструмента. Протяжки, що працюють за першою схемою, називають протяжками одинарного різання, а за другою – протяжками групового різання.

Під час протягування отворів за одинарною схемою зрізуваний шар являє собою порожнистий циліндр із товщиною стінки, яка дорівнює величині підйому на зуб.

Закручування стружки на передній поверхні повинно перетворити цей циліндр на тор або в процесі цього закручування розірвати його. Якщо б утворився тор у западині перед зубом протяжки, то після оброблення деталі необхідно було б розрубувати і видаляти кільця з кожної западини протяжки. Сили в цьому разі непомірно зросли б і могли перевищити допустимі за міцністю інструменту, або за тягловим зусиллям верстата. Тому для спрощення процесу стружкоутворення на кромках сусідніх різальних зубів роблять у шаховому порядку стружкорозділювальні канави (рис. 7.12). До того ж зрізуваний шар розділяється на окремі стрічки, які порівняно легко сходять по передній поверхні зуба протяжки, вільно розміщуються в западині між зубами і випадають після виходу протяжки з отвору деталі.

Наявність стружкорозділювальних канавок на зубах одинарної протяжки спричинює і деякі негативні явища.

По-перше, на стружці створюється ребро жорсткості, внаслідок чого стружка закручується з великим зусиллям, діаметр вала виходить збільшеним, і тому для розміщення стружки потрібна канавка більшого об'єму.

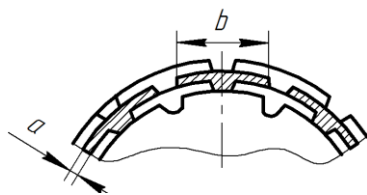


Рисунок 7.12 –
Стружкорозділювальні канавки

По-друге, на різальній кромці створюються додаткові вершини (у місці перетину різальної кромки стружкорозділювальною канавкою), і вони стають місцем посиленого зношення протяжки.

Посилене зношення протяжок біля стружкорозділювальної канавки пов'язане також із неоптимальним значенням задніх кутів та порушенням технології виготовлення. Для підвищення стійкості протяжок рекомендується стружкорозділювальним канавкам надавати кутової форми з гранично великим кутом профілю, $Q \geq 90^\circ$ (рис. 7.13).

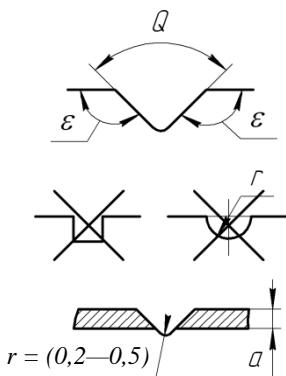


Рисунок 7.13 – Форма стружкорозділювальних канавок

У цьому разі не лише збільшується задній кут на допоміжних різальних кромках, але й збільшується маса біля вершини, що поліпшує відведення тепла, яке виникає під час різання. Величина кута ε повинна бути не меншою ніж 100° . Застосування напівкруглих і тим більше прямокутних стружкорозділювальних канавок не рекомендується, оскільки за такої форми задній кут на допоміжних різальних кромках стає таким, що дорівнює нулю й різко зменшується кут ε .

Чим більша ширина стружки, тим важче вона закручується у вал і тим гірше заповнює западину між зубами, особливо якщо кромка має криволінійну форму. Тому ширина зрізуваного шару не повинна перевищувати певну величину. За практичними рекомендаціями ширина шару може бути

$$b = 1,5\sqrt{d}, \quad (7.6)$$

але не більшою ніж 12—14 мм.

Кількість стружкорозділювальних канавок повинна бути парним числом для можливості вимірювання діаметра протяжки мікрометром.

Оскільки під час роботи протяжок одинарного різання різальна кромка кожного зуба зрізує стружку всією своєю довжиною, то утворюється значна ширина стружки. Тому товщина шару, що зрізується (підйом на зуб), не може бути занадто великою, оскільки це призводить до недопустимого підвищення сили різання (див. формулу (7.3)). Це є характерною особливістю протяжок одинарного різання. Так, для круглих протяжок одинарного різання під час оброблення сталі [19]:

$$a = 0,015—0,04 \text{ мм.}$$

Чавун не можна обробляти з такою малою товщиною зрізування, оскільки тоді вона порівнянна з радіусом заокруглення різальної кромки ρ , і процес різання стає неможливим (рис. 7.14).

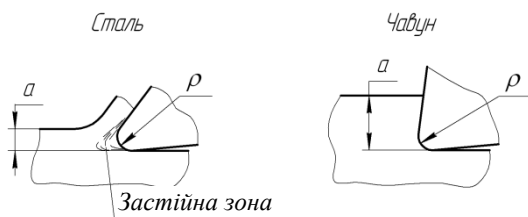


Рисунок 7.14 – Залежність товщини зрізування від властивостей оброблюваного матеріалу

Під час різання сталі стружкоутворення можливе навіть при $a/\rho < 1$ завдяки тому, що на передній поверхні утворюється застійна зона. Тому для круглих протяжок одинарного різання, які обробляють чавун [19]:

$$a = 0,03—0,10 \text{ мм.}$$

Але якщо одинарна протяжка через особливість конструкції деталі створює невелику ширину зрізування, то тоді з'являється можливість збільшити підйом на зуб. Наприклад, під час оброблення квадратних отворів і шпонкових пазів у сталевих деталях можна призначати a таким, що дорівнює 0,03—0,15 мм, а в чавунних деталях – таким, що дорівнює 0,05—0,20 мм.

Для підвищення точності і зменшення шорсткості обробленої поверхні на протяжках передбачаються, крім чорнових, декілька чистових зубів із зменшеними підйомами. Останні один – два чистових зуби мають підйом 0,01—0,005 мм і без стружкорозділювальних канавок. Стружка водночас настільки тонка, що легко розривається на частини і вільно розміщується у западині.

Зважаючи на те, що протяжки одинарного різання мають малі підйоми на зуб, вони довші, ніж протяжки групового різання. Крім того, вони мають меншу стійкість порівнянно із стійкістю протяжок групового різання внаслідок зношення на вершинах стружкорозділювальних канавок, збільшення сили різання під час закручування стружки за наявності на стружці ребра жорсткості й у разі зменшення товщини зрізування.

У протяжок групового різання усі зуби розділені на групи по два і більше. Висота кожного наступного зуба в групі менша від висоти попереднього на 0,02—0,04 мм (рис. 7.15 а):

$$d_{i+1} = d_i - (0,02, \dots, 0,04).$$

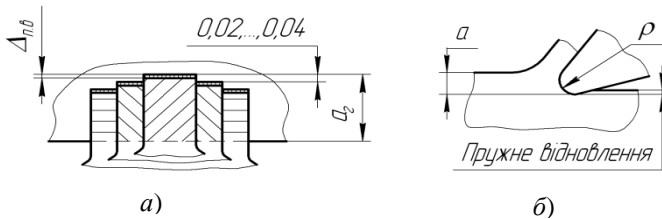


Рисунок 7.15 – Залежність висоти зубів у групі від пружного відновлення

Це для того, щоб у разі пружної деформації матеріалу, обробленого попереднім зубом групи (рис. 7.15 б), а також у разі надмірного зменшення його діаметра під час переточування наступний зуб не зрізав тонкі шари на проміжках різальної кромки попереднього зуба і тим самим не створював найгірші умови роботи одинарної схеми.

Якщо кожний із зубів протяжок одинарного і групового різання зрізує шари однакової площі:

$$F = \pi da = \frac{\pi d}{z_2} a_2, \text{ то } a_2 = a \cdot z_2, \quad (7.7)$$

де a і a_2 – підйоми при одинарному і груповому різанні;
 z_2 – кількість зубів у групі.

Таким чином, товщина шару, який зрізується групою протяжкою, в z_2 разів більша, ніж одинарною, а це надає їй значних переваг.

Із збільшенням товщини шару питома сила різання p згідно з діаграмою (див. рис. 7.9) зменшується. Тому кожний зуб протяжки групового різання буде працювати з меншою або з такою самою силою протягування Pz , зрізуючи водночас шар із більшою площею, ніж зуб протяжки одинарного різання. По-друге, в результаті збільшення величини підйому на зуб різальні кромки протяжок групового різання зрізують метал на глибині

під кіркою, завдяки цьому вони краще зберігаються в процесі різання. Зокрема, на них менше діють різні сторонні поверхневі включення.

Практика показала, що вони в середньому виходять коротшими на 30 % і мають стійкість удвічі більшу, ніж протяжки одинарного різання.

Є декілька різновидів конструкцій різальних зубів протяжок групового різання. Це залежить від технологічних можливостей та винахідливості конструктора.

Є протяжки групового різання з викружками (див. рис. 7.11 б). Особливість їх конструкції така, що усувається небезпека пошкодження сусідніх зубів під час шліфування стружкорозділювальних канавок, на допоміжних кромках зубів створюються задовільні задні кути, поліпшується тепло відведення в процесі різання, зрізані шари не мають ребра жорсткості.

Коли в групі зубів більше ніж три, то доцільно застосовувати так звані багатогранні протяжки. Викружки замінені прямолінійними гранями. Причому зуби в групі однакові за формою, але грані сусідніх зубів повернуті на деякий кут навколо поздовжньої осі. Ці протяжки мають такі самі переваги, що й протяжки з викружками. Але вони простіші у виготовленні, оскільки лиски (грані) меншої глибини, ніж викружки, і мають прямолінійну форму, їх виготовляють шліфуванням на прохід.

Проте під час конструювання протяжок групового різання (як з викружками, так і з лисками) необхідно додержуватись умови, щоб підйом на зуб був меншим, ніж викружки або лиски.

Протяжки групового різання більш прогресивні й економічно вигідніші, тому застосування протяжок одинарного різання обмежується.

7.5 Методи утворення поверхонь протягуванням

Конструкцію протяжок визначають не лише схемою різання шарів, а й також і методом утворення поверхонь протягуванням. Теоретично, пьд час використання лезового інструмента поверхня деталі утворюється лінією або точкою. Під час протягування розрізняють такі методи утворення профілю поверхні: метод подібності (або профільний), послідовний метод (або генераторний) і комбінований метод.

За методу подібності усі зуби протяжки мають форму, подібну до форми профілю остаточно обробленої поверхні (рис. 7.16 а). Попередні зуби не беруть участі у формуванні

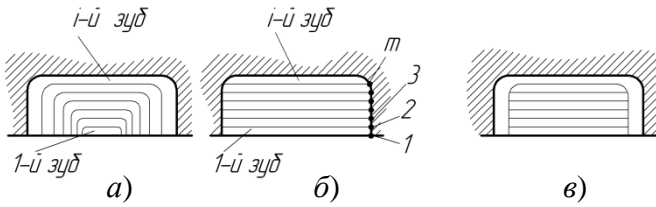


Рисунок 7.16 – Методи утворення поверхонь

профілю обробленої поверхні і лише видаляють відповідну масу матеріалу із заготовки. Остаточне ж формування профілю виконується різальною кромкою i -го зуба. Тобто поверхня деталі утворюється лінією.

Проте під час оброблення складних профілів метод подібності нераціональний, оскільки виготовляти складну і різну для кожного зуба форму різальної кромки досить складно. Тому такий метод застосовують лише під час оброблення простих поверхонь – площин і циліндричних отворів, а також іноді квадратних, прямокутних і шестигранних отворів. Крім того, такий метод створює різну площу зрізаного шару для кожного зуба, а це призводить до нерівномірного навантаження і, як наслідок, зношення зубів.

На рисунку 7.16 б показана схема оброблення того самого паза послідовним методом протягування. Як бачимо з цієї

схеми, усі зуби протяжки послідовно контактують з остаточним профілем обробленої деталі. Тут кожний різальний зуб бере участь у формуванні поверхні деталі. Перший зуб формує поверхню від точки 1 до точки 2, другий – від точки 2 до точки 3 і так далі. У результаті профіль виробу є сумою послідовних зрізів проміжками кромки кожного із зубів. Ці невеличкі проміжки можна вважати точками контакту і, отже, метод утворення поверхні буде точковим. Поверхня деталі складається (генерується) з цих точок.

Під час виготовлення протяжок, що працюють за послідовним методом, усі зуби обробляють шліфувальним кругом одного профілю на прохід, що значно спрощує виготовлення цих протяжок порівняно з протяжками, які працюють за методом подібності. Але, застосовуючи послідовний метод протягування на обробленій поверхні, іноді створюються поздовжні риси внаслідок похибок виготовлення зубів протяжки, а також унаслідок пластичного витискування оброблюваного матеріалу вздовж різальних кромки.

Тому за високих вимог до шорсткості поверхні застосовують комбінований метод утворення поверхні, який полягає в тому, що попереднє профілювання поверхні виконують послідовним методом, а останні два – три різальних і калібрувальних зуби зрізують шар по всьому контуру оброблюваної поверхні, тобто працюють за методом подібності (рис. 7.16 в). Тим самим усувають недоліки послідовного і профільного методів.

7.6 Чорнові зуби

Робоча частина протяжки складається з чорнових, чистових, калібрувальних та іноді ущільнювальних зубів.

Чорнові зуби зрізують основну масу металу, залишаючи для чистових зубів мінімальний шар. Кількість чорнових зубів протяжок одинарного різання визначають за формулою

$$z_{ч} = \frac{A - A_{чис}}{a} + 1, \quad (7.8)$$

де A – загальний припуск на сторону на протягуванні, мм;
 $A_{чис}$ – припуск на сторону для чистових зубів, мм;
 a – підйом на зуб, мм.

Одиниця додається для того, щоб на перший зуб не було випадкового надмірного навантаження через нерівномірність припуску, сторонні включення в метал, заокруглення результату при визначенні кількості зубів і т. ін.

Звичайно перший зуб протяжки не має підйому – його розмір дорівнює розміру передньої напрямної.

Для протяжок групового різання при кількості зубів у групі z_2 і підйомі на групу a_2 кількість чорнових зубів визначають за формулою

$$z_{ч} = \frac{z_2 (A - A_{чис})}{a_2} + 0,5 \cdot z_2. \quad (7.9)$$

Перша секція цих протяжок звичайно навантажується і працює з величиною підйому $0,5a_2$.

Форма чорнових зубів відповідає таким вимогам:

- геометрія зуба повинна забезпечити максимальну стійкість протяжки;
- зуб повинен мати максимальну кількість переточувань;
- западина між зубами повинна мати таку форму і розміри, щоб стружка вільно сходила по передній поверхні, правильно закручувалась у виток і повністю розміщувалась у западині;
- зуб повинен бути достатньо міцним, щоб не руйнуватися під дією сили різання.

Геометрія чорнових зубів має свої особливості. Величини передніх кутів протяжок в основному визначаються оброблюваним матеріалом. Передній кут впливає на форму стружки при її утворенні (радіус закручування, усадка) і на її рух по передній поверхні.

Під час зрізування товстих шарів металу (підйом на зуб 0,05 мм і більше) збільшення переднього кута знижує силу

протягування, шорсткість обробленої поверхні і підвищує стійкість протяжок. Досліди показали [19], що під час протягування сталі протяжками із швидкорізальної сталі збільшення переднього кута з 5 до 15° підвищує стійкість протяжок на 20—25 %. Зміна переднього кута в межах допуску на геометрію (2—3°) на силу різання, а відповідно і на стійкість протяжки істотно не впливає.

Рекомендовані значення передніх кутів під час оброблення різних матеріалів наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Передні кути різальних зубів протяжок

Оброблюваний матеріал	Твердість НВ	Передній кут γ , град.
Сталь	<197	18-16
	198-229	15
	>229	12
Сірий чавун	<180	8
	≥ 180	5
Ковкий чавун	–	10
Алюміній, червона мідь, бабіт	–	25

Експериментальні дослідження показують, що збільшення передніх кутів чорнових зубів сприяє підвищенню стійкості протяжки в цілому. Проте створення великих передніх кутів на протяжках не завжди можливе, особливо за малих діаметрів протяжок, оскільки величина переднього кута пов'язана з діаметрами протяжки і шліфувального круга (рис. 7.17):

$$D_u = \frac{D \sin(\beta - \gamma)}{\sin \gamma}, \quad (7.10)$$

де D_u – діаметр шліфувального круга;

D – діаметр западини першого зуба протяжки;

γ – передній кут протяжки;

β – кут між осями протяжки і шпинделя шліфувального круга.

У протяжок з малим підйомом на зуб (0,02 мм і менше) зменшення переднього кута на силу різання практично не впливає. Це пояснюється тим, що за таких малих підйомах зуб протяжки контактує з металом у межах радіуса заокруглення різальної кромки r і зміна положення передньої поверхні ні до чого не призводить.

Вибір задніх кутів чорнових зубів протяжок обмежується тим, що за значних задніх кутів зуби протяжки швидко втрачають робочі розміри при переточуванні, оскільки його виконують по передній поверхні. Крім того, за великих задніх кутів зрізування під час переточування шарів різної товщини на передній поверхні кожного зуба призводить до зміни на них підйому на зуб, що порушує режим роботи інструменту.

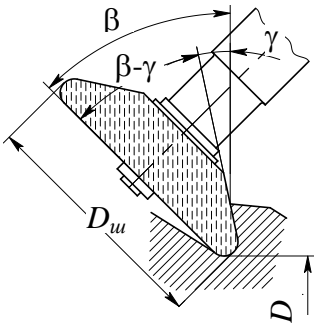


Рисунок 7.17 – Заточування протяжок

Проте дуже малі задні кути призводять до збільшення тертя і налипання частинок металу (адгезії) на задній поверхні. Це спричинює погіршення якості обробленої поверхні та зростання сили різання.

Тому на підставі експериментальних досліджень і аналізу практичних результатів рекомендують такі значення задніх кутів для чорнових зубів: внутрішні – $\alpha = 3^\circ$; зовнішні – $\alpha = 3\text{—}4^\circ$.

Збільшення задніх кутів зовнішніх протяжок пояснюються тим, що ці протяжки зазвичай мають пристрої для регулювання секцій протяжок по висоті, що дозволяє компенсувати зменшення робочих розмірів протяжки під час переточування. Унаслідок наявності такого регулювання є можливість збільшити задній кут чорнових зубів зовнішніх протяжок до 10° .

Зважаючи на малі значення задніх кутів, їх граничні відхилення дорівнюють $\pm 30'$. На задній поверхні чорнових зубів можлива фаска шириною не більше ніж 0,05 мм з $\alpha = 0^\circ$.

Крок зубів протяжки визначають як відстань між сусідніми вершинами зубів, виміряну уздовж осі протяжки. За інших однакових умов, чим більший крок зубів протяжки, тим вона довша і дорожча і тим більший машинний час протягування. Тому потрібно, щоб крок протяжки був щонайменшим. Проте дуже малий крок чорнових зубів може зменшити розміри западини, а це унеможлиблює розміщення стружки і тим самим протягування деталі. Крок зубів є одним з основних конструктивних параметрів протяжки.

Оскільки вибір величини кроку протяжки обумовлений великою кількістю чинників, то звичайно спочатку встановлену величину кроку перевіряють, якою мірою вона задовольняє інші вимоги, що ставлять до конструкції даної протяжки.

Попереднє орієнтовне значення кроку визначається за емпіричними формулами:

- для протяжок одинарного різання

$$t = (1,25, \dots, 1,5)\sqrt{l_d}; \quad (7.11)$$

- для протяжок групового різання

$$t = (1,45, \dots, 1,9)\sqrt{l_d}, \quad (7.12)$$

де l_d – довжина оброблюваного отвору.

Із цих формул бачимо, що протяжки групового різання мають більші кроки, ніж протяжки одинарного різання. Але оскільки зуби протяжок групового різання зрізають набагато товстіші шари, то все-таки ці протяжки виходять коротшими, ніж протяжки одинарного різання.

Рекомендується такий ряд кроків протяжок:

4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 18, 20, 22, 25 мм.

Після визначення кроку перевіряють кількість зубів, що одночасно працюють за формулою

$$z = \frac{l_d}{t}. \quad (7.13)$$

Добре, якщо одночасно контактують із металом чотири, п'ять зубів, але не повинно бути менше двох.

Стружкова канавка призначена для утворення передньої поверхні зуба протяжки і для розміщення стружки, що зрізується. Тому розміри канавки залежать насамперед від довжини оброблюваної поверхні і від товщини шару, що зрізується, тобто від підйому на зуб a .

Канавка не повинна надмірно послаблювати поперечний переріз протяжки. Навіть якщо міцність протяжки на розтягування буде достатньою, вона може виявитися недостатньо жорсткою. Це спричинить труднощі при її виготовленні (під час токарної, шліфувальної та інших операцій). Недостатня жорсткість протяжки може спотворити її під час термічного оброблення. Тому чим менший діаметр протяжки, тим менша глибина канавки.

Отже, розміри стружкової канавки чорнових зубів внутрішніх протяжок залежать від довжини оброблюваної поверхні або кроку протяжки, підйому на зуб і діаметра протяжки.

Конструкція зовнішніх протяжок зазвичай не лімітується їх міцністю і жорсткістю. Тому в зовнішніх протяжок розміри стружкових канавок визначають лише довжиною оброблюваної поверхні і підйомом на зуб.

Стружка, що зрізується з пластичних матеріалів, звичайно скручується в спіральний виток. Частина стружкової канавки, що заповнюється витком стружки, називають робочим об'ємом.

Під час оброблення крихких матеріалів (чавун, бронза) стружка зрізується окремими елементами. Така стружка може заповнити стружкову канавку повністю, включаючи і її неробочий об'єм.

Форма стружкової канавки протяжки визначається такими розмірами (рис. 7.18):

t – крок протяжки;

C – ширина задньої поверхні, звичайно вимірюється в напрямі осі протяжки;

γ – передній кут;

α – задній кут;

R – радіус спинки зуба;

η – кут спинки зуба (в протяжок із прямолінійною спинкою);

r – радіус перехідної дуги між передньою поверхнею і спинкою зуба (радіус дна канавки);

H – глибина стружкової канавки.

Параметри чорнових зубів залежно від кроку можна визначити за таблицями довідників [19]. Проте усі їх розміри підраховані за такими залежностями [23]:

$$H \approx 0,42t, \quad R \approx 0,7t, \quad C \approx 0,33t, \quad r = 0,5H. \quad (7.14)$$

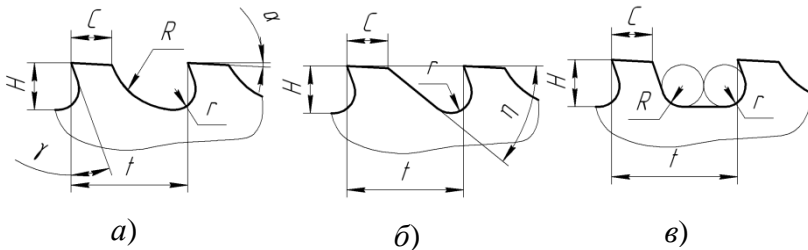


Рисунок 7.18 – Форми стружкових канавок

Для оброблення пластичних матеріалів найкращою є стружкова канавка із спинкою зуба, обкресленою дугою кола (рис. 7.18 а). Така форма дає плавне сполучення дна канави із спинкою, забезпечує добре формування стружки в щільний вал і збільшує об'єм канавки, не зменшуючи ширину спинки зуба і кількості переточувань протяжки.

Під час протягування крихких матеріалів може застосовуватися форма стружкової канавки з прямолінійною спинкою (рис. 7.18 б).

Для внутрішніх протяжок із великим кроком і малим діаметром (обробляється довгий отвір) рекомендується подовжена форма канавки для збільшення площі перерізу по

западині і створення достатнього об'єму стружкової канавки для розміщення стружки (рис. 7.18 в).

Стружка закручується в спіральний вал. Чим більший підйом на зуб a , тим більший радіус закручування стружки ρ . Якщо глибина стружкової канавки H і радіус її дна r достатньо великі (щоб не перешкоджати закручуванню), стружка спочатку закручується вільно, не торкаючись дна канавки. Потім у процесі протягування діаметр витка зростає, поки вал не торкнеться дна канавки. Після цього він починає ущільнюватися і заповнювати робочий простір канавки. Такий процес утворення витка називають вільним закручуванням, можливим за $\rho < r$.

Якщо початковий радіус закручування стружки ρ більший за радіус дна канавки r , то канавка обмежує рух стружки. Остання ковзає по передній поверхні і по дну канавки, утворюючи спочатку виток із радіусом $\rho = r$. Наступні витки утворюються усередині першого витка, поступово заповнюючи робочий простір канавки. Такий процес утворення стружки називають примусовим.

Примусовий процес утворення стружкового вала дає більш щільне заповнення робочого об'єму канавки. Отже, під час примусового закручування можна призначати менші розміри стружкових канавок, зокрема і кроку зубів, і тому протяжка коротша, ніж під час вільного закручування стружки.

Але за дуже малого радіусу дна канавки стружка впирається в спинку зуба, ламається і нерівномірно заповнює стружкову канавку. Це може призвести до псування протягнутої поверхні і до поломки зубів протяжки.

Якщо призначити величину радіуса дна канавки $r = 0,5H$, то тоді для кожної глибини канавки є свій граничний підйом на зуб a , за якого закручування стружки в спіральний вал відбувається нормально (табл. 7.3).

Робоча площа стружкової канавки в осьовому перерізі F_k приблизно дорівнює площі круга з радіусом $r = 0,5H$, $F_k = \pi r^2$. Цю площу порівнюють із площею осьового перерізу шару, що

зрізується одним зубом, $F_c = al_\delta$ (тут l_δ – довжина протягнутої поверхні, a – підйом на зуб). Оскільки між витками стружки існують зазори, то, природно, площа зрізаного шару F_c повинна бути меншою від робочої площі канавки F_k . Відношення цих площ називають коефіцієнтом заповнення стружкової канавки і позначають літерою K .

Таким чином,
$$K = \frac{\pi H^2}{4al_\delta} = \frac{0,785H^2}{al_\delta} . \quad (7.14)$$

Таблиця 7.3 – Граничні величини підйомів, за яких стружка закручується в спіральний вал (для сталі)

Ширина шару, що зрізується b , мм	Граничні підйоми на зуб a , мм, за глибини стружкових канавок h , мм				
	3	4	5	6	7
3	0,15	0,20	0,25	0,3	0,4
До $1,2\sqrt{d}$	0,10	0,15	0,20	0,3	0,3
До $1,5\sqrt{d}$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25

За цією формулою, де K і l_δ задані, може бути визначена глибина канавки, достатня для розміщення стружки за вибраного підйому a :

$$H_p \geq 1,13\sqrt{Kal_\delta} . \quad (7.15)$$

Якщо глибина канавки уже вибрана з тих або інших міркувань, то може бути визначена гранична величина підйому a , допустима для такої канавки

$$a \leq \frac{0,785H^2}{Kl_\delta} . \quad (7.16)$$

Величина коефіцієнта заповнення канави K залежить від багатьох чинників – від схеми зрізування шарів металу (одинарна або групова), від оброблюваного матеріалу, підйому на зуб, ширини шару, кроку зубів та ін.

При одинарній схемі зрізування шарів на стружці утворюється ребро жорсткості від стружкорозділювальної

канавки попереднього зуба (див. рис. 7.12), що утруднює згортання стружки у вал. Він менш щільний, а тому необхідний більший об'єм стружкової канавки. Це стає дуже помітним із збільшенням підйому на зуб. Через це коефіцієнт K у протяжок одинарного різання за інших однакових умов приблизно на 25 % більший, ніж у протяжок групового різання.

Для високолегованих сталей величину K призначають більшою, ніж для низьколегованих сталей. Для чавуну та бронзи й інших матеріалів, які дають сипучу стружку, коефіцієнт K менший, ніж для сталей.

Більш широка стружка важче закручується у вал, тому при утворенні широких стружок коефіцієнт K більший, ніж вузьких. Із збільшенням кроку зубів коефіцієнт K збільшується, оскільки при цьому збільшується об'єм стружкової канавки.

Взагалі об'єм стружкової канавки інструменту повинен бути у 3—6 разів більшим від об'єму зрізаного металу. Але під час конструювання протяжок застосовують більш жорсткий підхід. Намагаються, щоб K був якомога меншим, оскільки це дуже впливає на довжину протяжки (через крок) і на її міцність (глибина канавки). Є навіть рекомендації щодо співвідношення глибини канавки H та її діаметра d : $H \leq 0,17d$. Для протяжок одинарного різання K може дорівнювати 2—2,5, а для протяжок групового різання навіть 1,5. Для прикладу в таблиці 7.4

Таблиця 7.4 – Коефіцієнти заповнення стружкової канавки K для протяжок групового різання

Крок зуба t , мм	Коефіцієнт заповнення канавки K при підйомі на зуб a , мм		
	< 0,05	0,05—0,1	> 0,1
4,5—8	3,3	3,0	2,5
10—14	3,0	2,7	2,2
16—25	2,8	2,5	2

наведені коефіцієнти заповнення канавки K для протяжок групового різання, які перевірені практикою під час оброблення сталі з шириною шару, що зрізується $b = 1,2\sqrt{d}$, для різних підйомів на зуб і кроків зубів t .

7.7 Різноманітність конструктивних рішень

Протяжка – це дорогий та складний для виготовлення і експлуатації інструмент. Тому під час конструювання намагаються знайти такі рішення, які покращують умови його створення та використання. Це призводить до того, що конструкція протяжки буде визначатися не лише схемою зрізування припуску та методом утворення поверхні, а й винахідливістю проектувальника. Звичайно складні поверхні, які утворюються протягуванням, розкладають на прості, і для кожної такої складової проектують окрему секцію зубів. Наприклад [9], під час оброблення шліцьової втулки її поверхню розглядають як таку, що має циліндричну ділянку, попарно

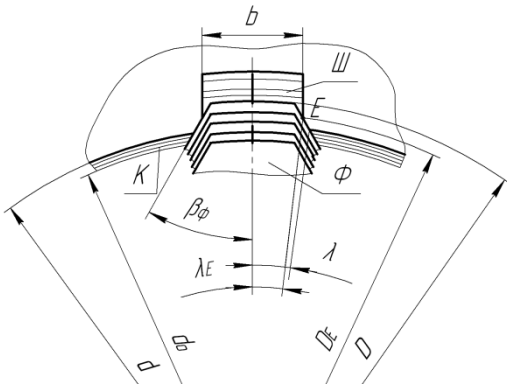


Рисунок 7.19 – Схема утворення шліцьової поверхні

паралельні площини, що утворюють шліцьові западини та фаски між ними. Тому проектується проста секція для створення фасок Φ , ще одна секція обробляє циліндричну поверхню з діаметром d як звичайна кругла протяжка K і на решті третя секція створює шліцьові западини $Ш$ (рис. 7.19). Таку послідовність можна позначити як $\Phi - K - Ш$.

Проте вона може бути й іншою, залежно від способу центрування (точності виготовлення простих поверхонь) шліцьового з'єднання. Таку конструкцію протяжки можна розглядати як комбінований інструмент, кожна складова якого призначена для оброблення простої поверхні. Тоді і процес конструювання протяжки для оброблення шліцьової втулки це конструювання трьох протяжок: Φ , K та $Ш$.

Припуск для секції Φ визначається так:

$$\sin \lambda = \frac{b + 2f}{d} . \quad (7.17)$$

Кут фаски $\beta_\phi = 45^\circ$, тоді

$$\operatorname{ctg} \lambda_E = \frac{(b + 2f) \operatorname{ctg} \lambda + 2f \cdot \operatorname{ctg} \beta_\phi}{b} . \quad (7.18)$$

Діаметр кола D_E , яке проходить через точку перетину фаски та сторони шліца, дорівнює

$$D_E = \frac{b}{\sin \lambda_E} . \quad (7.19)$$

Для гарантованого утворення фаски теоретичний діаметр останнього зуба збільшують на 0,4 мм. Якщо попередньо оброблений для протягування отвір d_o , то припуск (див. рис. 7.19) можна визначити як

$$A_\phi = (D_E + 0,4 - d_o) / 2 . \quad (7.20)$$

Припуски для секцій K та Φ визначаються за формулами

$$A_K = (d_{\max} - d_o) / 2, \quad A_{III} = (D_{\max} - D_E) / 2 . \quad (7.21)$$

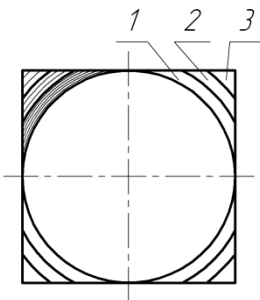


Рисунок 7.20 –
Конструювання
секцій із різним
підйомом на зуб

Схеми зрізування металу та методи утворення поверхонь у межах кожної із секцій Φ , K , III можуть бути будь-якими, найбільш придатними для даних умов.

Ще один приклад [25]. У протяжок для оброблення багатограних отворів від зуба до зуба зменшується ширина різальної кромки. Внаслідок цього зменшується і навантаження. Якщо протяжку розділити на декілька секцій (рис. 7.20), на яких буде збільшуватися підйом на зуб, то тоді вирівнюються навантаження на зуби, а через збільшення a покращуються умови їх роботи. Площа зрізування в секціях 1, 2, 3 майже не змінюється.

7.8 Чистові й калібрувальні зуби

Під час роботи чорнових зубів на обробленій поверхні утворюються риски, задирки та інші дефекти. Глибина їх приблизно дорівнює підйому на зуб. Товщини того шару металу, який зрізують калібрувальні зуби, не достатньо для усунення перелічених недоліків. Тому між калібрувальними та чорновими зубами розміщують чистові зуби для зменшення глибини дефектів, що створюють чорнові зуби. Підйом чистових зубів змінюється. Він поступово зменшується від зуба до зуба (або від групи до групи) у $n = 1,5—2$ рази. Тому підйом на z -му чистовому зубі [23] дорівнює

$$a_z = \frac{a}{n^z},$$

де a – підйом чорнових зубів.

Підйом на останньому чистовому зубі a_{\min} при шорсткості обробленої поверхні з $Ra = 2,5—12,5$ повинен бути не більшим ніж $0,02$ мм, а при $Ra = 0,63—2,5$ – не більшим ніж $0,01$ мм. За цією умовою можна визначити *кількість чистових зубів*. Якщо

$$\frac{a}{n^z} = a_{\min}, \text{ то тоді } n^z = \frac{a}{a_{\min}}, \text{ і}$$

$$z_{\text{чист}} = \log_n \left(\frac{a}{a_{\min}} \right) = \frac{\ln \left(\frac{a}{a_{\min}} \right)}{\ln n}. \quad (6.24)$$

Припуск на чистову секцію визначають як

$$A_{\text{чист}} = a \sum_{i=1}^{z_{\text{чист}}} n^{-i}. \quad (6.25)$$

Припуск на калібрувальну секцію не призначають. Ці зуби зрізують лише те, що потрапляє в зону різання в результаті пружного відновлення поверхні після проходження чистової секції.

Кількість калібрувальних зубів призначають, виходячи з вимог до точності обробленої поверхні:

- 6—8-й квалітети: 7—5 зубів;
- 9—11-й квалітети: 4—3 зуби;
- 12—14-й квалітети: 3—2 зуби.

Крок чистових і калібрувальних зубів може бути такий, як і у чорнових. Але, починаючи з 10 мм та більше, його рекомендують зменшувати на 20 %, що дозволяє зменшити довжину протяжки та підвищити кількість зубів, що одночасно контактують з металом.

Геометрія чистових і калібрувальних зубів має деякі особливості. Передній кут такий, як і в чорнових зубів (табл. 6.2). Задній кут у чистових зубів $\alpha = 2^\circ$, а в калібрувальних зубів – $\alpha = 1^\circ$ для протяжок, що обробляють внутрішні поверхні. Допуск дорівнює $10'$. У регульованих протяжках усі зуби мають кут α , що дорівнює $3—4^\circ$. На калібрувальних зубах рекомендують робити фаску шириною $f = 0,2—0,3$ мм із заднім кутом $\alpha_f = 0^\circ$. Допуски на діаметри чистових та калібрувальних зубів становлять третину або чверть від допуску на відповідний розмір виробу. Максимальний розмір калібрувальних зубів дорівнює найбільшому граничному розміру обробленої поверхні.

7.9 Приєднувальна частина та довжина протяжки

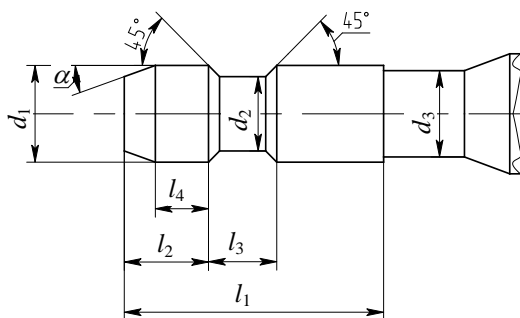


Рисунок 7.21 – Круглий хвостовик

Форма та розміри хвостовика залежать як від розмірів деталі, так і від приєднувального патрона на верстаті. Деякі розміри [16] круглих хвостовиків (рис. 7.21) діаметром від 12 до 100 мм (ГОСТ 4044-

70) наведені у таблиці 7.5, плоских (рис. 7.22) – у таблиці 7.6 (ГОСТ 4043-70).

Довжина протяжки повинна бути такою, щоб під час робочого ходу на вибраному верстаті (табл. 7.7) вона повністю не мала контакту з деталлю. Тобто

$$L_x > l_p + l_{zn} + l_d,$$

де L_x – довжина робочого ходу верстата;

l_p – довжина робочої частини протяжки;

l_{zn} – довжина задньої напрямної;

l_d – довжина деталі.

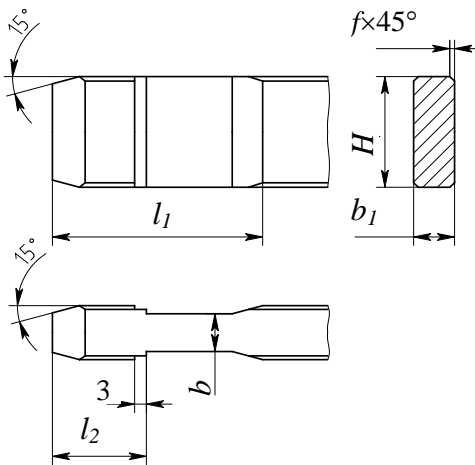


Рисунок 7.22 – Плоский хвостовик

Якщо це не так, то необхідно або замінити верстат, або розділити робочу частину спроектованої протяжки на декілька частин. Тоді уся протяжка буде мати вигляд комплексу протяжок, які за довжиною відповідають робочому ходу вибраного верстата.

Довжину робочої частини визначають як суму добутків кількості зубів і кроків відповідних секцій

Таблиця 7.5 – Розміри круглих хвостовиків

d_1	12	16	18	22	28	32	36	45	50	63	70	80	100
d_2	8	11	13	17	22	25	28	34	38	48	53	60	75
d_3	12	16	18	22	28	32	36	45	50	63	70	80	100
l_1	100		120		140		160		190		220		
l_2	20		25		32		40		50				
l_3	20		25		32		40		50				
l_4	12		16		20		25		32				
α°	10	20		30									

протяжки. Форма передньої напрямної кожної наступної протяжки із комплекту відповідає формі поверхні, створеній попередньою протяжкою.

Таблиця 7.6 – Розміри плоских хвостовиків

b_1	10	12	16	20	22	24	28	36	40	45	50
b	9,4	11	15	19	19	23	26,8	34,8	38,5	43,5	48,5
H	22	28					55	60			
l_1	14	17				20				28	
l_2	36	43	47			58				40	
f	0,8	1,0									

Таблиця 7.7 – Тяглова сила P_e і довжина ходу протяжних верстатів

Модель верстата	Тяглова сила P_e , т	Довжина ходу L_x , мм
Горизонтальні протяжні верстати		
7510, 7510М	10	1400
7A510	10	1250
7520, 7A520	20	1600
7530М	30	1800
7540	40	2000
7551	70	2000
7552	100	2000
Вертикальні протяжні верстати		
7705, 7705А	5	600
7705Б	5	800
7A705В	10	1350
77101, 7A710	10	1200
7Б710, 7710В	10	1000
7720, 7A710Д	20	1600
7Б720, 7720В, 7A720Д	20	1250

7.10 Послідовність проектування протяжки

Під час конструювання протяжок розрахунок секції чорнових зубів (визначення їх кількості, розмірів і форми) є найважливішим етапом у визначенні довжини протяжки, її працездатності та економічних показників.

Розрахунок протяжки – це ітераційний процес. Можливі декілька варіантів конструкції. З усіх варіантів вибирають той, який дає мінімальну довжину протяжки, достатню плавність роботи, меншу трудомісткість виготовлення (табл. 7.8). Тому при розрахунках бажано використовувати спеціальні програми для ЕОМ або математичні пакети типу *Mathcad*.

Вихідними даними для розрахунку протяжки є габаритні розміри оброблюваної деталі та її форма; розміри і форма оброблюваної та обробленої поверхонь, допуски; припуск під протягування; матеріал оброблюваної деталі; шорсткість; параметри протяжного верстата і пристрою.

Таблиця 7.8 – Алгоритм проектування протяжки

Номер	Назва етапу	Позначення, формули
1	2	3
1	Аналіз поверхні виробу, формування комбінованої протяжки для оброблення простих форм поверхні	
2	Визначити припуск під протягування	A
3	Визначити схеми зрізування шарів металу і методи утворення обробленої поверхні	
4	Призначити підйом на зуб (групу)	<p>Одинарна протяжка: $a = (0,015, \dots, 0,04)$ мм; $a = (0,03, \dots, 0,10)$ мм. Групова протяжка: $a_z = a \cdot z_z$</p>
5	Визначити кількість зубів чистової секції	$z_{чис} = \frac{\ln\left(\frac{a}{a_{min}}\right)}{\ln n}$
6	Визначити припуск для чистової секції	$A_{чис} = a \sum_{i=1}^{z_{чис}} n^{-i}$

Продовження таблиці 7.8

1	2	3
7	Розрахувати кількість зубів чорнової секції	<p>Одинарна протяжка:</p> $z_{чорн} = \frac{A - A_{шис}}{a} + 1.$ <p>Групова протяжка:</p> $z_{г} = \frac{z_{ч} (A - A_{шис})}{a_{г}} + 0,5 \cdot z_{ч}$
8	Розрахувати крок зубів чорнової секції	<p>Одинарна протяжка:</p> $t = (1,25, \dots, 1,5) \sqrt{l_{\delta}}$ <p>Групова протяжка:</p> $t = (1,45, \dots, 1,9) \sqrt{l_{\delta}}$
9	Призначити форму стружкової канавки і розрахувати її конструктивні параметри	$H \approx 0,42 t, \quad R \approx 07 t,$ $C \approx 0,33 t, \quad r = 0,5H$
10	Перевірити глибину стружкової канавки за коефіцієнтом заповнення	$H_p \geq 1,13 \sqrt{K a l_{\delta}},$ $H \geq H_p$
11	Розрахувати силу різання під час протягування	$Pz = paz_{\max} \sum_{i=1}^n b_i$ <p>($z_{\max} = \frac{l_{\delta}}{t} + 1$, p із таблиці 6.1)</p>
12	Визначити довжину й діаметр шийки	$l_{ш} = l_{см} + l_{к} + l_{\delta} - l_{нк} - l_{нн} +$ $+ (5, \dots, 30), \quad d_{ш}$
13	Розрахувати протяжку на міцність у перерізах перед першим зубом та на шийці. (Якщо $\sigma \gg [\sigma]$, то можна збільшити підйом на зуб. Коли $\sigma < [\sigma]$, то зменшують підйом на зуб, змінюють розміри і форму стружкової канавки, збільшують крок чорнових зубів)	$\sigma = \frac{P_z}{F} < [\sigma]$
14	Визначити довжину задньої напрямної	$l_{зн} = 74,8 - \frac{1,4 \cdot 10^3}{l_{\delta}}$

Продовження таблиці 7.8

1	2	3
15	Визначити довжину передньої напрямної	$l_{nn} = (1, \dots, 0,75)l_{\theta}$
16	Визначити довжину напрямного конуса	$l_{нк} = (10, \dots, 20)$ мм
17	Призначити геометрію зубів протяжки	α, γ
18	Призначити кроки чистових і калібрувальних зубів	$t_{чис}, t_k$
19	Призначити кількість калібрувальних зубів	z_k
20	Визначити довжину робочої частини	$l_p = \sum(l_{ч} + l_{чис} + l_k)$
21	Вибрати модель верстата	$Pz < P_a, L_x > l_p + l_{zn} + l_{\theta}$
22	Визначити форму і розміри хвостовика	$l_{xb} = l_1, (l_2, l_3, l_4, d_1, d_2, d_3$ або $b, b_1, H, l_2)$
23	Визначити повну довжину протяжки	$L = l_{xb} + l_{ш} + l_{нк} + l_{nn} + l_p + l_{zn} + l_{ч}$

Проектування протяжки є ітераційним процесом, тому що не усі його складові можна автоматизувати. Різноманітність конструктивних особливостей деталей і технологічних процесів потребує інтелектуальних підходів, що стримує розроблення єдиних алгоритмів для беззастережного використання CAD/CAM систем під час проектування протяжок. Проте, незважаючи на труднощі при спробі повної автоматизації цього процесу, є можливість автоматизувати деякі його частини.

7.11 Робоче креслення

На робочому кресленні повинна бути зображена протяжка з усіма розмірами, допусками на них та зазначена шорсткість поверхонь. Повинні бути параметри профілю зубів (рис. 7.18) з допусками, що забезпечують оброблення відповідно до креслення деталі.

Зверху повинна бути таблиця, в якій записуються розміри

зубів, допуски на них та значення заднього кута (табл. 7.9).

Розміри центрувальних отворів – відповідно до ГОСТу 14034-68. При діаметрі хвостовика 14 мм і більше приєднувальну частину виготовляють із конструкційної сталі. Зварювальний шов повинен бути на шийці.

Таблиця 7.9 – Приклад запису даних на кресленні протяжки

Секція	Чорнова							Чистова				Калібрувальна		
Кут α	$3^\circ \pm 30'$							$2^\circ \pm 10'$				$1^\circ \pm 10'$		
Допуск	0,04							0,012						
Діаметр	20,00	20,09	20,18	20,27	20,36	20,45	20,54	20,59	20,63	20,65	20,66	20,66	20,66	20,66
Номер зуба	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Такі технічні вимоги, як допуски на радіальне биття чистових та калібрувальних зубців, радіальне биття хвостовика, напрямних, необхідно показати умовними позначеннями на кресленні. Їх значення визначають як 0,25—0,33 від допусків відповідних розмірів деталі.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментальної сталі (високолегованої, марки із ГОСТу 9373-60 або ХВГ з ГОСТу 5950-63);
- приєднувальна частина зварених протяжок із сталі 40Х із ГОСТу 4543-61;
 - твердість робочої частини, HRC 62—65;
 - твердість приєднувальної частини, HRC 40—47;
 - маркування;
 - гострі неробочі кромки повинні бути затуплені;
 - зуби не повинні мати задирок, завалів та викришених кромок;
 - робоча частина не повинна мати зон із заниженим вмістом вуглецю зі зниженою твердістю.

Контрольні питання

- 1 На яких виробництвах використовують протяжки?
- 2 Що таке підйом на зуб?
- 3 Причини високої продуктивності процесу протягування.
- 4 Типи протяжок.
- 5 Відмінність між протяжками і прошивками.
- 6 Параметри шорсткості поверхні і точність після протягування.
- 7 Швидкість різання під час протягування.
- 8 Складові частини протяжки та їх призначення.
- 9 Визначення довжини шийки.
- 10 Поперечні розміри передньої і задньої напрямних.
- 11 Формула для визначення головної складової сили різання.
- 12 Залежність питомої сили різання від підйому на зуб.
- 13 Розрахунок протяжки на міцність.
- 14 Схеми зрізування припуску протяжками.
- 15 Стружкоподільні канавки на зубах одинарної протяжки.
- 16 Рекомендовані значення підйому на зуб для круглих протяжок одинарної схеми різання.
- 17 Причини можливих менших значень підйому на зуб під час оброблення пластичних матеріалів порівняно з крихкими.
- 18 Причини зменшення висоти кожного наступного зуба групи прогресивної протяжки.
- 19 Переваги прогресивної (групової) протяжки порівняно з одинарною.
- 20 Методи утворення поверхонь протягуванням.
- 21 Складові робочої частини протяжки.
- 22 Формули для визначення кількості зубів чорнової секції.
- 23 Геометрія чорнових зубів.
- 24 Формули для визначення кроку зубів чорнової секції.
- 25 Форми і параметри стружкової канавки протяжки.
- 26 Коефіцієнт заповнення стружкової канавки.
- 27 Перевірка достатності глибини стружкової канавки для розміщення стружки.
- 28 Будова протяжки для оброблення шліцьових втулок.
- 29 Формули для визначення кількості зубів і припуску на чистову секцію.
- 30 Визначення кількості зубів калібрувальної секції.
- 31 Геометрія чистових і калібрувальних зубів.
- 32 Приєднувальна частина та довжина протяжки.
- 33 Параметри вибору протяжного верстата.

ПІСЛЯМОВА

Визначення єдиних законів та закономірностей конструювання різальних інструментів, створення загальної методики їх розрахунків дозволили б раціонально вирішувати практичні завдання інструментальної підготовки виробництва.

На цей час окреслені загальні підходи до вибору інструментальних матеріалів та механізмів їх кріплення, встановлені спільні конструктивні елементи різних інструментів, вимоги до їх точності та до якості робочих поверхонь лез.

Є спроби узагальнити процес проектування робочої частини інструмента. В основу такої методики П. Р. Родін поклав дві ланки (поверхня деталі D та вихідна інструментальна поверхня L) діючого під час оброблення механізму. За формою вихідної інструментальної поверхні проектується різальний інструмент. Проте здебільшого форма вихідної інструментальної поверхні однозначно не визначається ні формою деталі, ні наявними відносними рухами згаданих двох ланок. Контакт між ними може бути лінійним (постійним або періодичним) чи точковим (також постійним або періодичним).

Геометрично поверхня деталі створюється двома координатними лініями: твірною та напрямною. Якщо різальна кромка повністю контактує з поверхнею деталі, то тоді контакт лінійний і її можна вважати твірною майбутньої поверхні. Якщо різальна кромка має точковий контакт з поверхнею деталі, тоді необхідно цю точку провести по траєкторії, яка буде твірною для означеної поверхні деталі, а потім цю твірну спрямувати по необхідній напрямній.

Формоутворення як рух твірної по напрямній дослідили С. І. Лашнев, А. Н. Борисов, С. Г. Ємельянов. Якщо координатні лінії при утворенні поверхні змінюють свою форму, то оброблення такої поверхні можливе лише за точкового контакту інструмента з деталлю, бо не існує таких інструментів, форма робочої частини в яких може змінюватися під час їх роботи.

Отже, якщо розглядати процес формоутворення як роботу деякого механізму, що складається із двох ланок (I та D), які контактують по лінії E [15, 23], то ця лінія може бути або різальною кромкою, або утворена кінематично за відповідного руху зони точкового контакту.

Щоб пов'язати координатне визначення поверхонь з практикою утворення реальних деталей необхідно проаналізувати, яким чином можуть бути створені за різних контактів з інструментами найбільш поширені поверхні деталі (площина, поверхня обертання, евольвентна поверхня тощо).

За лінійного контакту сформувати поверхню за постійного контакту можна завдяки обертальному руху (циковка) чи поступальному руху вздовж напрямної (зовнішня протяжка).

Якщо ж контакт дискретний, то форми траєкторій різальних кромок інструмента в просторі не обмежуються, але вони повинні бути дотичними до напрямної поверхні деталі, наприклад, фрезерування циліндричною фрезою з прямим зубом.

Під час фрезерування площини циліндричною фрезою з гвинтовими зубами маємо точковий контакт (точка A , див. рис. 1.8) і очевидну лінійну характеристику при взаємодії I (колового циліндра) та D (площини). Але якраз у цьому випадку характеристика утворюється кінематично.

Твірна і напрямна можуть мати будь-які форми. І це до безмежності збільшує конструктивні відмінності інструментів, змінює навіть вид. Торцева фреза і стругальний різець мають точковий контакт із площиною та лінійну кінематичну характеристику E^1 (напряму) завдяки прямолінійній подачі. Проте лінійна твірна вимагає використання різця, а дугова твірна – торцевої фрези.

Під час точіння фасонним різцем (див. рис. 1.7) є можливість сформувати та досліджувати реальну вихідну інструментальну поверхню. Але і тут немає однозначного вирішення під час проектування цієї поверхні та інструмента в цілому. Якщо за напрямну взяти не коло, а пряму лінію, то

отримаємо призматичний різець. Якщо вісь круглого різця не буде паралельною до осі деталі, отримаємо відмінну від попередньої форму вихідної інструментальної поверхні.

Коловий циліндр можна формувати вершиною леза. Це може бути токарний або розточувальний різець, свердло. Під час свердління отвору вершина, обертаючись навколо осі, створює твірну, або кінематичну характеристику, яка з допомогою осьової подачі (руху по напрямній) кінематично утворює вихідну інструментальну поверхню. Рух цієї вихідної інструментальної поверхні вздовж осі інструмента створює поверхню деталі.

Евольвентна поверхня за точкового контакту утворюється при використанні методу обкочування. Вихідна інструментальна поверхня імітує зчеплення з поверхнею деталі. Це може бути колесо або рейка. Інструмент як парне колесо показово відтворюється в довбачі. На підставі зчеплення з рейкою сконструйовані зубонарізна гребінка, гребінчаста фреза, черв'ячна фреза.

Поверхня, що відтворює зчеплення з поверхнею зубчастої деталі, може бути утворена кінематично (нарізування конічних коліс із коловим зубом, конічних коліс із прямим зубом).

Лінійний контакт під час утворення евольвентної поверхні можливий при методі копіювання. Насамперед це прямозубі пальцеві та дискові фрези. Під час роботи таких інструментів формування западини зубчастого колеса відбувається за періодичного лінійного контакту.

Зубодовбальна головка контактує з поверхнею деталі за характеристикою E , форма якої повністю збігається з профілем колеса.

За звичайного і «вихрового» фрезерування різі відбувається лінійний періодичний контакт і кінематичне утворення вихідної інструментальної поверхні. Але різне положення осей обертання різальних кромek відбилося на відмінності конструкції цих інструментів.

Визначальним у конструкції інструмента є метод формоутворення, тобто якими геометричними елементами (точкою чи лінією) буде створюватися за відповідних відносних рухів поверхня деталі. Це означає, що для контактів із поверхнею деталі можуть використовуватися тіла різних форм та розмірів. Обмежують їх різноманітність параметри наявних рухів та практичний досвід.

Але і схема різання може мати значний вплив на конструкцію інструмента, якщо велику увагу приділяють взаємодії з припуском (наприклад, одинарна чи групова протяжка).

Залишаючи незмінними положення теорії формоутворення як взаємодії двох ланок деякого механізму, вихідною інструментальною поверхнею необхідно вважати поверхню, яка за відповідного відносного руху формує поверхню деталі. Це може бути й реальна поверхня, яка дійсно обмежує тіло інструмента, і поверхня, утворена відповідними рухами елементів тіла інструмента (точки чи лінії), що контактують із поверхнею деталі

Залежно від параметрів руху точки чи лінії утвориться деяка форма вихідної інструментальної поверхні. Тіло, до якого належить ця точка чи лінія, створене з урахуванням конструктивних особливостей обладнання та оброблюваної поверхні, буде різальним інструментом.

Тому, по-перше, існує певна множина поверхонь, кожна з яких може контактувати з поверхнею деталі під час формоутворення, тобто множина вихідних інструментальних поверхонь. По-друге, можна використати деяку множину реальних тіл (інструментів), які за відповідних рухів відтворюють ту чи іншу вихідну інструментальну поверхню. Це створює неоднозначність проектування різального інструмента, вихід з якої дає досвід, знання та творчий підхід.

Наявність множини вихідних інструментальних поверхонь (як матеріальних, так і створених кінематично) не дозволяє запропонувати формалізовану методику проектування

інструмента. Можна використати евристичний метод морфологічного аналізу – ґрунтується на підборі можливих рішень для окремих частин інструмента (так званих морфологічних ознак, що його характеризують) і подальшому систематизованому їх поєднанні (комбінуванні). Для проведення морфологічного аналізу необхідне точне формулювання проблеми для даної системи оброблення. У результаті знаходять відповідь на можливості обробки різанням за допомогою пошуку різних окремих варіантів, незалежно від того, що у початковому завданні йшлося лише про одну конкретну систему. Алгоритм проектування металорізального інструменту на підставі використання поняття вихідної інструментальної поверхні такий:

- для розв'язування проблеми визначають цілі проектування: підвищення продуктивності оброблення, покращення якості поверхні деталі, можливість використання наявного обладнання з його кінематикою, повна свобода вибору рухів;

- виділяють окремі характерні ознаки завдання проектування з позиції сформульованої множини цілей: умови контакту інструмента з деталлю (точковий чи лінійний), форми поверхонь, які можуть контактувати з поверхнею деталі, перелік та можливі комбінації простих рухів;

- на підставі аналізу аналогічних схем формоутворення будують відповідні блок-схеми роботи механізму, який складається з двох ланок – поверхні деталі і вихідної інструментальної поверхні, визначається статус вихідної інструментальної поверхні (реальна чи створена кінематично);

- для кожної ознаки проектування, виходячи з особистого досвіду та ерудиції, керуючись матеріалами довідників і банків даних пропонують варіанти рішень (як очевидні, так і, на перший погляд, нездійсненні);

- створюють комбінації з усіх характерних ознак завдання та їх варіантів, перевіряють їх відповідність цілям проектування, здійснюють вибір.

Розглянутий алгоритм сприяє виявленню конструкцій інструмента, які можуть за відповідного руху формувати задану поверхню деталі, тобто пов'язаний із методом формоутворення. Проте і умови взаємодії з припуском (схеми різання) також істотно впливають на остаточні конструкції (машинний і ручний мітчик, конічна розвертка, одинарна і групова протяжка).

Поняття вихідної інструментальної поверхні може використовуватись для аналізу та визначення можливих форм поверхонь, які здатні контактувати з поверхнею деталі, а на підставі цих форм – для проектування рухів і конструкцій інструменту. До того ж евристична складова процесу проектування інструмента залишається значною та остаточно якість різального інструменту залежить від інтуїції, досвіду й інтелекту.

Під час створення цього посібника використані праці відомих учених, таких як Г. І. Грановський, С. І. Лашнев, Д. К. Маргуліс, П. Р. Родін, Г. М. Сахаров, І. І. Семенченко, А. В. Щоголев, С. Н. Філоненко та ін., а також конструкції фірм, які виробляють металорізальні інструменти: Sandvik Coromant, Korloy, Kyocera, Mitsubishi, Sumito, SAU, Walter, Iscar.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грановский Г. И. Металлорежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация : справочное пособие / Г. И. Грановский. – Москва : Маш-гиз, 1954. – 315 с.
2. ДСТУ 2249-93. Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення.
3. Климов В. И. Справочник инструментальщика-конструктора / В. И. Климов и др. – Москва ; Свердловск : Машгиз, 1958. – 608 с.
4. Кожевников Д. В. Режущий инструмент / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В. Кирсанов и др. – Москва : Машиностроение, 2007. – 528 с.
5. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1973. – 831 с.
6. Кукляк М. Л. Металорізальні інструменти. Проектування / М. Л. Кукляк, І. С. Афтаназів, І. І. Юрчишин. – Львів : Львівська політехніка, 2003. – 556 с.
7. Лашнев С. И. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами : монография / С. И. Лашнев, А. Н. Борисов, С. Г. Емельянов. – Курск : Курский государственный технический университет, 1997. – 391 с.
8. Литвин Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф. Л. Литвин. – Москва : Наука, 1968. – 584 с.
9. Маргулис Д. К. Протяжки для обработки отверстий / Д. К. Маргулис, М. М. Тверской, В. Н. Ашихмин и др. – Москва : Машиностроение, 1986. – 232 с.
10. Металлорежущий инструмент со сменными пластинами. – Москва : МКТС, концерн Sandvic, 1997. – 180 с.
11. Мягков В. Д. Допуски и посадки : справочник / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. – Ленинград : Машиностроение, 1979. – Ч. 1–2. – 1032 с.
12. Нефедов Н. А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту / Н. А. Нефедов, К. А. Осипов. – Москва : Машиностроение, 1976. – 288 с.
13. Петрушин С. И. Геометрический анализ конструкций сборных режущих инструментов со сменными многогранными пластинами / С. И. Петрушин, Р. Х. Габайдулина, А. А. Баканов, А. В. Махов // Вестник машиностроения. – 2009. – № 6. – С. 64–70.
14. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты / П. Р. Родин. – Киев : Вища школа, 1974. – 400 с.
15. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П. Р. Родин. – Киев : Вища школа, 1977. – 192 с.

16. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов / под ред. Г. П. Кирсанова. – Москва : Машиностроение, 1986. – 288 с.
17. Самойлов В. С. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент : справочник / В. С. Самойлов, Э. Ф. Эйхманс, В. А. Фальков-ский и др. – Москва : Машиностроение, 1988. – 368 с.
18. Сахаров Г. Н. Металлорежущие инструменты / Г. Н. Сахаров, О. Б. Арбузов, Ю. Л. Боровой и др. – Москва : Машиностроение, 1989. – 385 с.
19. Семенченко И. И. Проектирование металлорежущих инструментов / И. И. Семенченко, В. М. Матюшин, Г. Н. Сахаров. – Москва : Машгиз, 1963. – 949 с.
20. Таратынов О. В. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ / О. В. Таратынов, Г. Г. Земсков, Ю. П. Тарамыкин и др. – Москва : Высшая школа, 1991. – 423 с.
21. Филоненко С. Н. Резание металлов / С. Н. Филоненко. – Киев : Техніка, 1975. – 232 с.
22. Швець С. В. Влияние метода заточки спиральных сверл на их эксплуатационные характеристики / С. В. Швець // Перспективні технології та прилади. – 2016. – № 9. – С. 148–153.
23. Швець С. В. Вихідна інструментальна поверхня та проектування різального інструменту / С. В. Швець // Journal of engineering sciences. – 2014. – Т. 1, № 1. – С. 12–19.
24. Швець С. В. Металорізальні інструменти / С. В. Швець. – Суми : СумДУ, 2007. – 185 с.
25. Швець С. В. Основи формоутворення поверхонь різанням / С. В. Швець. – Суми : СумДУ, 2011. – 127 с.
26. Щеголев А. В. Конструирование протяжек / А. В. Щеголев. – Ленинград : Машгиз, 1960. – 352 с.
27. Malyadri Akula. Design and analysis of broach tool for splines / Malyadri Akula, K. Chandra Sekhar, Akula Nagendra // International Journal of Advanced Engineering Technology. – 2013. – Vol. IV. – P. 06–08.
28. Vogtel P. Automatic Broaching Tool Design by Technological and Geometrical Optimization / P. Vogtel, F. Klocke, D. Lung, S. Terzi. – Procedia CIRP. – 2015. – № 33. – P. 496–501.
29. Vogtel P. Modelling of process forces in broaching Inconel 718 / P. Vogtel, F. Klocke, H. Puls et al. // Procedia CIRP. – 2013. – № 8. – P. 409–414.

Навчальне видання

Швець Станіслав Володимирович

МЕТАЛОРИЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки С. В. Швеця
Редактори: Н. З. Клочко, С. М. Симоненко
Комп'ютерне верстання С. В. Швеця

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 15,81. Обл.-вид. арк. 16,75. Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.