

МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ



Швець С.В.



19 621.9(075)
Ш 35
Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

С.В.ШВЕЦЬ

МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ

НТБ ВНТУ



432793

621.9(075) Ш 35 2007

Швець С.В. Металорізальні інструменти

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів*

З обмінного фонду бібліотеки
Сумського державного
університету

Суми
Вид-во СумДУ
2007

ББК 34.63

Ш 35

УДК 621.9.02(07)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (зрифт надано Міністерством освіти і науки України, лист №14/18-Г-852 від 02.10.06)

Рецензенти:

чл.-кор. НАН України, доктор технічних наук, професор П.Р.Родін
(Київський національний технічний університет «КПІ»);

доктор технічних наук, професор Л.М.Девін
(Інститут надтвердих матеріалів НАН України)

Швець С.В.

Ш 35 Металорізальні інструменти: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2007. – 185 с.

ISBN 978-966-657-108-6

Викладені основні положення проектування металорізальних інструментів. Надані рекомендації і теоретичні узагальнення щодо призначення геометрії лез та конструктивних параметрів різних інструментів. У сучасному суспільстві є розуміння того, що успіхи пов'язані з комплексним підходом до вирішення проблем. Тому існує нерозривна єдність технологічного процесу, конструювання та виготовлення різальних інструментів. Ці три складові завжди необхідно враховувати для отримання якісної, економічно вигідної продукції. Розглянуті у посібнику підходи базовими для автоматизації інструментальної підготовки виробництва.

Посібник містить вимоги до текстової та графічної документації курсового проекту, розрахований, у першу чергу, на студентів та може бути корисним і інженерам-механікам.

432793

ISBN 978-966-657-108-6

ББК 34.63

© С.В.Швець, 2007

© Вид-во СумДУ, 2007

НТБ ВНТУ
м.Вінниця

ЗМІСТ

Предмова.....	С. 6
ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	8
1.1 Робоча частина інструменту.....	8
1.2 Приєднувальна частина.....	12
1.3 Забезпечення якості інструменту.....	15
РІЗЦІ ДЛЯ ЗОВНІШНЬОГО ТОЧІННЯ.....	18
2.1 Проектування форми робочої частини.....	18
2.2 Схеми силового замкнення і механізми, що їх створюють.....	18
2.3 Приєднувальна частина.....	21
2.4 Креслення.....	23
РАДІАЛЬНІ ФАСОННІ РІЗЦІ.....	25
3.1 Задачі проектування.....	25
3.2 Вихідні дані для проектування.....	26
3.3 Вибір геометрії.....	26
3.4 Визначення зовнішнього діаметра круглого різця.....	27
3.5 Графічна побудова профілю.....	28
3.6 Аналітичний розрахунок профілю.....	34
3.7 Конструкторське доопрацювання інструменту.....	36
3.8 Креслення.....	40
3.9 Послідовність проектування.....	41
ЗЕНКЕРИ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ДІАМЕТРІВ ОТВОРІВ.....	42
4.1 Призначення і типи.....	42
4.2 Конструктивні елементи зенкера.....	43
4.3 Допуск на діаметр зенкера.....	50
4.4 Приєднувальна частина.....	51
4.5 Послідовність проектування.....	52
4.6 Робоче креслення.....	53
РАШИННІ ЦИЛІНДРИЧНІ РОЗВЕРТКИ.....	54
5.1 Призначення і типи розверток.....	54
5.2 Конструктивні параметри циліндричних розверток.....	55
5.3 Допуск на діаметр розвертки.....	64
5.4 Послідовність проектування.....	65
5.5 Робоче креслення.....	65

6	ПРОТЯЖКИ.....	67
6.1	Особливості конструкції та використання.....	67
6.2	Складові частини протяжок і прошивок.....	69
6.3	Сили різання при протягуванні і розрахунок протяжок на міцність.....	72
6.4	Схеми зрізування шарів металу.....	75
6.5	Методи утворення поверхонь протягуванням.....	81
6.6	Чорнові зуби.....	83
6.7	Різноманітність конструктивних рішень.....	92
6.8	Чистові і калібрувальні зуби.....	94
6.9	Приєднувальна частина та довжина протяжки.....	95
6.10	Послідовність проектування протяжки.....	97
6.11	Робоче креслення.....	100
7	ЦИЛІНДРИЧНІ ФРЕЗИ.....	102
7.1	Конструктивні елементи.....	102
7.2	Геометрія зубів.....	108
7.3	Послідовність розрахунків.....	109
7.4	Робоче креслення.....	110
8	ЧЕРВ'ЯЧНІ ФРЕЗИ.....	111
8.1	Зуборізальні фрези.....	111
8.2	Фрези для шпінцових валів.....	115
8.3	Послідовність розрахунків.....	127
8.4	Робоче креслення.....	131
9	ДОВБАЧІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРЯМОЗУБИХ НЕКОРЕГОВАНИХ КОЛІС.....	133
9.1	Особливості конструкції довбача.....	133
9.2	Геометрія зубів довбача.....	135
9.3	Визначення розмірів зуба колеса.....	138
9.4	Визначення величини вихідної відстані довбача a та параметрів довбача у вихідному перетині.....	139
9.5	Визначення габаритних розмірів довбача.....	141
9.6	Розміри довбача на передній поверхні.....	143
9.7	Перевірка загострення вершини зубів довбача....	144
9.8	Перевірка на інтерференцію профілів зубів (нарізаного спроєктованим довбачем і парного йому коліс).....	144
9.9	Перевірка на відсутність підрізування ніжки та зрізування головки зубів колеса довбачем.....	147

9.10	Робоче креслення.....	152
МАШИННІ ТА ГАЙКОРІЗНІ МІТЧИКИ.....		154
10.1	Конструктивні елементи мітчиків.....	154
10.2	Розміри різі мітчиків.....	171
10.3	Допуски на параметри різі мітчиків.....	173
10.4	Робоче креслення мітчика.....	182
Список літератури.....		184

ПЕРЕДМОВА

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

Завданнями цього навчального посібника є освоєння і поглиблення знань, отриманих студентами з курсу «Різальний інструмент та інструментальне забезпечення гнучких автоматизованих виробництв», набуття практичних навчочних розрахунків і конструювання інструментів. При створенні інструментального забезпечення особливу увагу необхідно звертати на конструювання інструментів, оснащених багатогранними пластинками, а також на конструкції, які забезпечують підвищення рівня автоматизації обробки деталей на верстатах.

Для вирішення цих завдань слід використовувати знання з вищої математики, теоретичної і прикладної механіки, опору матеріалів, різання металів, матеріалознавства й інше. Застосування елементів системи автоматизованого проектування у курсових роботах потребує, щоб рекомендації та табличні моделі були переведені у математичні залежності.

Ефективним засобом розв'язання інструментальних задач є використання теорії формоутворення поверхонь, побудова оптимізаційних математичних моделей інструменту, ефективність яких зростає із застосуванням ЕОМ.

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

Оскільки для кожного конкретного випадку можливі різні рішення поставлених завдань, то проект повинен мати оцінку запропонованого варіанта, яка базується на різноманітних

критеріях: металоемність і продуктивність інструменту, кількість можливих переточувань, характеристики міцності, об'ємність.

На всіх етапах проектування необхідно враховувати умови створення оптимальної конструкції, призначення оптимальних параметрів, проводити розроблення варіантів і аналіз їх для вибору найкращого. Під час виконання завдань студент, використовуючи алгоритми проектування інструментів, розробляє програми розрахунків на ЕОМ. Вони розробляються з врахуванням наявного програмного та матеріального забезпечення.

Матеріал проекту включає текстову і графічну частини.

Текстова частина проекту - це пояснювальна записка, яка складається із змісту та викладення передбачених завданням розділів, у кожному із яких повинно бути завдання на проектування, розрахунки, схеми та рисунки, програми для ЕОМ (ті, що написані самостійно), вибір оптимальних варіантів, опис конструкції. Записка повинна закінчуватися списком використаної літератури.

Розмірність усіх величин повинна бути у системі СІ або у системах, які застосовуються поряд із системою СІ.

Вимоги до графічної частини такі. Формати, масштаби зображень і загальні вимоги до графічного матеріалу повинні відповідати стандартам Єдиної системи конструкторської і технологічної документації (ЄСКД і ЄСТД). Робоче креслення інструменту повинно мати мінімальну кількість проекцій, розмірів і перетинів. На кресленні повинні бути показані лінії на розміри та на форму і положення поверхонь, позначення шорсткості, місць зварювання і паяння, записані технічні вимоги до інструменту. Креслення потрібно виконувати у масштабі 1:1, а дрібні елементи показувати у збільшеному вигляді.

1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Робоча частина інструменту

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

Процес проектування інструменту необхідно розуміти так. По-перше, це створення зовсім нової конструкції, яка здатна 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 і у іншому випадках необхідно визначити, яким чином інструмент закріплюється на верстаті або у допоміжному інструменті, як він буде забезпечувати якість деталі та наскільки він сприятливий до експлуатації. Тобто необхідно знати складові різального інструменту та їх призначення.

Будь-який різальний інструмент складається із робочої та приєднувальної частин [1, 12-14] (рис. 1.1).

Робоча частина металорізального інструменту складається із одного або декількох різальних зубів. Зуб інструменту (лезо) – це клиноподібне тіло, обмежене передньою і задньою поверхнями. Поверхня, по якій сходиться стружка – передня поверхня, а поверхня, звернена до обробленої частини заготовки, – задня. Лінія перетину

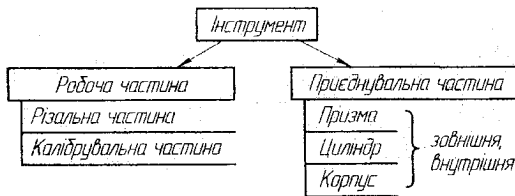


Рисунок 1.1 – Складові частини інструменту

передньої і задньої поверхонь - різальна кромка.

Форма і розміри зубів повинні забезпечувати виготовлення заданої поверхні деталі, працездатність і високу продуктивність інструменту. Положення поверхонь, які обмежують геометричне коло зуба, визначається деякими кутами, які називаються геометриєю інструменту (γ , α , β , ϕ , λ). Для визначення цих кутів (геометрії) використовуються спеціальні системи координат: інструментальна, статична і кінематична. Ці системи створюються перетином трьох взаємно перпендикулярних площин: основної - P_v , різання - P_n і головної січної - P_T (рис.1.2).

У свою чергу, робоча частина має різальну і 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 переточується. Тому при проектуванні робочої частини форму передньої і задньої поверхонь і спосіб переточування необхідно вибрати такими, щоб забезпечити обробку як новим, так і переточеним інструментом одних і тих самих деталей. Крім того, операція переточування повинна бути нескладною. Вирішення усіх цих проблем також покладається на калібрувальну частину -

на є резервом для переточувань. У деяких випадках вона управляє інструмент під час його роботи. Інколи створює рух віддачі.

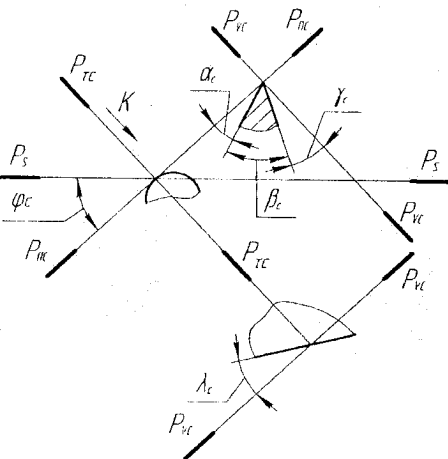


Рисунок 1.2 – Статична система координат

Калібрувальна частина не є необхідною частиною усіх інструментів. У циліндричних фрез, фасонних різців різальна і калібрувальна частини - одне ціле. У свердел, зенкерів, мітчиків, плашок калібрувальна частина чітко вирізняється.

При конструюванні різальних інструментів необхідно забезпечити безперешкодне відведення стружки із зони різання. У результаті нагромадження і затискання стружки збільшуються зусилля різання, погіршується шорсткість обробленої поверхні, ламається інструмент. Особливо це необхідно враховувати при конструюванні інструментів, де стружка відводиться по відповідних каналах або розміщується у них і видаляється після закінчення різання. Об'єм канавок для стружки повинен у 3-6 разів перевищувати об'єм стружки, яка там розміщується. В окремих випадках конструкція інструменту може передбачати примусове відведення стружки за допомогою струменя охолоджуючої рідини (при свердлінні глибоких отворів). Необхідно, щоб інструмент мав доцільні розміри, геометрію, сприятливі умови розміщення і відведення стружки, високу міцність і жорсткість, раціональний розподіл роботи різання між окремими різальними зубами і т. ін.

Робоча частина інструментів виготовляється із спеціальних інструментальних матеріалів, які за своїми механічними і 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 у промисловості поширені різні складені інструменти. У таких інструментів леза виготовлені із інструментального матеріалу, а корпус - із конструкційної сталі (сталь 45, 40X).

Складені інструменти можуть бути з нерознімним з'єднанням різальних елементів з корпусом, створеним зварюванням, припаюванням або наплавленням. Такі способи кріплення застосовують для малогабаритних інструментів. Недоліки - поява додаткових напружень, які можуть викликати

утворення тріщин у пластинах твердого сплаву, складність напаявання і відновлення після ламання одного із зубів.

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

Останнім часом використовуються спеціальні механізми та створені для них різноманітні пластини із інструментального матеріалу. Такі пластини мають спеціальне позначення. Воно записується у рядок і має 8 позицій. Наприклад: **SCMA 090304***.

Перша літера [11] - це форма пластини. (S - квадрат, T - трикутник). Друга - позначає задній кут у інструментальній системі координат (C - $\alpha=7^\circ$, N - $\alpha=0^\circ$). Третя вказує на 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

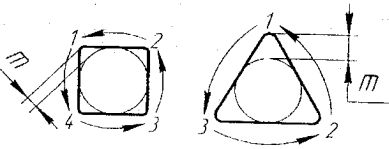


Рисунок 1.3 – Відстань вершини від бази

вживання при експлуатації, оскільки важливо тільки те, які координати будуть мати вершини (2, 3 і т.д.), коли вони оппадають 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 позначаються двома літерами, які округлено відбивають дійсний розмір відповідного параметра. Восьма містить додаткові дані. Це може бути напрям можливої подачі, відомості про захисне покриття, інші позначки робника. Багатогранні непереточувані пластини (БНП) використовуються для оснащення різноманітного інструменту.

1.2 Приєднувальна частина

Приєднувальна частина є необхідною складовою будь-якого інструменту. Вона необхідна для закріплення інструменту на верстаті або у 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). Приєднувальні поверхні, що контактують з допоміжним інструментом, можуть мати і іншу, спеціальну форму: хвіст ластівки, циліндр з лискою та ін.

Ці поверхні можуть бути зовнішніми і внутрішніми. Якщо приєднувальна поверхня зовнішня, то інструмент з 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 у більшості випадків є базою не тільки на металорізальному верстаті, але також при виготовленні, контролі і переточуванні інструменту. Вона повинна бути простою у виготовленні, забезпечувати надійне, жорстке і точне кріплення інструменту, зручність і швидкість його встановлення і знімання.

При використанні циліндричної приєднувальної частини центрування інструменту відбувається по циліндричній поверхні з точністю, яку допускає з'єднання із зазором. Крутий момент здебільшого передається з 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;

$[\sigma]$ – допустиме напруження.

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

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

де M_z, M_y – вигинаючі моменти відносно головних центральних осей нормального перетину приєднувальної поверхні;

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

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

Таблиця 1.1 – Ряди діаметрів приєднувальної поверхні

Ряд1	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16			
Ряд2						7	9	11	14				
Ряд1		20		25		32		40		60			
Ряд2	18		22		28		36		45		55		70

При використанні конічної приєднувальної поверхні (рис.1.4) створюється з'єднання без зазору, а тому точність центрування залежить тільки від точності виготовлення конічних поверхонь.

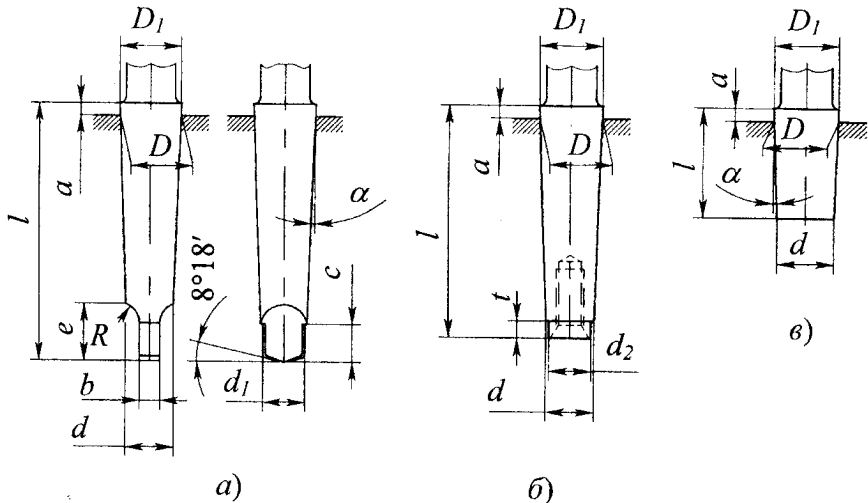


Рисунок 1.4 – Хвостовики з конусом Морзе

У виробництві 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 з конусом Морзе наведені у 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 при різанні;

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

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

З цієї формули, при відомому силовому навантаженні, можна визначити суму $D+d$, а за її значенням із відповідної таблиці вибрати номер конуса.

Але у більшості випадків розрахунки за формулами (1.1) та (1.2) не виконують. Розміри приєднувальних поверхонь призначають відповідно до розмірів поверхонь верстата чи допоміжного інструменту або порівнюючи їх з перевіреними у практиці конструкціями. Для полегшення використання аналогії креслення інструменту необхідно виконувати у масштабі 1:1.

Таблиця 1.2 – Зовнішній конус Морзе з ланкою (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_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	6,115	8,972	14,059	19,131	25,154	36,547	52,419
d_1	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

Таблиця 1.3 – Зовнішній конус Морзе без латки (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. Разом з цим неякісний інструмент викликає підвищення простоїв верстата, брак деталей і зменшення ресурсу працездатності готових виробів. Ці економічні втрати у багато разів перевищують прямі витрати на інструмент. Тому у країнах з розвиненим машинобудуванням найбільш розвиненою є інструментальна промисловість.

При проектуванні інструменту важливо правильно призначити допуски на його геометрію. Якщо точність виготовлення геометричних параметрів істотно не впливає на точність обробки, то відхилення кутів робочої частини інструменту призначають $\pm 1^\circ - 2^\circ$. Для малих кутів (до 3°)

відхилення дорівнює $\pm 30'$. Якщо точність виготовлення інструменту впливає на точність деталі і на тривалість експлуатації інструменту, то допуск ще менший. Наприклад, відхилення на кути α і γ зуборізальних гребінок складає $\pm 10'$. Допуски на розміри калібрувальної частини Td_i залежать від допусків на розміри оброблюваної поверхні деталі Td . Вони визначаються як

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

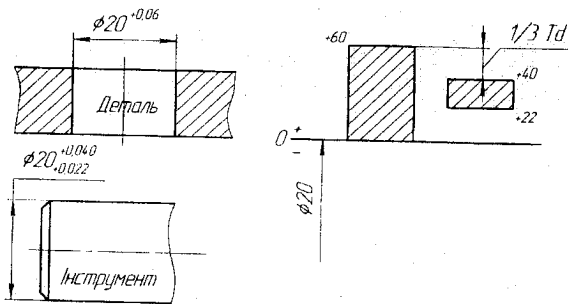


Рисунок 1.5 – Зв'язок допуску на інструмент з допуском на розмір деталі

Наприклад, необхідно визначити допуск на інструмент, який обробляє отвір $\varnothing 20^{+0,06}$ (рис.1.5)

Відповідно до виразу (1.3) допуск на інструмент може бути у межах 20 - 15 мкм.

Призначимо $Td = 18$ мкм. Збільшення отвору за рахунок

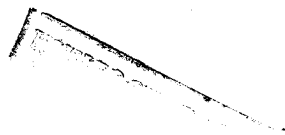
неточного центрування інструменту та впливу пластичної деформації враховується зменшенням найбільшого розміру інструменту на величину $\delta = 0,33Td$. Отже, верхнє відхилення розміру інструменту $es_i = 40$ мкм, а нижнє $ei_i = 22$ мкм. Але є випадки, коли $\delta = 0$. Наприклад, найбільший розмір калібрувальних зубів протяжки дорівнює найбільшому розміру деталі. При визначенні значення δ необхідно проаналізувати умови процесу різання.

На роботу інструменту впливають не тільки величини геометричних параметрів і форма поверхонь зубів робочої частини, але і якість цих поверхонь. Чим нижча шорсткість робочої поверхні зуба інструменту, тим вище його стійкість і якість обробленої інструментом поверхні. Для твёрдосплавних 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.

432 793

НТБ ВНТУ
м.Вінниця



2 РІЗЦІ ДЛЯ ЗОВНІШНЬОГО ТОЧІННЯ

2.1 Проектування форми робочої частини

Одним із найпростіших і найпоширеніших металорізальних інструментів є різець. Різці застосовуються 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. Робоча частина різця проектується залежно від форми поверхні деталі, від токарної операції та від напрямку подачі [14]. Ті форми робочої частини, які рекомендовані до використання стандартами, мають спеціальне позначення (табл. 2.1). Основна відмінність між ними - це значення кутів у плані.



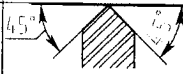

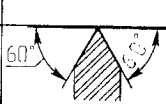


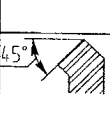

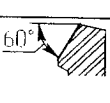

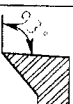
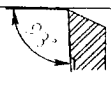


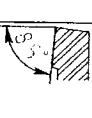
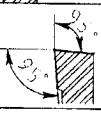

Напрямок можливої подачі також впливає на форму робочої частини через те, що залежно від нього головна різальна кромка може бути праворуч або ліворуч. А можливо повинно бути і дві кромки, які були б придатні за потреби виконувати роль головної. Здатність різця різати при правій подачі позначається літерою **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 із 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 стружколами 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.

Таблиця 2.1 – Позначення форм робочої частини складених різців

Позначення	Форма	Позначення	Форма
B		N	
D		Q	
E		R	
F		S	
G		T	
H		U	
J		V	
K		Y(X)	
L		Y(Z)	

При закріпленні пластинки, залежно від її конструкції та мов використання інструменту, сили, що притискають її до розових поверхонь, можуть спрямовуватись по-різному. Як

впливає із поняття точності багатограничних непереточуваних пластин, базовими поверхнями у них є тільки зовнішні поверхні. Різноманітні отвори взагалі не пов'язані з їх точністю. Тому усі механізми для закріплення пластин повинні враховувати цю обставину – базами можуть бути тільки зовнішні поверхні пластин. Схеми, що відображають напрям дії сил кріплення, є схемами силового замикання (рис.2.1). Кожна із таких схем позначається відповідною літерою.

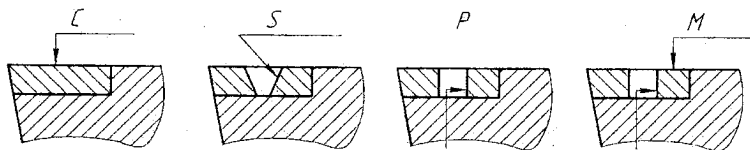


Рисунок 2.1 – Схеми силового замикання

На практиці такі схеми реалізуються з допомогою спеціальних механізмів. Щоб створити силу за схемою С використовують прихоплювач (рис. 2.2). Силове замикання за

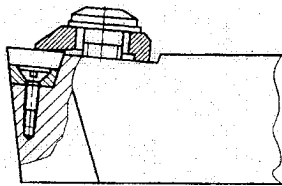


Рисунок 2.2 – Механізм для схеми силового замикання С

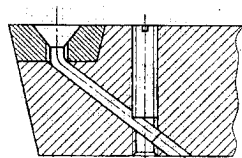


Рисунок 2.3 – Механізм для схеми силового замикання S

схемою S створює механізм, де основною ланкою є зігнута тяга з голівкою (рис. 2.3). Проте одна і та сама схема може

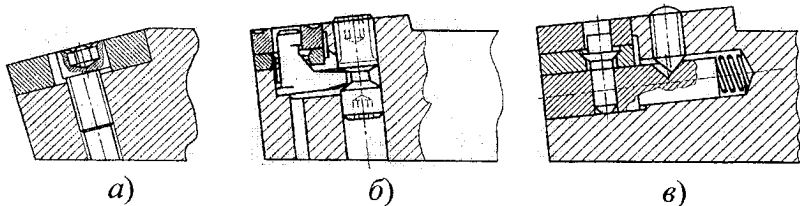


Рисунок 2.4 – Механізми для схеми силового замикання P

створюватися з допомогою різних механізмів. Схеми P

відповідає ексцентрик (рис. 2.4 а), зігнутий важіль або «чобіток» (рис. 2.4 б) і тяга із штифтом (рис. 2.4 в).

Дві сили одночасно створюються при загвинчуванні гвинта у механізмів, які показані на рис. 2.5, що відповідає схемі М.

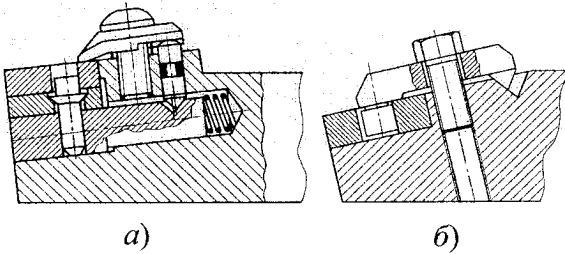


Рисунок 2.5 – Механізми для схеми силового замикання М

Значення задніх кутів окремих пластин в інструментальній системі координат мають декілька дискретних значень, які позначаються літерами (табл. 2.2). Проте статичні кути різця можуть бути зовсім іншими - такими, які створюють оптимальні умови його експлуатації. Це досягається завдяки відповідному поверненню у просторі тих базових поверхонь на корпусі різця, з якими контактує при закріпленні пластина. Сукупність цих базових поверхонь називають «гніздом».

Таблиця 2.2 – Позначення задніх кутів пластин

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

2.3 Приєднувальна частина

Приєднувальна частина такого різця - призма. Висота і ширина перетину визначаються так [13]. Згинаючий момент можна записати як

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

Для призматичної державки момент опору перетину дорівнює

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

тоді

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

Якщо у перетині квадрат, то $h = b$. Коли використовується 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 ближче більше число із 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.2.6), щоб вершина різця завжди визначалася координатами, які порівнюють висоті державки та довжині усього різця.

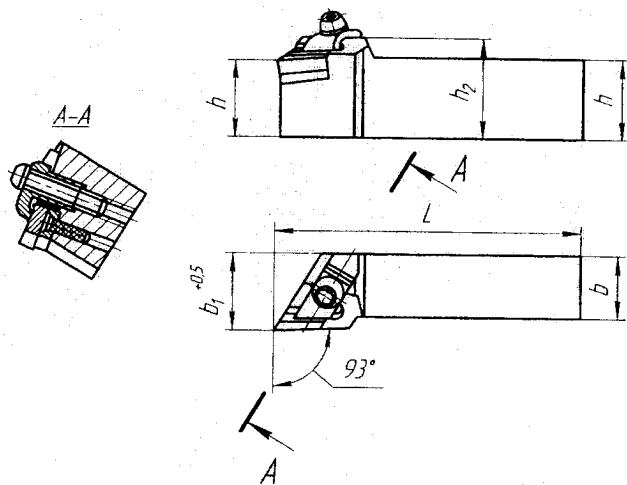


Рисунок 2.6 – Різець із механічним кріпленням пластини

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

Таблиця 2.3 – 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

Продовження таблиці 2.3

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

2.4 Креслення

Основним кресленням при проектуванні різця є робоче креслення корпусу (рис. 2.7). Параметри a_b , b_b , d_b , l_b , h_i на цьому кресленні визначаються конструктором відповідно до розмірів різальної пластини.

Деталі механізмів кріплення або стандартні, або не відрізняються великою складністю (див.рис.2.2-2.5).

На кресленні складання (див. рис. 2.6) повинні бути усі необхідні перетини, які пояснюють умови базування пластини та роботу механізму. Особливу увагу слід звернути на маркування різця. Різці з механічно закріпленою пластиною позначаються записом у рядок із 10 позицій [5].

Наприклад **MTGNR 2525M22***. Тут **M** – схема силового замкнення; **T** – форма пластини; **G** – форма робочої частини різця; **N** – задній кут пластини в інструментальній системі координат; **R** – напрям подачі; **25** і **25** – відповідно висота і ширина перетину приєднувальної частини; **M** – довжина різця; **22** – довжина різальної кромки пластини; * - особливі відмітки виробника. ГОСТом допускається замість літер при маркуванні використовувати цифри. Проте літерно-цифрове маркування більш сприйнятливе і рекомендоване міжнародним стандартом ISO.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментального матеріалу;
- умовне позначення пластини;

- приєднувальну частину із сталі 40Х;
- твердість приєднувальної частини, HRC 40-47;
- антикорозійне покриття приєднувальної частини;
- маркування.

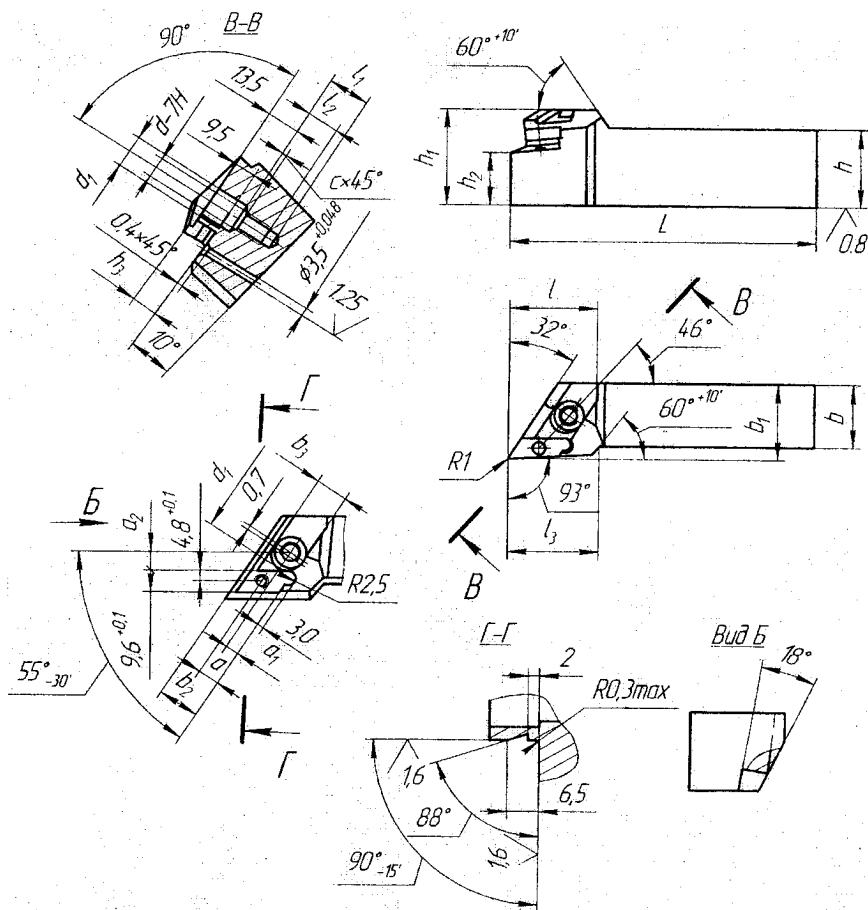


Рисунок 2.7 – Робоче креслення корпусу різця

3 РАДІАЛЬНІ ФАСОННІ РІЗЦІ

3.1 Задачі проектування

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

Кути призначають для зовнішньої точки різця у перетині, перпендикулярному до осі деталі. В інших точках передній кут γ буде мати інші значення. З наближенням точок до центру або бази кріплення різця передній кут зменшується, а задній збільшується. Через наявність заднього α і переднього γ кутів профіль круглого різця у діаметральному перетині і профіль призматичного різця у перетині, перпендикулярному до бази кріплення, не збігаються із заданим профілем деталі в її діаметральному перетині.

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 усіх фасонних різців. Ця процедура називається коригувальним розрахунком. Осьові розміри залишаються незмінними за винятком для різців з похилим розміщенням осі отвору або бази кріплення, а також для різців з профілем, розміщеним по гвинтовій лінії. Проте останнім часом створені аналітичні методи, які дозволяють визначити координати усіх точок профілю будь-якого різця одразу без урахування того, наскільки він відрізняється від профілю деталі. Це і є профілюванням. Точність профілювання залежить від точності тих поверхонь, які обробляються. Якщо допуски

призначаються у мікрометрах, то і остаточні результати повинні округлятися до 0,001 мм.

3.2 Вихідні дані для проектування

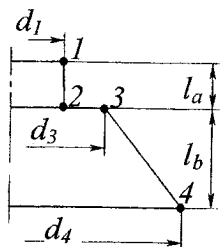


Рисунок 3.1— Креслення деталі

По перше, це креслення деталі (рис. 3.1) із зазначенням розмірів і допусків на них, а ще матеріал заготовки.

Значення діаметрів усіх вузлових точок та відхилень їх від номіналу необхідно записати у таблицю (табл. 3.1). Крім того, необхідно призначити базою один із торців деталі і визначити відстань від нього до усіх вузлових точок профілю L_i .

Таблиця 3.1 -- Діаметри деталі з допустимими відхиленнями

Параметр	Номери вузлових точок на поверхні деталі						
	1	2	3	4	5	6	...
d_i							
Поле допуску							
es							
ei							
L_i							

3.3 Вибір геометрії

Задній кут α для круглих різців призначається у межах 10-15°. У призматичних він може бути дещо більший – 12-18°. Значення заднього кута призначається 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 у зазначених вище межах.

Передній кут вибирається залежно від матеріалу, що обробляється.

При обробці алюмінію і міді рекомендується брати γ таким, що дорівнює $25-30^\circ$, сталі – $5-20^\circ$, чавуну – $0-10^\circ$, бронзи і латуні – $0-5^\circ$.

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

3.4 Визначення зовнішнього діаметра круглого різця

Зовнішній діаметр круглого різця визначають з урахуванням глибини профілю деталі $t = (d_{\max} - d_{\min}) / 2$ за таблицею 3.2.

Таблиця 3.2 – 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

Примітка. D – зовнішній діаметр різця; d – діаметр приєднувального отвору; d_2 – більший діаметр рифлення; l_2 – висота рифлення.

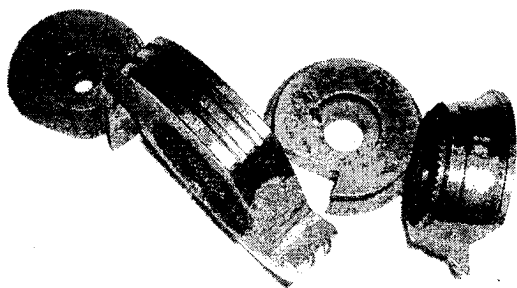


Рисунок 3.2 – Круглі фасонні різці

Зовнішній діаметр круглого різця D і діаметр приєднувального отвору d (рис.3.2) можна також визначити за формулами (з округленням до цілого числа):

$$D = \sqrt{695t - 1183 \ln t},$$

$$d = \sqrt{34,5t}.$$

3.5 Графічна побудова профілю

Графічна побудова профілю виконується у такій послідовності:

1 Побудувати вигляд спереду і вигляд зверху оброблюваної деталі.

2 На вигляді деталі спереду зобразити 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 продовжують конічну поверхню до положення торців деталі і проектують на неї усі вузлові точки. Після цього усі ці проекції переносять на горизонтальний діаметр вигляду спереду. З отриманих точок під кутом γ до горизонталі проводять промені до перетину з колами, на яких розміщуються однойменні точки. З'єднавши усі точки перетинів, отримаємо проекцію різальної кромки.

3 На вигляді спереду будуюмо проекцію задньої поверхні різця.

Якщо різець призматичний, то з вузлових точок проекції різальної кромки проводять лінії під кутом α до вертикалі. Коли різець круглий, то з характерної точки під кутом α до горизонталі проводять промінь, на якому відкладається відрізок, що дорівнює зовнішньому радіусу різця. Зовнішній радіус знаходять за таблицею відповідно до глибини профілю деталі. Кінець відрізка визначає центр фасонного різця. Далі із 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) у горизонтальне положення.

5 На перетинах ліній, проведених горизонтально через вузлові точки профілю деталі і вертикально через точки на нормальному перетині, визначаємо вузлові точки профілю різця і будуюмо його у натуральну величину.

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.3.3). 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.

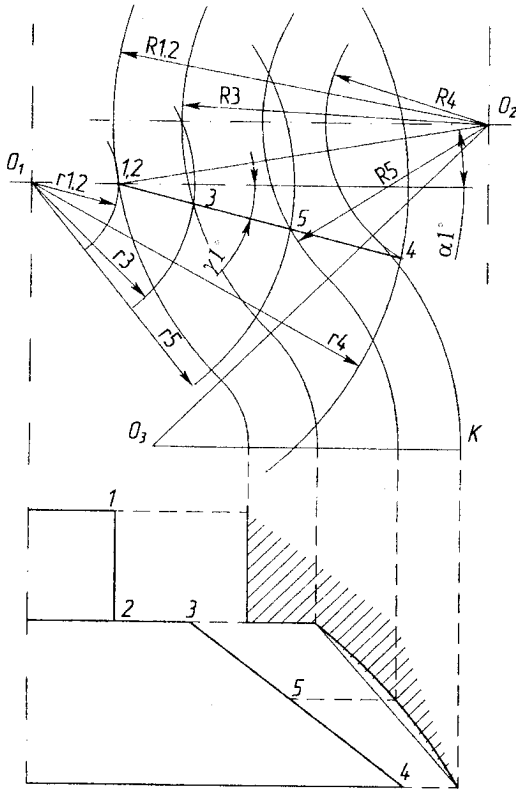


Рисунок 3.3 – Графічне профілювання круглого фасонного різця з $\lambda=0$

проходить через точку O_2).

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

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

Далі на вигляді спереду будемо проекцію задньої поверхні різця. Для цього із характерної точки 1 під кутом α до горизонталі проводять промінь, на якому відкладається відрізок, що дорівнює зовнішньому радіусу різця. Зовнішній радіус знаходять за таблицею 3.2 ($D/2$) 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

перетині, визначаємо вузлові точки профілю різця і будуємо його у натуральну величину.

Криволінійний проміжок профілю різця буде обробляти відрізок 3-4 профілю деталі. Щоб його побудувати, необхідно на відповідній поверхні деталі вибрати декілька допоміжних точок і виконати вказівки пунктів 1-5. На рис. 3.3 показана одна допоміжна точка 5.

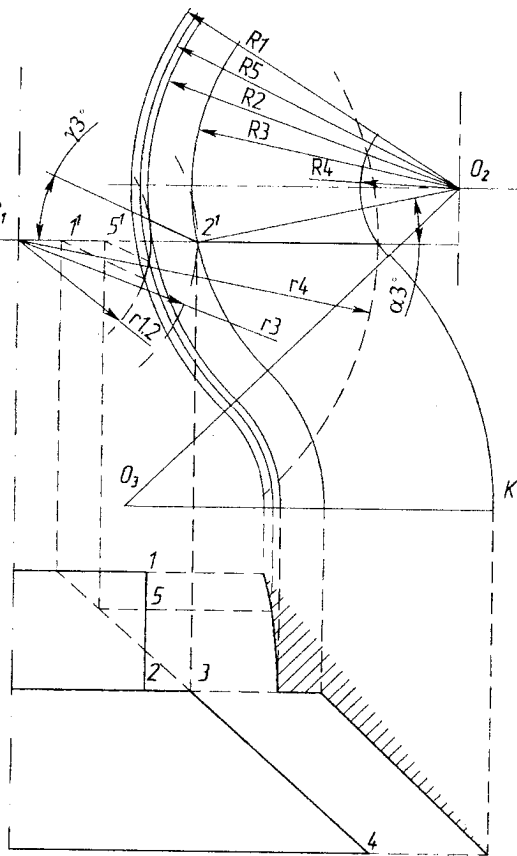


Рисунок 3.4 – Графічне профілювання круглого фасонного різця з $\lambda \neq 0$

альної кромки.

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

Побудувати вигляд спереду і вигляд зверху оброблюваної деталі (рис.3.4).

Щоб на вигляді деталі спереду зобразити проекцію різальної кромки різця, на вигляді зверху продовжують кінчну поверхню до положення торців деталі і проектують на неї усі вузлові точки. Після цього усі ці проекції переносять на горизонтальний діаметр вигляду спереду, $1'$, $2'$ і т.д. З отриманих точок під кутом γ до горизонталі проводять промені до перетину з колами, на яких розміщуються однійменні точки. З'єднавши усі точки перетинів, отримаємо проекцію рі-

Потім на вигляді спереду будуюмо проекцію задньої поверхні різця. Для цього із характерної точки $3^1=2$ під кутом α до горизонталі проводять промінь, на якому відкладається відрізок, що дорівнює зовнішньому радіусу різця. Зовнішній радіус знаходять за таблицею 3.2 відповідно до глибини профілю деталі. Кінець відрізка O_2 визначає центр фасонного різця. Далі із 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) у горизонтальне положення O_3K .

На перетинах ліній, проведених горизонтально через вузлові точки профілю деталі і вертикально через точки на нормальному перетині, визначаємо вузлові точки профілю різця і будуюмо його у натуральну величину.

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 рис.3.4 - це точка 5.

Профільовання призматичного фасонного різця з $\lambda=0$

Побудувати вигляд спереду і вигляд зверху оброблюваної деталі (рис.3.5).

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

На вигляді спереду будуюмо 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_3K , і повертають його навколо точки O_3 (разом із вузловими точками профілю різця) у горизонтальне положення.

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

перетині, визначаємо вузлові точки профілю різця і будуємо його у натуральну величину.

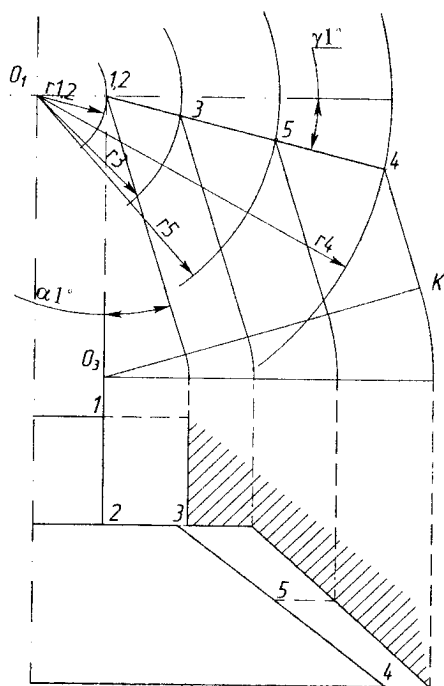


Рисунок 3.5 – Графічне профілювання призматичного фасонного різця з $\lambda=0$

деталі і проектують на неї усі вузлові точки. Потім усі проекції переносять на горизонтальний діаметр вигляду спереду ($1^l, 2^l, 3^l, 4^l$). На рис.6 показана точка 2^l . З отриманих точок під кутом γ до горизонталі проводять промені до перетину з колами, на яких розміщуються однойменні точки поверхні деталі. З'єднавши усі точки перетинів, отримаємо проекцію різальної кромки.

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

Щоб побудувати криволінійний проміжок профілю різця, необхідно на відповідній перетинній верхній деталі вибрати декілька точок і виконати вказівки пунктів 1-5. На рис.3.5 для даного прикладу показана точка 5 на конічній поверхні деталі.

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

Побудувати вигляд спереду і вигляд зверху деталі (рис.3.6).

На вигляді спереду зобразити проекцію різальної кромки різця, для чого продовжують конічну поверхню до положення торця

Далі проводять слід площини, нормальної до задньої поверхні проектованого різця O_3K , і повертають його навколо точки O_3 (разом із вузловими точками профілю різця) у горизонтальне положення.

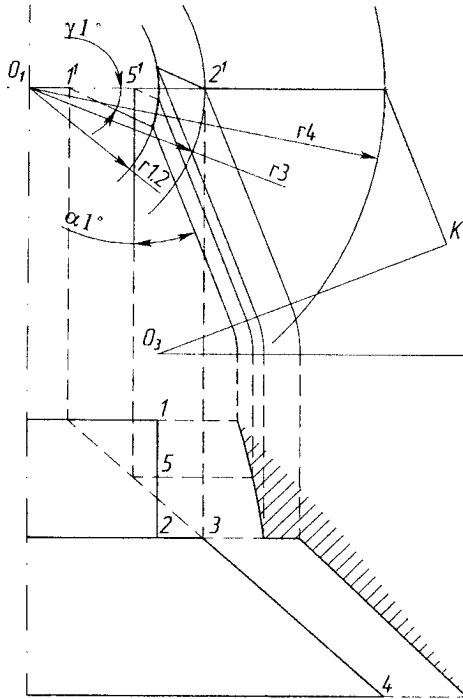


Рисунок 3.6 – Графічне профілювання призматичного фасонного різця з $\lambda \neq 0$

На перетинах ліній, проведених горизонтально через вузлові точки профілю деталі і вертикально через точки на нормальному перетині, визначаємо вузлові точки профілю різця і будуємо його у натуральну величину.

Циліндричну поверхню деталі між точками 1-2 повинен обробляти криволінійний проміжок профілю різця. Щоб його побудувати, необхідно на відповідній поверхні деталі вибрати декілька допоміжних точок (на рис.3.6 показана одна точка 5) і виконати вказівки пунктів 1-5.

Графічно побудувати профіль фасонного різця можна і на підставі теорії вихідної інструментальної поверхні, яку добре описав проф. П.Р.Родін [9]. Завдання полегшують сучасні графічні платформи. Спочатку створюється 3-вимірна модель деталі (рис. 3.7 а). Потім, перетинаючи її через характерну точку площиною під кутом γ до горизонталі (рис 3.7 б), отримують лінію перетину. Це і є різальна кромка, а, крім того, при лінійному контакті поверхні деталі і вихідної інструментальної поверхні це і є характеристика. Обертаючи характеристику навколо осі різця

(рис. 3.7 в), створюємо задню поверхню різця. Після перетину її нормальною площиною отримуємо профіль різця (рис. 3.7 з).

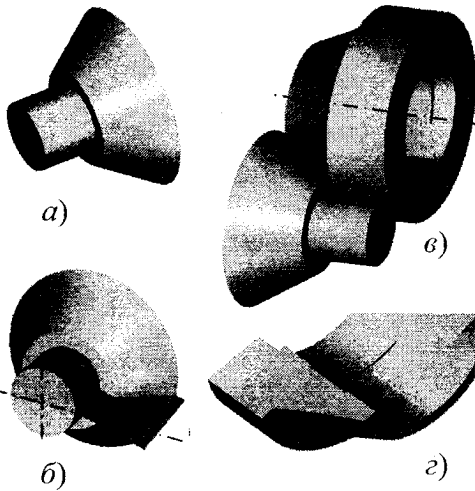


Рисунок 3.7 – Профілювання фасонного різця з використанням характеристики

3.6 Аналітичний розрахунок профілю

Різці можуть бути круглі і призматичні. І ті, і інші з $\lambda=0$ і з $\lambda \neq 0$. Методика, що викладається, дозволяє використати один і той самий алгоритм для розрахунку всіх цих різців. Для цього необхідно призначити базою один із торців деталі і визначити відстань від нього до усіх вузлових точок профілю L_i . Після чого

розрахувати осьові відстані усіх вузлових точок профілю від характерної точки

$$l_i = L_i - L_k,$$

де L_k – відстань характерної точки від бази.

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

Осьові розміри різця не змінюються, вони дорівнюють відповідним розмірам деталі. У різця (у порівнянні з деталлю) змінюються форма і глибина профілю. Тому фактично

необхідно розрахувати одну координату кожної точки профілю різця.

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

$$d_p = d_{II} + es(0,5 + 0,5k) + ei(0,5 + 0,5k),$$

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

Визначаються розрахункові радіуси

$$r_i = d_{pi} / 2.$$

Знаходять кут між твірною проміжку профілю деталі, який буде оброблятися прямолінійною кромкою різця, та віссю деталі

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

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

l_θ - довжина цього проміжку у напрямі осі деталі.

Кут λ визначаємо за формулою

$$tg\lambda = tg\theta \cdot \sin\gamma.$$

Далі знаходять проміжні параметри

$$A_i = r_k + l_i tg\theta$$

і координати точок різальної кромки різця у системі координат з початком у характерній точці:

$$x_{ki} = l_i tg\theta + \cos\gamma \left(\sqrt{r_i^2 - A_i^2 \sin^2\gamma} - A_i \cos\gamma \right),$$

$$y_{ki} = -\sin\gamma \left(\sqrt{r_i^2 - A_i^2 \sin^2\gamma} - A_i \cos\gamma \right).$$

Виходячи із координат x_{ki} , y_{ki} , розраховується профіль круглого різця

$$x_{Ri} = R_k - \sqrt{(x_{ki} - R_k \cos\alpha)^2 + (y_{ki} - R_k \sin\alpha)^2}.$$

Примітка. $R_k = D/2$ – радіус круглого різця, який торкається характерної точки деталі

Профіль призматичного різця розраховується за формулою

$$x_{Ni} = x_{ki} \cos \alpha + y_{ki} \sin \alpha .$$

Результати графічного і аналітичного профілювання записують у табл.3 і порівнюють.

Таблиця 3.3 - Порівняння графічного і аналітичного профілювання

Номери точок профілю	1	2	3	4	5	...
Графічний						
Аналітичний						
Похибка, %						

3.7 Конструкторське доопрацювання інструменту

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.

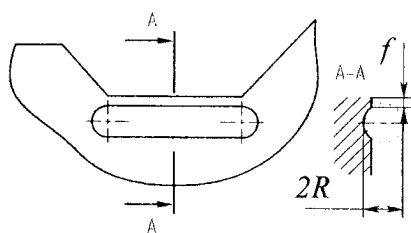


Рисунок 3.8 - Збільшення γ

У цьому випадку необхідно на передній поверхні робити заглиблення радіусом R , що дорівнює 5-6 мм, із стрічкою f біля різальної кромки шириною 0,2-0,3 мм (рис.3.8).

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

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

Для зменшення тертя на задній поверхні на проміжках, перпендикулярних до осі деталі, роблять невелике відхилення від перпендикулярності ($\alpha_6 \approx 2^\circ$) або залишають стрічку f_1 шириною 0,2-0,3 мм (рис. 3.9).

Загальна довжина різця l_p встановлюється таким чином [10]. З боку відкритого кінця заготовки (рис. 3.10) довжину

розрахункового профілю різця, що дорівнює довжині деталі l_0 , збільшують на 2-3 мм (щоб перекрити допуск на заготовку та похибки її базування). Для запобігання гострих кутів 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° .

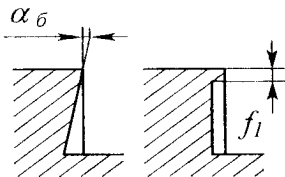


Рисунок 3.9 - Заходи для зменшення тертя

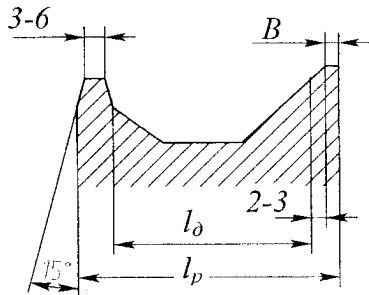


Рисунок 3.10 - Довжина різця

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

Замінне коло проходить через точки $n(0; 0)$, $a(x_a; y_a)$, $m(x_m; y_m)$ (рис. 3.11).

Локальні координати центра замінного кола і його радіус визначаються за формулами [13]:

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

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

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

Координати точок a і m відносно точки n такі:

$$x_a = x_{Na} - x_{Nn}, \quad x_m = x_{Nm} - x_{Nn} \quad \text{— для призматичних різців;}$$

$$x_a = x_{Ra} - x_{Rn}, \quad x_m = x_{Rm} - x_{Rn} \quad \text{— для круглих різців;}$$

$$y_a = L_a - L_n, \quad y_m = L_m - L_n.$$

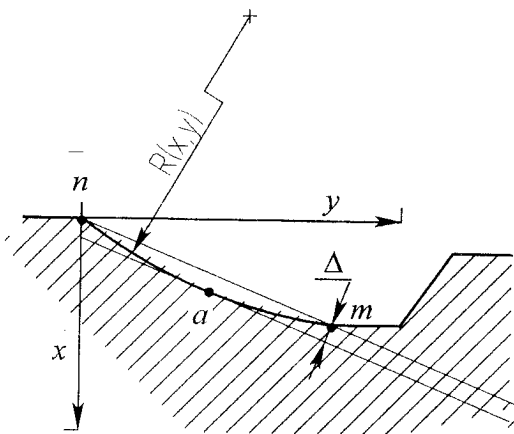


Рисунок 3.11 - Параметри замінного кола

Радіус замінного кола може виявитися настільки великим, що похибка форми деталі від заміни криволінійного проміжку різальної кромки різця на прямолінійний буде у межах допуску. Максимальне відхилення криволінійної кромки від прямолінійної визначається за

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

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

Якщо максимальне відхилення виявиться меншим від однієї третини допуску, то відповідну різальну кромку можна робити прямолінійною.

Допуски на розміри інструменту дорівнюють 0,33-0,25 від допусків на відповідні розміри деталі, тобто $Tx_i = k \cdot Td_i$. Беремо $k=0,25$. Результати розрахунків запишемо у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 - Допуски на розміри профілю різця

Номер точки	Діаметр деталі	Допуск на розмір деталі		Допуск на розмір профілю різця (або на параметри замінного кола) Tx_i
		позначення	числове значення	
1				
2				

Для закріплення і регулювання круглого різця на одному із його торців виготовляють зубці ($z=34$), направлені по радіусу

(рис. 3.12 а). Кут профілю зубців 90° . Вершини зубців зрізані на величину $0,1-0,2$ мм з утворенням площини шириною $f=(0,5-0,75)$ мм. Висота зуба може бути встановлена із таблиці 3.2 або за формулою

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

(з округленням до цілого числа).

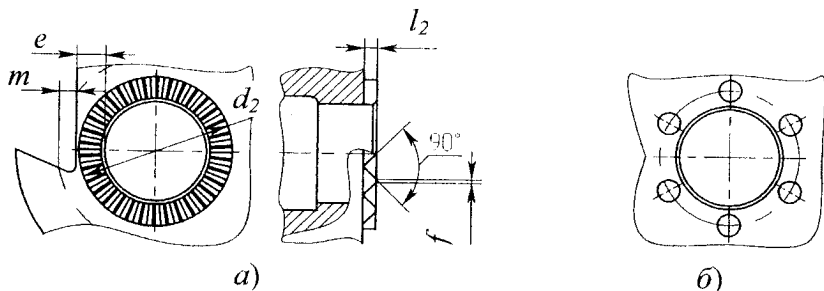


Рисунок 3.12- Конструктивні елементи для фіксування круглого різця

Внутрішній діаметр рифлення звичайно дорівнює діаметру

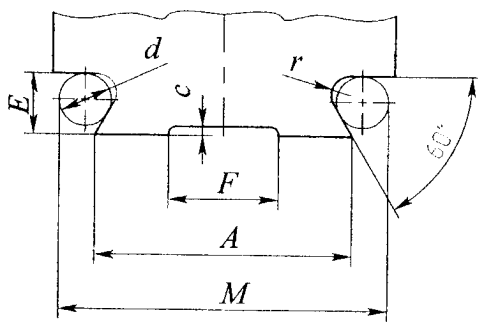


Рисунок 3.13 – «Хвіст ластівки»

приєднувального отвору, а зовнішній визначається за тією самою таблицею 3.2 або як

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

(з округленням до цілого числа).

Замість рифлень використовують і спеціальні отвори (рис. 3.12 б), кількість і діаметр яких

залежить від конструкції допоміжного інструменту.

Глибину заточування передньої поверхні для розміщення стружки (див. рис.3.12 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 «хвіст ластівки» (рис. 3.13) з кутом 60° . Його

розміри, залежно від глибини профілю деталі [7], наведені таблиці 3.5. Для зменшення опорної площини (шліфовано) робиться виїмка глибиною c і довжиною F при загальній довжині бази кріплення A .

Таблиця 3.5 – Розміри приєднувальної частини призматичних різців

Глибина профілю деталі	E	A	F	c	r	d	M
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

При зміні чисельних значень зазначених розмірів або при використанні роликів з іншим діаметром d контрольованого розмір M визначається за формулою

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

де α_x – кут «хвоста ластівки».

3.8 Креслення

Графічне профілювання на папері виконують у збільшеному масштабі (10:1). Креслять тонкими лініями і тільки ті елементи які необхідні для того, щоб отримати профіль (див. рис 3.3-3.6). Це дозволяє підвищити точність результатів. Якщо графічне профілювання виконується 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 вказана шорсткість поверхонь. Профіль показують у збільшеному вигляді, де проставляють розміри з допусками, показують виконані конструктивні доопрацювання.

Допуски на відхилення форми та положення поверхонь показати умовними позначеннями на кресленні. Їх значення визначають як 0,33–0,25 відповідних допусків деталі. А розміри приєднувальної поверхні призначають допуск за другим квалітетом.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментальної сталі;
- марку приєднувальної частини у звареного інструменту;
- твердість робочої частини, HRC 62-65;
- твердість приєднувальної частини, HRC 40-47;
- маркування;
- робоча частина не повинна мати зон із заниженим вмістом вуглецю зі зниженою твердістю.

3.9 Послідовність 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.*
- 6 *Графічно побудувати профіль різця.*
- 7 *Порівняти результати графічної побудови та аналітичних розрахунків.*
- 8 *Спроектувати приєднувальну частину різця.*
- 9 *Виконати конструкторське доопрацювання профілю на базі аналітичних розрахунків.*
- 10 *Накреслити різець.*

4 ЗЕНКЕРИ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ДІАМЕТРІВ ОТВОРІВ

4.1 Призначення і типи

Зенкери значно поширені у машинобудуванні. Вони призначені для утворення циліндричних поглиблень під головки гвинтів (рис. 4.1а); конічних поглиблень (для центрових отворів та під головки гвинтів); для обробки фасонних поверхонь (рис.4.1б), для збільшення діаметрів циліндричних отворів (рис.4.1в), утворених свердлінням, відливанням, куванням або штампуванням [13].

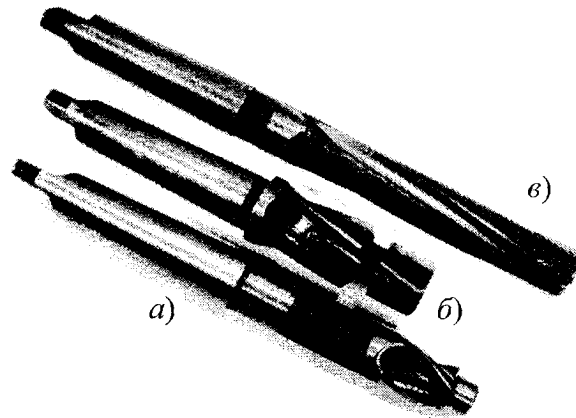


Рисунок 4.1 - Зенкери

Зенкери для збільшення діаметрів отворів застосовуються для остаточної обробки отворів (зенкери №2) і для попередньої обробки отворів під розвертку (зенкери №1). Відповідно до цього існує відмінність при визначенні виконавчого діаметра зенкера – граничні

відхилення у зенкера №2 пов'язані з допуском на діаметр

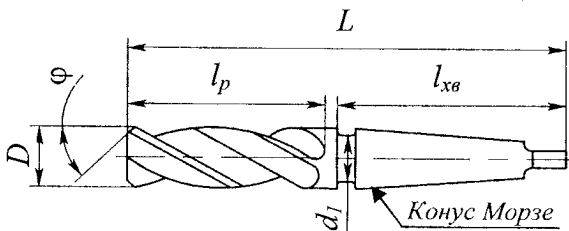


Рисунок 4.2 – Зенкер із хвостовиком

отвору, а у зенкера №1 враховують ще і припуск для розвертки. З допомогою зенкера досягається точність 11-го квалітета. Для збільшення отворів діаметром 10-40 мм використовуються зенкери з конічним хвостовиком (рис.4.1в, 4.2); діаметром 32-80 мм - насадні (рис. 4.3); діаметром 50-100 мм - насадні зі вставленими ножами (рис. 4.4).

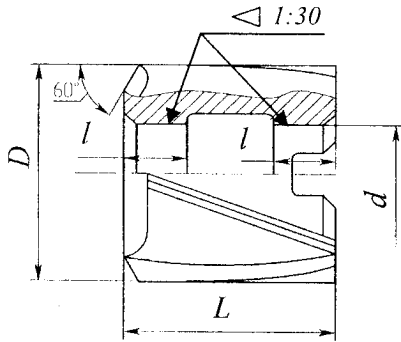


Рисунок 4.3 – Зенкер насадний суцільний

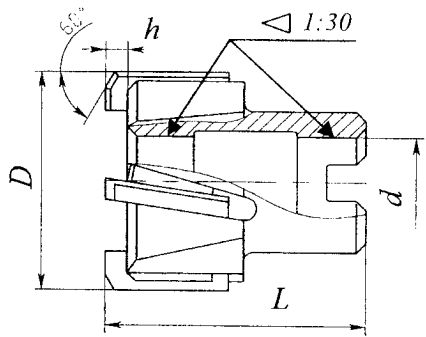


Рисунок 4.4 – Зенкер насадний із вставленими ножами

4.2 Конструктивні елементи зенкера

Основними конструктивними елементами зенкерів є: кількість канавок або зубів z , робоча частина l_p , яка складається з 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 $l_{хв}$ та номер конуса Морзе або діаметр та довжина опорної поверхні l отвору) [10, 3].

Довжину зенкера з хвостовиком (рис. 4.2) можна визначити формулою

$$L = 143,8 \ln(D) - 178,4.$$

Довжина його робочої частини

$$l_p = 87,4 \ln(D) - 120,4.$$

Діаметр шийки хвостовика

$$d_1 = D - (0,5 - 1,0).$$

Довжина насадного зенкера (рис.4.3) визначається за формулою

$$L = 25,2 \ln(D) - 57,5.$$

Складені зенкери (рис. 4.4) виготовляються різними методами кріплення ножів. Але після заточування по задній поверхні конструкція закріплення ножа повинна передбачати збереження його вильоту h . Зуб на торці виступає на 5-6 мм.

Довжина насадного зенкера із вставленими ножами також визначається за його діаметром

$$L = 23,4 \ln(D) - 31,6.$$

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 забезпечується краще направлення при роботі і менша шорсткість обробленої поверхні у порівнянні зі свердлом. Зенкер не працює у суцільному матеріалі, отже, немає потреби у загостреній вершині з поперечною кромкою. Через це умови стружкоутворення при роботі зенкера майже однакові вздовж усієї різальної кромки.

Кількість канавок. Зенкери, як правило, виготовляються з трьома або чотирма канавками. Зенкери малих і середніх діаметрів (10-40 мм) виготовляють з трьома канавками, а зенкери великих діаметрів (32 мм і більше) виготовляють з чотирма і навіть із шістьма канавками. У тому випадку, коли зрізується великий припуск, то для збільшення простору для розміщення стружки застосовують зенкери з двома канавками (*двозубі зенкери*). Звичайні зенкери мають малий простір для розміщення стружки, внаслідок чого 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 2000-4000 мм) діаметром від 28 до 300 мм.

У складених зенкерів діаметром до 58 мм чотири зуби, а понад 58 мм - шість.

Твердосплавні зенкери, оснащені твердим сплавом, звичайно виготовляються з трьома або чотирма канавками.

Різальна частина призначається для видалення всього припуску, тому довжина її вибирається залежно від глибини різання t (рис. 4.5):

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

де φ - головний кут у плані;

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

Кут φ значно впливає на форму і відведення стружки, особливо при утворенні суцільної стружки. Він призначається на підставі експериментальних даних. При обробці сталі краще, коли кут

$=60^\circ$. Причому для збільшення стійкості рекомендується обити перехідну кромку під кутом $\varphi_1 = 30^\circ$ довжиною $3S$ (рис.4.6).

Для зенкерів, що виготовляються на спеціалізованому підприємстві, довжина перехідної кромки становлена 0,3-0,5 мм для малих розмірів і 0,5-1,0 мм - для великих. Для звичайну кут φ береться таким, що дорівнює 60° (рідше 45°) без перехідної кромки. Для зенкерів, оснащених пластинками твердого сплаву, кут φ кож дорівнює 60° , причому перехідна кромка передбачається тільки для зенкерів, оснащених твердим сплавом групи ТК.

Калібрувальна частина забезпечує якість обробки отвору, правильне направлення зенкера у процесі обробки і є резервом

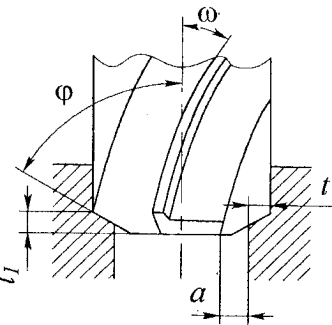


Рисунок 4.5 – Елементи різальної частини

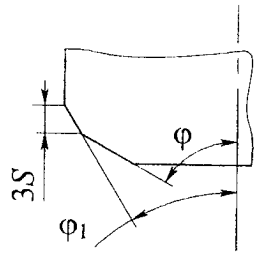


Рисунок 4.6 – Перехідна кромка

для переточування різальної частини. Вона має по циліндру стрічку шириною 0,8-2,0 мм. Із збільшенням ширини стрічки спостерігається більше налипання стружки на неї, і процес різання погіршується. Биття по стрічці не повинно перевищувати 0,03-0,04 мм.

Для полегшення процесу різання і уникнення 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 з кутом $\varphi = 60^\circ$ при невеликій ширині 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) під кутом $2^\circ - 3^\circ$. Ця кромка ніби заклинює інструмент в отворі і тим самим знищує вібрації.

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

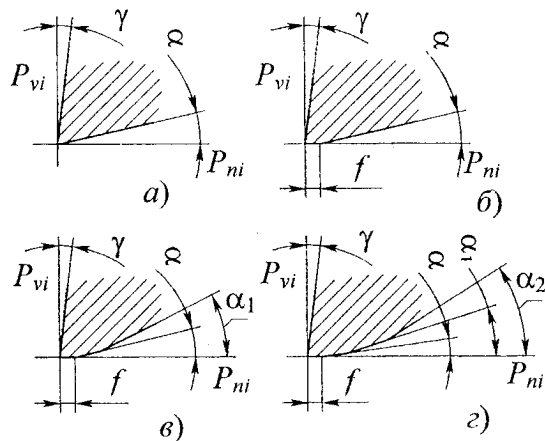


Рисунок 4.7 – Перетин леза зенкера головною січною площиною

Для створення заднього кута зуб на різальній частині по задній поверхні заточується або до гостроти (рис.4.7 а), або із утворенням невеликої стрічки шириною $f = 0,03 - 0,05$ мм (рис.4.7 б), що

зменшує і полегшує контроль биття зубів на різальній частині.

Доцільно задню поверхню оформляти під двома кутами: від кутом $\alpha = 8-10^\circ$ на невеликій ділянці довжиною 0,6-1,5 мм залежно від діаметра зенкера, а далі під кутом $\alpha_1 = 15-20^\circ$ (рис. 4.7 в). Така форма задньої поверхні застосовується для зенкерів зі вставними зубами, а також для твердосплавних зенкерів як з припаяними пластинками, так і з механічним прип'янням. Для полегшення заточування і доведення зуба з твердого сплаву можна задню поверхню оформляти навіть під трьома кутами, наприклад, $\alpha=10^\circ$, $\alpha_1=12^\circ$ і $\alpha_2=15^\circ$ (рис. 4.7 з). Іноді якщо зуб затупився, він заточується і доводиться тільки під кутом α .

Для зенкерів із швидкорізальної сталі і 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 призначається однаковим на різальній і на калібрувальній частинах зенкера у межах $8-10^\circ$. Іноді на калібрувальній частині його зменшують до $5-6^\circ$.

Передній кут вибирається в основному залежно від пластивостей оброблюваного матеріалу, а саме: для вуглецевої і легированої сталі середньої твердості у межах $8-12^\circ$; чавуну твердістю *HV* до 200 у межах $6-10^\circ$; кольорових металів – $25-30^\circ$.

У зенкерів, що виготовляються на спеціалізованих підприємствах (без визначення умов використання), передній кут на зубах із швидкорізальної сталі 8° , із сплаву ВК $\gamma=5^\circ$, із сплаву ТК на передній поверхні утворюють фаску у 1,5 мм, де $\alpha=5^\circ$.

Кут нахилу канавок. Зенкери виготовляються з гвинтовими, нахиленими і з прямими канавками. Найчастіше зенкер має гвинтову канавку. Вона сприяє відведенню стружки у напрямку до хвостовика. Для утворення позитивного переднього кута нахил канавок повинен збігатися з напрямом різання. Кут

нахилу канавок ω дорівнює передньому куту у перетині паралельному осі зенкера γ_0 . Якщо $tg\gamma_0 = \tan \gamma \sin \varphi$, то

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

Крок гвинтової канавки дорівнює

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

У стандартних зенкерів, залежно від кута γ , кут ω знаходиться у межах 10-25°.

У конструкціях насадних зенкерів зі вставними зубами доводиться розмішувати їх у похилих пазах корпусу. У зенкерів оснащених твердим сплавом, пластинки (переважно прямолінійні) припаюються також похило до осі. Тоді канавки на калібрувальній частині робляться гвинтовими і плавно сполучаються з 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 застосовуються для зенкерів, оснащених твердим сплавом.

Кут нахилу головної різальної кромки λ вимірюється у площині різання. Він може бути позитивним (зуб з піднутренням), негативним (зуб з відвалом) і дорівнювати нулю. Разом з переднім кутом λ визначає напрям сходження стружки.

При негативному значенні кута λ стружка спрямовується у бік оброблюваної поверхні (вниз). Для наскрізних отворів доцільно застосовувати зенкери з від'ємним кутом λ . У цьому випадку 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 сходиться у бік уже обробленої поверхні, тобто проти напрямку подачі (вгору). Тому зенкер повинен мати стружкові канавки. Для можливості широкого використання рекомендується застосовувати зенкери універсального призначення, тобто як для наскрізних, так і для глухих отворів. Вони повинні мати позитивний кут λ у межах $0-15^\circ$.

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

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

Перший профіль для діаметрів до 40 мм (рис. 4.8а)

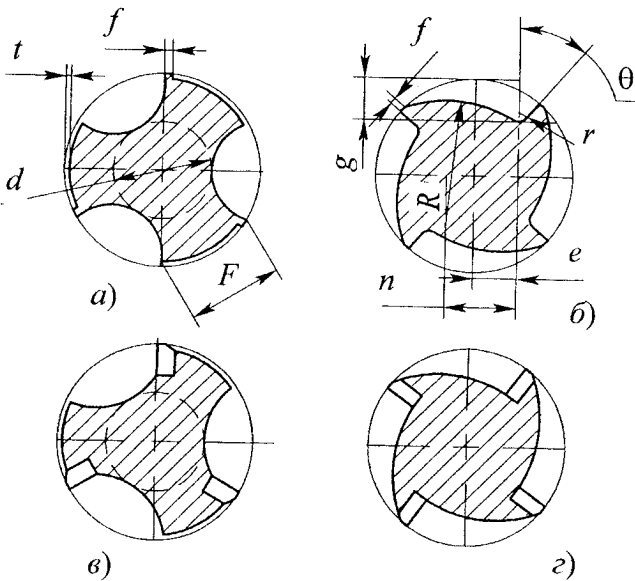


Рисунок 4.8 – Профілі канавок зенкерів

характеризується такими параметрами: діаметр серцевини

$d = 7,23 \ln(D) - 12,05$, 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. 4.8 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 $e = \sin \theta \left(\frac{D}{2} - h \right) - r \sqrt{2} \sin(45 - \theta)$, при цьому 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, знаходиться 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, що коло проходить через крайню точку стрічки f дотично до кола радіусом r .

Розміри профілів канавок зенкерів з припаяними пластинками твердого сплаву мають ті самі співвідношення, що і у зенкерів із швидкорізальної сталі (рис. 4.8 в, г).

Контур западини зенкера по кривій вимагає спеціальних фрез. За відсутності їх крива може бути замінена ламаною. У цьому випадку 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.

4.3 Допуск на діаметр зенкера

Зенкери виготовляються двох типів: № 1 - для попередньої обробки отвору під розвертку та № 2 - для остаточної обробки отвору. У обох випадках допуск на діаметр зенкера

зраховується за умови обробки отвору за 11-м валітетом. Він дорівнює чверті від допуску на розмір деталі

$$Td_i = 0,25TD_\theta.$$

Допуск на зенкер розміщується нижче від верхнього відхилення розміру деталі на величину h_i (рис. 4.9). Це необхідно для того, щоб за наявності похибок центрування інструменту, неточності шпинделя, поширення пластичної зони на лезах за межі реакторії обертання вершин дійсний розмір деталі все ж таки не виходив за допустимі межі. Звичайно h_i беруть таким, що дорівнює $0,33TD_\theta$. Тоді верхнє відхилення діаметра зенкера №2 дорівнює

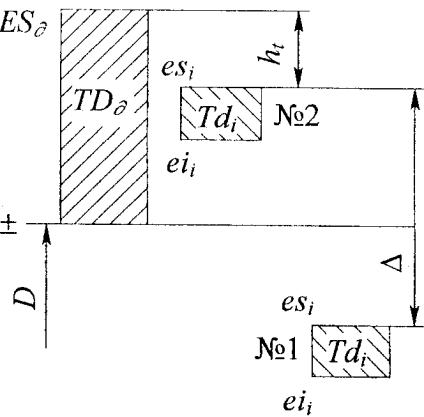


Рисунок 4.9 – Положення поля допуску зенкера №1 та зенкера №2 відносно допуску на деталь Н11

$$es_i = ES_\theta - h_i = ES_\theta - 0,33TD_\theta.$$

Нижнє відхилення

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

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

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

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

Номинальний розмір діаметра зенкера дорівнює номінальному розміру отвору.

Припуск для розвертки залежить від діаметра отвору,

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

4.4 Приєднувальна частина

Зенкери стандартної конструкції діаметром від 10 до 40 мм забезпечуються конічним хвостовиком. Хвостовик з конусом Борзе (рис. 4.2) забезпечує надійне центрування інструменту, що дозволяє зменшити вібрації і 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 (рис. 4.3) визначаються за формулами

$$l = 8,5 \ln(D) - 18,8,$$

$$d = 21,9 \ln(D) - 63,7.$$

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

У процесі заточування зенкера після кожного зношення зменшується довжина його робочої частини. Для збільшення кількості переточувань рекомендується у зенкерів з хвостовиком на торці висвердлювати отвір, а у насадних - збільшувати довжину передньої частини конічного отвору (до внутрішньої виточки) приблизно на 30-50% у порівнянні 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 з конічним хвостовиком (діаметром від 30 до 50 мм) та насадні (від 50 до 100 мм). Діаметр отвору (рис. 4.4) при встановленні на оправці дорівнює

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

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

4.5 Послідовність проектування

Розрахунок зенкера виконується залежно від вихідних даних у такій послідовності:

- 1 Призначити конструкцію зенкера (з хвостовиком, насадний складений і т. ін.).
- 2 Розрахувати довжину зенкера.

- 3 *Визначити довжину різальної частини і її конструктивні параметри.*
- 4 *Визначити довжину калібрувальної частини.*
- 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.*

4.5 Робоче креслення

На робочому кресленні повинен бути зображений зенкер (див. рис. 4.2, 4.3, 4.4) з усіма розмірами, допусками на них таказана шорсткість поверхонь. Повинні бути параметри стружкової канавки (див. рис. 4.8), геометрія зуба на різальній та алібрувальній частинах (див. рис. 4.7).

Допуск на радіальне биття зубів зенкера показати умовними означеннями на кресленні. Вказати значення оберненої онусності. На діаметр приєднувальної поверхні d призначають опуск за шостим квалітетом. Зенкери з хвостовиком иготовляються звареними. У зоні зварення не повинно бути ідпалів, 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 заниженим вмістом вуглецю зі зниженою твердістю.

5 МАШИННІ ЦИЛІНДРИЧНІ РОЗВЕРТКИ

5.1 Призначення і типи розверток

Розвертка призначена для виготовлення точних отворів. Залежно від технологічних вимог за допомогою розверток можна отримати отвори з точністю від 10 до 6 квалітетів при шорсткості обробленої поверхні $Ra = (6,3-0,4)$. Розвертка застосовується після попередньої обробки отворів зенкером, розточувальним різцем або свердлом і може бути використана як чистовий або чорновий інструмент.

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

Є різні типи розверток. Вони відрізняються залежно від характеру застосування, форми оброблюваного отвору, форми приєднувальної поверхні, конструкції зубів, регулювання на розмір, інструментального матеріалу: ручні циліндричні з хвостовиком;

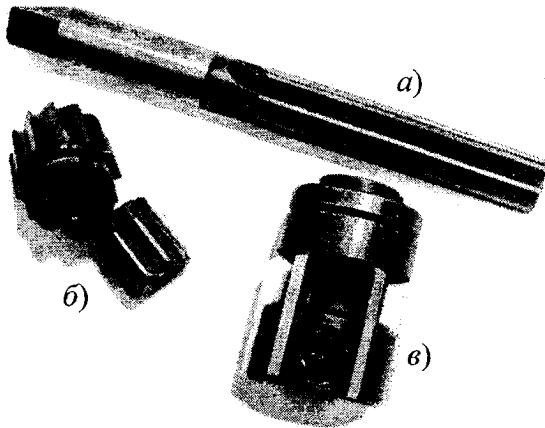


Рисунок 5.1 - Розвертки

ком (циліндричним (рис. 5.1а; рис. 5.2) або з конусом Морзе (рис. 5.3)) і насадні (суцільні із високолегованої сталі (рис.5.1б) або оснащені напаяними пластинами твердого сплаву, зі вставними зубами із високолегованої сталі (рис.5.1в) чи оснащені твердим спла-

вом); конічні (під конічні штифти, конічну різь, конус Морзе,

метричний конус, конусність 1 : 30); котельні.

Суцільні розвертки не довговічні через швидке зменшення діаметра після переточувань. Тому краще використовувати

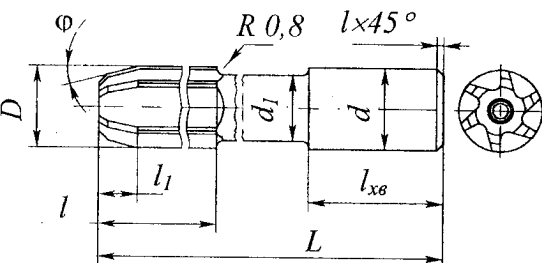


Рисунок 5.2 – Розвертка з циліндричним хвостовиком

багатогранника з кількістю граней, яка дорівнює кількості зубів. Циліндр як тіло обертання легше виготовити і контролювати.

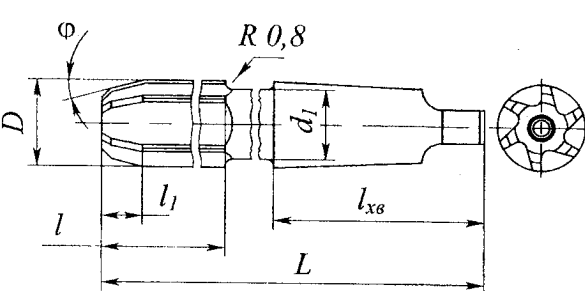


Рисунок 5.3 – Розвертка з конічним хвостовиком

Тому після складання її шліфують по діаметру з подальшим заточуванням ножів.

5.2 Конструктивні параметри циліндричних розверток

Основними конструктивними елементами розгортки є різальна і калібрувальна частини, кількість і напрям зубів, геометрія, нерівномірний крок зубів, профіль канавки, ріднудувальна частина.

розвертки із вставними зубами (рис. 5.1 в), які можна замінити після втрати розміру або регулювати. Допустиме регулювання коливається у межах 1-2 мм.

Корпус розвертки виготовляється у вигляді циліндра або

багатогранника з кількістю граней, яка дорівнює кількості зубів. Циліндр як тіло обертання легше виготовити і контролювати.

Через це такий корпус використовується частіше. Конструкція складеної розвертки не може забезпечити точне розміщення різальних кромek усіх ножів на одному діаметрі.

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

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

Згідно з дослідженням І.І.Семенченка [13] розбиття, конусність і овальність отвору при кутах ϕ від 5 до 45° знаходяться у межах допуску, хоча кращі результати показували розвертки з $\phi = 15^\circ$. Проте шорсткість обробленої поверхні при роботі розвертки з кутом $\phi = (20-40^\circ)$ вища, ніж при куті $\phi = 15^\circ$.

На цій підставі можна дійти висновку, що оптимальним кутом ϕ для машинних розверток при обробці сталі і інших в'язких металів є 15° (рис. 5.4). Для крихких матеріалів, наприклад чавуну, кут ϕ призначається таким, що дорівнює 3-5°.

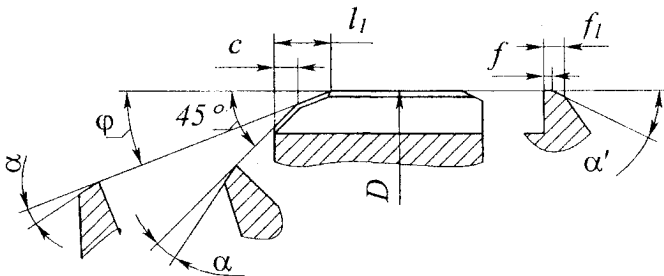


Рисунок 5.4 – Геометрія розвертки з кутом $\phi = 5-15^\circ$

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 поломок зубів. Перехід від різальної частини до калібрувальної повинен бути заокруглений. Розвертки з $\phi = 45^\circ$ (рис. 5.5) рекомендується застосовувати (з урахуванням технологічного критерію) для попередньої обробки.

Довжина
формулою

різальної частини

визначається за

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

де D – діаметр розвертки;

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

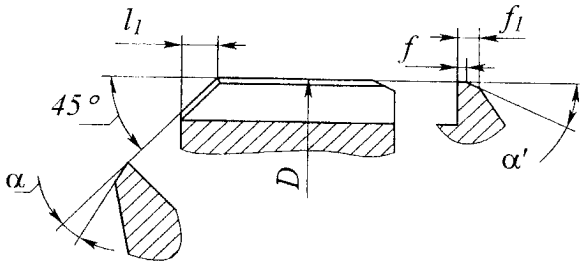


Рисунок 5.5 - Геометрія розвертки з $\varphi = 45^\circ$

При зрізуванні великих припусків використовується розвертка із різальною частиною у вигляді двох кільцевих циліндричних сходинок з D_1 і D_2 (рис. 5.6) шириною $l = (2-4)$ мм. Сходинки 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.

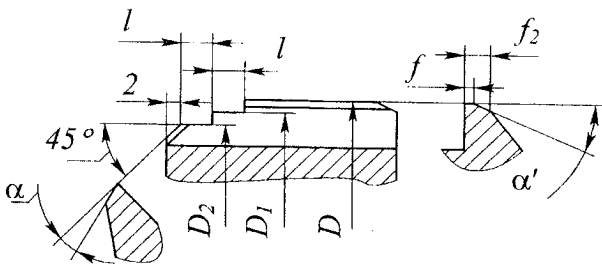


Рисунок 5.6 – Геометрія розвертки з кільцевою різальною частиною

Калібрувальна частина. Вона призначена для направлення 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 із стоншенням у напрямку до хвостовика. Стоншення зменшує тертя розвертки по поверхні отвору. Величина його при жорсткому закріпленні 0,04-0,06 мм, при закріпленні у плаваючому патроні 0,08-0,10 мм. Якщо до отвору ставляться особливі вимоги відносно точності розміру і шорсткості поверхні, то можна застосовувати розвертки без стоншення.

Калібрувальна частина у розвертки з кільцевою різальною частиною (рис. 5.6) виконана у вигляді циліндра. Розвертка виконується без стоншення до хвостовика, а тому калібрувальна частина коротша у порівнянні 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 і стійкості вони 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 [13] товщиною 0,2 діаметра, у яких різальна і 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 при роботі потребує направлення.

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

Кількість зубів залежить від діаметра і призначення розвертки. Для можливості вимірювання діаметра розвертки мікрометром це завжди парне число (табл. 5.1).

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

Таблиця 5.1 – Залежність кількості зубів суцільної розвертки від діаметра

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

Розвертки, оснащені твердим сплавом, у порівнянні з розвертками із сталі, мають меншу довжину робочої частини, оскільки вона дорівнює довжині пластинки твердого сплаву. Зменшення довжини сприяє підвищенню вібростійкості розвертки. Кількість зубів при припаяному твердому сплаві береться від 4 до 10.

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

Розвертки з гвинтовими зубами застосовуються для обробки отворів з подовжніми канавками. При цьому напрям гвинтових зубів робиться зворотним до напрямку обертання інструменту. Це необхідно для попередження само затягування і заїдання розвертки. Кут нахилу канавки ω вибирають залежно від оброблюваного матеріалу: для сірого чавуну і твердої сталі $\omega=7-8^\circ$, для ковкого чавуну і сталі $\omega=12-20^\circ$, для алюмінію і легких сплавів $\omega=35-45^\circ$.

Геометрія. Із збільшенням заднього кута α полегшуються умови різання, але при цьому зменшується кут загострення, підвищується інтенсивність зношення різальних кромки. При обробці сталі 45 із задніми кутами $15-20^\circ$ стійкість інструменту зменшується до 3 разів у порівнянні з $\alpha=8^\circ$. Після переточування розвертка з великим кутом α швидко втрачає свій розмір. Тому його призначають $\alpha=5-8^\circ$. 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 і α .

Задній кут у твердосплавних розверток на стрічці шириною 0,3-0,5 мм дорівнює $5-6^\circ$, а далі $\alpha=10-12^\circ$.

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

Додатний кут γ знаходиться у межах $5-10^\circ$ і виправдовує себе при обробці в'язких металів, запобігаючи налипанню стружки біля різальної кромки. Він може бути до 10° і при обробці 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 ($0,2-0,3$ мм) з кутом $\gamma_{\text{ф}}=-5^\circ$.

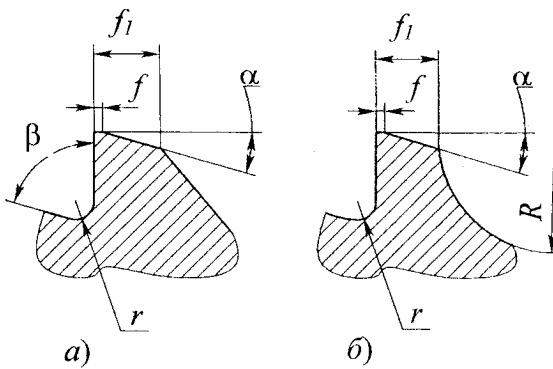


Рисунок 5.7 – Профілі стружкової канавки

Профіль канавки.

Форма стружкової канавки не має великого значення. Проте у розверток малого діаметра роблять пряму спинку зуба (рис. 5.7а), а для середніх і великих розмірів рекомендується застосовувати профіль з контуром спинки

зуба, окресленим по радіусу (рис. 5.7 б). Щоб уникнути появи тріщин при гартуванні, перехід від передньої поверхні до спинки заокруглений. Розміри профілю наведені у таблиці 5.2.

Стрічка шириною f забезпечує направлення розвертки в отворі, сприяє його калібруванню, полегшує контроль діаметра розвертки. Ширина стрічки у машинних розверток дорівнює 0,05-0,5 мм. (залежно від розміру розвертки, табл. 5.2).

Зменшення ширини стрічки зменшує стійкість інструменту,

збільшення – збільшує тертя. При обробці в'язких матеріалів, для уникнення налипання стружки, ширина стрічки знаходиться у межах 0,05-0,08 мм. Задній кут на стрічці порівнює нулю. Проте можна рекомендувати також заточування або доведення стрічки на спеціальних верстатах або пристосуваннях із заднім кутом $30'-1^{\circ}30'$.

Таблиця 5.2 – Розміри профілю канавок розверток

Діаметр розвертки	Кількість зубів	f , мм	f_b , 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	-	
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	

Нерівномірний розподіл зубів по колу. Розвертки з рівномірним кроком можуть забезпечувати необхідну точність і чистоту 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. При контакті з такими ділянками розвертка вигинається і зуби з рівномірним кроком, заглиблюючись в оброблену поверхню на протилежному боці в одному і тому самому місці, спотворюють її. При нерівномірному кроці зуби заглиблюються у різних місцях, внаслідок чого відхилення форми отвору зменшується.

Нерівномірності кроку можна досягти різними методами, проте кожний з них передбачає наявність не менше двох зубів, які знаходяться на одному діаметрі. Це необхідно для зручності вимірювання розміру розвертки мікрометром. Можна поступово збільшувати крок зубів на деяку величину Δ по колу (рис. 5.8 а), збільшувати кроки на ту саму величину Δ в один і в інший бік

до середини кола (рис. 5.8 б) або, розташовуючи зуби попарно на одному діаметрі, збільшувати крок від зуба до зуба на величину Δ також до середини кола (рис. 5.8 в).

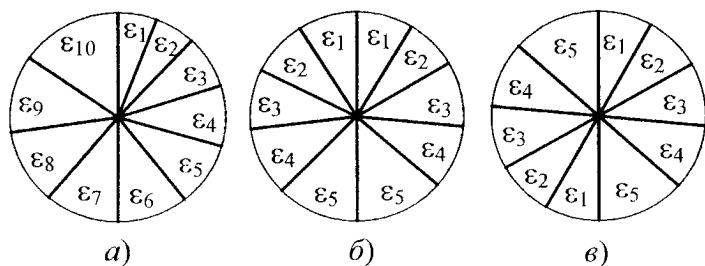


Рисунок 5.8 – Варіанти нерівномірних кутових кроків

Призначити значення кроків можна, скориставшись таблицею 5.3 [7]. У кожному рядку сума значень складає 180° . Отже, для першої схеми (рис. 5.8 а, десять зубів) беремо четвертий ряд кроків, а потім від середини продовжуємо другим. Друга схема (рис. 5.8 б) утворюється третім рядком таблиці при відліку вліво і вправо. Третя (рис. 5.8 в) реалізується також третім рядком.

Таблиця 5.3 – 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	$58^\circ 01'$	$59^\circ 53'$	$62^\circ 05'$					
4	$41^\circ 53'$	$44^\circ 05'$	$46^\circ 06'$	$47^\circ 56'$				
5	$33^\circ 15'$	$34^\circ 32'$	$36^\circ 00'$	$37^\circ 28'$	$38^\circ 45'$			
6	$27^\circ 33'$	$28^\circ 28'$	$29^\circ 34'$	$30^\circ 30'$	$31^\circ 25'$	$32^\circ 36'$		
7	$23^\circ 30'$	$24^\circ 15'$	$25^\circ 00'$	$25^\circ 55'$	$26^\circ 25'$	$27^\circ 00'$	$27^\circ 55'$	
8	$20^\circ 34'$	$21^\circ 08'$	$21^\circ 41'$	$22^\circ 13'$	$22^\circ 46'$	$23^\circ 20'$	$23^\circ 53'$	$24^\circ 25'$

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

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

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

Довжина подовженої робочої частини розвертки з конічним хвостовиком (рис. 5.3) визначається як

$$l = 3D + 36.$$

Довжина робочої частини суцільних і складених насадних розверток (рис. 5.9) 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.

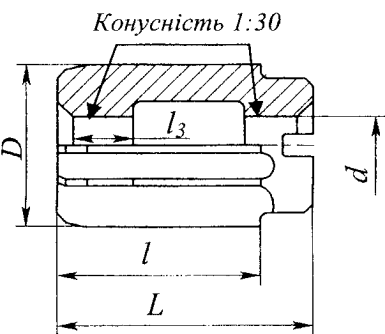


Рисунок 5.9 – Суцільна насадна розвертка

Приєднувальна частина. Машинні розвертки мають циліндричну (для діаметрів 3-10 мм) або конічну (конус Морзе, конус 1:30) приєднувальну частину. Розвертки з хвостовиком виготовляють з конусом Морзе і довгою шийкою, що дозволяє обробляти глибокі отвори. Разом з робочою частиною, шийкою і хвостовиком довжина такої розвертки (рис. 5.3) дорівнює

$$L = 6D + 85.$$

Довжина всієї розвертки з циліндричним хвостовиком (рис. 5.2)

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

Насадні розвертки забезпечуються конічним отвором з конусністю 1:30. Розміри приєднувальної поверхні у цих розверток (рис. 5.9) 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 тільки від стану верстата, але і від стану

приєднувальних пристроїв. Через незбіг осей отвору і розвертки спотворюється його форма і збільшується діаметр. Для дотримання заданої форми використовують плаваючі оправки для закріплення в них розверток. Завдяки шарнірному закріпленню розвертка при входженні в отвір має можливість переміщуватися у різних напрямках. При цьому зуби розвертки рівномірно навантажені і зрізують однакову стружку з усіх боків, не спотворюючи отвору.

5.3 Допуск на діаметр розвертки

Правильне призначення допуску на розвертку забезпечує максимальне використання дорогого інструменту і точність розмірів обробленої поверхні. При призначенні допуску необхідно враховувати, що розвертка повинна якомога більше переточуватися, оброблена поверхня повинна задовольняти вимоги точності і шорсткості, величина допуску повинна бути досяжною при виготовленні інструменту на круглошліфувальних верстатах.

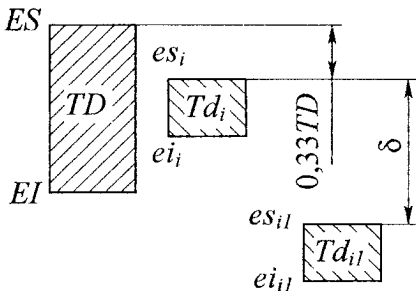


Рисунок 5.10 – Схема відносного положення допуску розвертки і деталі

Розвертка у процесі роботи, подібно до свердла і зенкера, збільшує розмір отвору у порівнянні з фактичним розміром розвертки. Тому, щоб уникнути браку, доводиться зменшувати верхнє відхилення діаметра розвертки es_i у порівнянні з верхнім відхиленням діаметра отвору ES . Звичайно ця величина дорівнює $0,33TD$ (рис.5.10). Допуск дорівнює

третині допуску на діаметр отвору. Тоді

$$es_i = ES - 0,33TD, \quad (5.1)$$

$$ei_i = es_i - Td_i = es_i - 0,33TD. \quad (5.2)$$

Розвертки бувають чистові, під доведення і чорнові.

Формули (5.1), (5.2) визначають відхилення діаметра листової розвертки. Відхилення діаметра розвертки під обведення або чорнової повинні враховувати припуск на таку бробку отвору δ :

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

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

5.4 Послідовність проектування

Розрахунок розвертки виконується залежно від вихідних даних у такій послідовності.

- 1 *Призначити конструкцію розвертки (з хвостовиком, насадна, складена і т.д.).*
- 2 *Визначити конструктивні параметри різальної частини і її довжину.*
- 3 *Визначити конструкцію і довжину калібрувальної частини.*
- 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.*

5.5 Робоче креслення

На робочому кресленні повинна бути зображена розвертка (див. рис. 5.2, 5.3, 5.9) з усіма розмірами, допусками на них та означена шорсткість поверхонь. Повинні бути параметри стружкової канавки (див. рис. 5.7), геометрія зуба на різальній та калібрувальній частинах (див. рис. 5.4, 5.5, 5.6). Необхідно показати кутові кроки зубів (див. рис. 5.8).

Допуск на радіальне биття зубців розвертки показати мовними позначеннями на кресленні. Вказати значення берненої конусності. На діаметр приєднувальної поверхні d призначають допуск за п'ятим квалітетом.

На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментального матеріалу;
- твердість леза біля різальних кромки, HRC 62-65;
- марку та 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 заниженим вмістом вуглецю зі зниженою твердістю.

Розвертка призначається для чистової обробки, для обробки під доведення і для чорнової обробки. Відповідно до цього позначається (після допуску):

ніяких позначок – чистова;

№1, 2, 3, 4, 5, 6 – під доведення;

Ч – чорнова.

6 ПРОТЯЖКИ

6.1 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 називається підйомом зуба протяжки.

При обробці круглого отвору протяжка у поступальному русі відносно заготовки зрізує кожним зубом шар a (рис. 6.1), а у площині - сумарний шар A . Шар a , що зрізується, вимірюється у напрямі, перпендикулярному до обробленої поверхні.

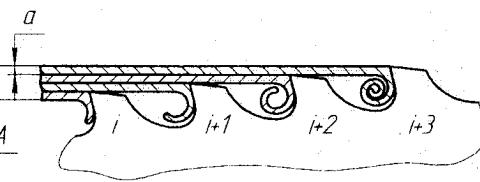


Рисунок 6.1- Зрізування шарів металу протяжкою

Особливість процесу протягування полягає також у тому, що у процесі різання стружка не може бути видалена із западини між зубами протяжки і повинна повністю розміщуватися у западині до кінця

обробки деталі.

Протяжки отримали значне поширення головним чином у масовому і багатосерійному виробництвах внаслідок того, що:

- вони - один із найпродуктивніших різальних інструментів;
- дозволяють одержувати високу точність і якість обробки при низькій кваліфікації робітників;
- мають високу стійкість;
- протяжки - дуже економічний інструмент (складова інструменту, яка входить до собівартості деталі, відносно невелика).

Протяжка - спеціальний інструмент, проектується і виготовляється для обробки однієї або декількох певних

деталей. Вона складна і дорога. Це і обумовлює рентабельність застосування протяжок саме у масовому і багатосерійному виробництві. Проте протяжки можна застосовувати і у дрібносерійному виробництві, у тих випадках, коли необхідна точність обробки деталі може бути отримана тільки протягуванням.

Протяжки мають високу продуктивність, незважаючи на те, що вони працюють при малих швидкостях різання $V=3-12$ м/хв. Причиною цього є те, що при протягуванні відпадає необхідність у спеціальному русі поширення зони різання на всю оброблювану поверхню. Поверхня утворюється зі швидкістю, яка дорівнює швидкості різання, тоді як при точінні або при свердлінні це величина подачі за одну хвилину $S_{хв} = S n \ll 12$ м/хв.

Висока продуктивність протяжок обумовлена також тим, що кожна протяжка поєднує у собі чорнові, чистові і калібрувальні зуби, завдяки чому однією операцією протягування може бути замінено дві або три окремі операції.

Протяжки поділяються в основному на два види: для протягування отворів - внутрішні протяжки і для протягування відкритих поверхонь - зовнішні протяжки. Протяжки, як правило, працюють з прямолінійним рухом різання. В окремих випадках застосовуються протяжки також з круговим рухом різання. Оброблені такими протяжками поверхні можуть бути тілами обертання з довільної форми твірною (криволінійною, східчастою, конічною і т. ін.), тоді як протяжками з прямолінійним рухом різання обробляються поверхні тільки з прямолінійними твірними.

Найбільш поширені у машинобудуванні протяжки з прямолінійним рухом різання.

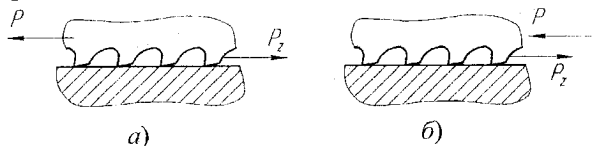


Рисунок 6.2 – Протяжки а) та прошивки б)

Протяжки також розрізняються за схемою силового навантаження (рис.6.2). Якщо сили розтягують її

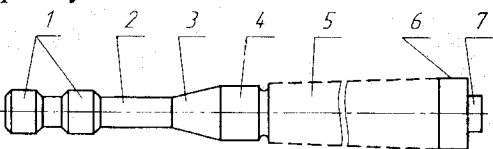
рис. 6.2 а), то така протяжка називається власне протяжкою. Якщо ж сили її стискають (рис. 6.2 б), то така протяжка називається прошивкою. Конструкція прошивок загалом подібна конструкції протяжок. Подібно до протяжок прошивки також можуть бути внутрішніми і зовнішніми.

Протягуванням одержують шорсткість поверхні з $Ra=2,5-1,63$.

6.2 Складові частини протяжок і прошивок

Протяжки і прошивки складаються [10, 13] 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. 6.3) хвостовик 1, шийка 2, опорна цапфа 7. Перехідний конус 3, передня напрямна 4, задня напрямна 6 – допоміжні орієнтуючі елементи.



Робоча частина 5 складається з чорнових, чистових, калібрувальних і іноді ущільнювальних зубів.

Хвостовик. Основні типи і розміри хвостовиків для протяжок стандартизовані. Вони залежать від розмірів попередньо створеного отвору і конструкції патрона, у якому закріплюється хвостовик.

Прошивки, а також зовнішні протяжки закріплюються на шпинделі верстата для зовнішнього протягування і не мають хвостовиків.

Діаметр хвостовика d_x робиться меншим від діаметра отвору під протягування не менше ніж на 0,3 мм для вільного входу хвостовика у деталь. Остаточний розмір діаметра хвостовика визначається розміром стандартного верстатного патрона. Якщо отвір у патроні виконаний з допуском $H9$, то хвостовик про-

тяжки потрібно виконувати за е8. Довжина хвостовика l_x відповідає розмірам патрона.

Шийка сполучає хвостовик з перехідним конусом. Її довжина повинна забезпечити можливість приєднання протяжки до патрона протяжного верстата. Мінімальна довжина шийки $l_{ш}$ визначається за формулою [10] (рис. 6.4)

$$l_{ш} = l_{ст} + l_k + l_d - l_{нк} - l_{пн}, \quad (6.1)$$

де $l_{ст}$ - товщина стінки протяжного верстата;

l_k - товщина буртика опорного кільця;

l_d - довжина деталі;

$l_{нк}$ - довжина перехідного конуса;

$l_{пн}$ - довжина передньої напрямної.

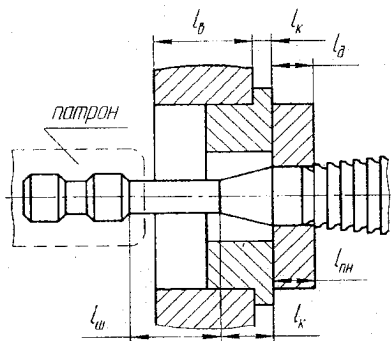


Рисунок 6.4 – Схема для визначення довжини шийки

Отриману довжину $l_{ш.min}$ звичайно збільшують на 5-30 мм.

Діаметр шийки $d_{ш}$ призначають меншим від діаметра хвостовика на 0,3-1 мм з допуском $f12$. Шийка обробляється з $Ra=1,2$. На її поверхню наносять маркування. Звичайно на кресленні протяжки проставляється 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 перекосу деталі.

Довжиною передньої напрямної вважається відстань $l_{пн}$ від

кінця перехідного конуса до першого зуба, включаючи ширину першої западини. Звичайно l_{nn} дорівнює довжині деталі l_0 , але не менше 40 мм. Якщо довжина деталі значна, то довжина напрямної може дорівнювати 0,75 від неї.

Радіальні розміри передньої напрямної дорівнюють найменшим радіальним розмірам отвору до протягування з допусками *гб*.

Задня напрямна запобігає перекосу протяжки під час виходу з деталі останніх зубів протяжки і тим самим усуває небезпеку пошкодження обробленої поверхні і поломки зубів. Довжину задньої напрямної l_{zn} можна орієнтовно визначити за

$$\text{формулою } l_{zn} = 74,8 - \frac{1,4 \cdot 10^3}{l_0} . \quad (6.2)$$

Поперечний перетин задньої напрямної може бути ідентичний поперечному перетину протягнутого отвору, але при обробці симетричних отворів може бути також круглим, вписаним у протягнутий отвір (наприклад, як у шліцьових протяжках).

У шпонкових протяжок задньої напрямної немає, оскільки оброблювана деталь базується на напрямній втулці, що виключає перекошування деталі. Зовнішні протяжки закріплюються на супорті верстата для зовнішнього протягування і також не мають задньої напрямної. Задні напрямні виготовляються з допусками *гб*.

Якщо протяжки мають значний діаметр і довжину і відповідно велику вагу, то задня напрямна подовжується і використовується як опора, що вставляється в люнет верстата, для запобігання провисання протяжки і полегшення операції з нею. Коли діаметр отвору у люнеті менший за діаметр протяжки, тоді на подовженій частині задньої напрямної робиться *опорна цапфа 7* з діаметром, який дорівнює діаметру отвору люнета.

Внутрішні протяжки мають центрові отвори, які є базами при виготовленні і наступних переточуваннях при експлуатації. Тому базові конусні поверхні центрових отворів протяжок виготовляються із підвищеною точністю та низькою

шорсткістю і мають запобіжні конуси.

Прошивки не мають хвостовика. Для більш легкого введення у підготовлений отвір прошивки спереду мають конус з 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. При роботі прошивка утримується з боку заднього торця пружинним центром або рухомою втулкою, сполученою зі штоком преса.

6.3 Сили різання при протягуванні і розрахунок протяжок на міцність

Сила різання при протягуванні залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, товщини і ширини шару, що зрізується, геометрії та затуплення зубів, властивостей змащувально-охолоджувальної рідини і т. ін.

Сумарна сила різання, яка виникає при протягуванні, може бути розкладена на складові, з яких головною є сила P_z , направлена уздовж осі протяжки (уздовж руху різання). Інша складова P_y направлена нормально до осі протяжки. У разі обробки отвору її елементарні доданки взаємно урівноважуються і P_y на протяжку не діє, а при зовнішньому протягуванні сприймається повзуном верстата. Складова сили різання P_x виникає тільки при косих зубах зовнішніх протяжок.

Складові сили різання P_x і P_y відносно невеликі, стискають матеріал протяжки і при звичайному розрахунку її на міцність не враховуються.

Головну складову сили різання при протягуванні, силу P_z визначають за формулою

$$P_z = pfz_{\max}, \quad (6.3)$$

де p - питома сила різання, кг/мм^2 ;

$f = b \cdot a$ - 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. 6.5);

a - підйом на зуб;

$z_{\max} = \frac{l_d}{t} + 1$ - максимальне число зубів протяжки, що може

одночасно перебувати у контакті з оброблюваною деталлю (l_d - довжина обробленої поверхні; t - крок зубів протяжки).

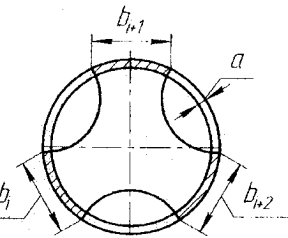


Рисунок 6.5 – Ширина зрізування

Тут береться до уваги тільки ціла частина виразу z_{\max} , а дріб відкидається. Якщо на деталі є виточка, то максимальне число одночасно працюючих зубів протяжки визначається без проміжку з виточкою.

Таким чином, головна складова сили різання при протягуванні визначається як

$$Pz = paz_{\max} \sum_{i=1}^n b_i. \quad (6.4)$$

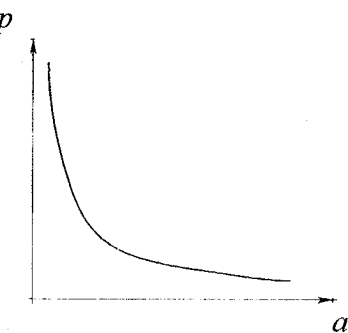


Рисунок 6.6 – Залежність питомої сили різання від підйому на зуб

Питома сила різання p при протягуванні підкоряється загальній закономірності, яка притаманна різанню металів, а саме: із зменшенням товщини шару металу, що зрізується, питома сила різання зростає (рис. 6.6). Емпіричні залежності $p = f(a)$ для різних матеріалів (табл. 6.1) складені за літературними даними. Це дозволяє підвищити ступінь автоматизації розрахунків робочої частини протяжки.

значення питомих сил різання визначені при звичайно

рекомендованих передніх і задніх кутах зубів протяжки, складі змащувально-охолоджувальної рідини і при зношенні зубів по задній поверхні у протяжок для обробки отворів до 0,3 мм, у протяжок для зовнішнього протягування до 0,5 мм.

Таблиця 6.1 – Формули для визначення питомої сили різання p , кг/мм², за значенням підйому на зуб a , мм

Матеріал	Твердість	Формула для визначення p
Вуглецева сталь	$HB < 197$	$p = 10^2 \sqrt{\frac{0,4}{a} + 2,3}$
	$HB = 198-229$	$p = 10^2 \sqrt{\frac{0,5}{a} + 2,8}$
	$HB > 229$	$p = 10^2 \sqrt{\frac{0,7}{a} + 3,9}$
Легована сталь	$HB < 197$	$p = 10^2 \sqrt{\frac{3,5}{\exp(a)} + \frac{0,7}{a}}$
	$HB = 198-229$	$p = 10^2 \sqrt{\frac{4}{\exp(a)} + \frac{0,8}{a}}$
	$HB > 229$	$p = \frac{10}{a} + 287$
Сірий чавун	$HB < 180$	$p = 10^2 \sqrt{\frac{0,3}{a} + 1,6}$
	$HB > 180$	$p = 10^2 \sqrt{\frac{2,6}{\exp(a)} + \frac{0,3}{a}}$
Ковкий чавун	-	$p = 10^2 \sqrt{\frac{0,2}{a} + 1,4}$

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

$$\sigma = \frac{P_z}{F} < [\sigma] \quad (6.5)$$

де F - площа небезпечного перетину протяжки, мм^2 ;

$[\sigma]$ - допустиме напруження, кг/мм^2 ;

P_z - головна складова сили різання при протягуванні.

Небезпечний перетин протяжки може знаходитися на хвостовику, якщо хвостовик приварений із сталі марки 40Х. А коли протяжка виготовлена цілком із інструментальної сталі, то небезпечним може бути перетин по западині перед першим зубом. Перевіряється в обох перетинах.

Допустиме напруження для сталі марки 40Х - $\sigma = 25 \text{ кг/мм}^2$, для сталі ХВГ - $\sigma = 30 \text{ кг/мм}^2$, для швидкорізальної сталі Р6М5 - $\sigma = 35\text{-}40 \text{ кг/мм}^2$

Силу протягування визначають ще і за формулою

$$P_z = F l_b, \quad (6.6)$$

де F - сила різання, кг/мм , що діє на 1 мм довжини різальної кромки протяжки при даній величині підйому на зуб;

$l_b = b z_{max}$ - найбільша сумарна довжина, мм , різальних кромок усіх одночасно працюючих зубів.

У більшості випадків площа поперечного перетину протяжок зовнішнього протягування не пов'язана безпосередньо з розмірами заготовки. Розміри поперечного перетину цих протяжок можуть варіюватися у досить широких межах і призначаються виходячи із конструктивних міркувань. Звичайно ці розміри настільки значні, що матеріал протяжки працює з великим запасом міцності. Тому зовнішні протяжки, як правило, на міцність не розраховуються.

6.4 Схеми зрізування шарів металу

Відомо, що схема зрізування шарів металу істотно впливає на конструкцію різальної частини інструменту і на його стійкість. Схема показує, яким чином весь припуск

розподіляється між зубами протяжки. При протягуванні бувають дві схеми зрізування шарів:

- одинарна або звичайна (рис. 6.7, рис. 6.1), коли припуск рівномірно розподіляється між усіма зубами;
- групова (рис. 6.8), при якій припуск розподіляється між групами зубів, а в межах групи шар металу товщиною a_2 розподіляється по ширині.

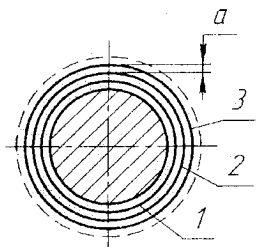


Рисунок 6.7 –
Одинарна схема

У групі по два зуби і більше. Протяжки які працюють за першою схемою називають протяжками одинарного різання, а за другою - протяжками групового різання.

При протягуванні отворів за одинарною схемою шар, що зрізується, являє собою порожнистий циліндр з товщиною стінки, яка дорівнює величині підйому на зуб. Закручування стружки на передній поверхні повинно

перетворити цей циліндр у тор або у процесі цього закручування розірвати його. Якщо б утворився тор у западині перед зубом протяжки, то після обробки деталі необхідно було

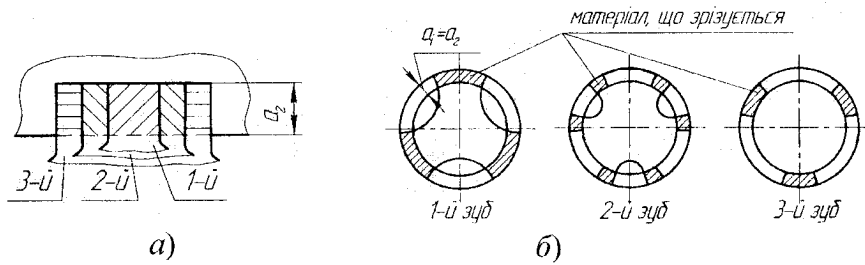


Рисунок 6.8 – Групова схема зрізування металу

б розрубувати і видаляти кільця із кожної западини протяжки. Сили при цьому 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. 6.9). При цьому шар, що

різується, розділяється на окремі стрічки, які порівняно легко сходять по передній поверхні зуба протяжки, вільно розміщуються у западині між зубами і випадають після виходу протяжки із отвору деталі.

Наявність стружкорозділювальних канавок на зубах двиндарної протяжки спричиняє і деякі негативні явища.

По-перше, на стружці створюється ребро жорсткості, унаслідок чого стружка закручується з великим зусиллям, діаметр вала виходить збільшеним, і тому для розміщення стружки потрібна канавка більшого об'єму.

По-друге, на різальній кромці створюються додаткові вершини (у місці перетину різальної кромки стружкорозділювальною канавкою), і вони стають місцем посиленого зношення протяжки.

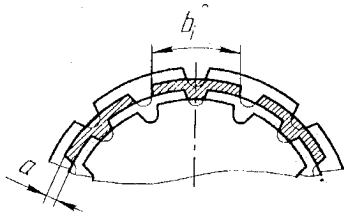


Рисунок 6.9 –
Стружкорозділювальні
канавки

Посилене зношення протяжок біля стружкорозділювальної канавки пов'язане також з неоптимальним значенням задніх кутів та порушенням технології виготовлення. Для підвищення гнучкості протяжок рекомендується стружкорозділювальним канавкам надавати кутову форму з гранично великим кутом профілю, $Q \geq 90^\circ$ (рис. 6.10).

У цьому випадку не тільки збільшується задній кут на допоміжних різальних кромках, але збільшується маса біля вершини, що поліпшує відведення тепла, яке виникає при різанні. Величина кута ϵ повинна бути не меншою 100° . Застосування напівкруглих і тим більше прямокутних стружкорозділювальних канавок не рекомендується, оскільки при такій формі задній кут на допоміжних

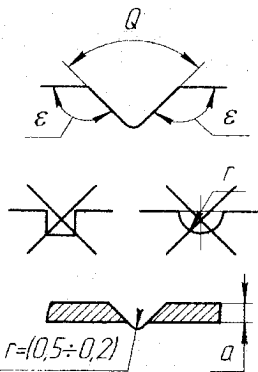


Рисунок 6.10 - Форма
стружкорозділювальних
канавки

різальних кромках стає таким, що дорівнює нулю і 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 зрізаного шару не повинна перевищувати певну величину. За практичними рекомендаціями ширина шару може бути

$$b = 1,5\sqrt{d}, \quad (6.7)$$

але не більшою 12-14 мм. Кількість стружкорозділювальних канавок повинна бути парним числом для можливості вимірювання діаметра протяжки мікрометром.

Оскільки при роботі 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 6.4). Це є характерною особливістю протяжок одинарного різання. Так, для круглих протяжок одинарного різання при обробці сталі [13]

$$a = 0,015 - 0,04 \text{ мм.}$$

Чавун не можна обробляти з такою малою товщиною зрізування, оскільки

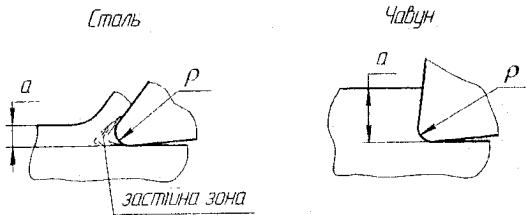


Рисунок 6.11 – Залежність товщини зрізування від властивостей оброблюваного матеріалу

тоді вона порівнянна з радіусом заокруглення різальної кромки ρ , процес різання стає неможливим (рис. 6.11). При різанні сталі стружкоутворення можливе навіть при $a/\rho <$ завдяки тому, що на передній поверхні утво

рюється застійна зона. Тому для круглих протяжок одинарного різання які обробляють чавун [13]:

$$a=0,03-0,10 \text{ мм.}$$

Але якщо одинарна протяжка через особливість конструкції деталі створює невелику ширину зрізування, то тоді з'являється можливість збільшити підйом на зуб. Наприклад, при обробці квадратних отворів і шпонкових пазів у сталевих деталях можна призначати a таким, що дорівнює 0,03-0,15 мм, а у 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 безстружкорозділювальних канавок. Стружка при цьому настільки тонка, що легко розривається на частини і вільно розміщується у пащині.

Зважаючи на те, що протяжки одинарного різання мають малий підйом на зуб, вони довші, ніж протяжки групового різання. Крім того, вони мають меншу стійкість у порівнянні із стійкістю протяжок групового різання внаслідок зношення на вершинах стружкорозділювальних канавок, збільшення сили різання при закручуванні стружки за наявності на стружці ребра шорсткості і при зменшенні товщини зрізування.

У протяжок групового різання усі зуби розділені на групи по два і більше. Висота кожного наступного зуба у групі менша від висоти попереднього на 0,02-0,04 мм (рис. 6.12 а):

$$d_{i+1} = d_i - (0,02, \dots, 0,04).$$

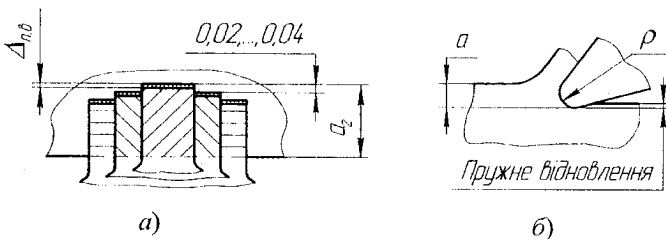


Рисунок 6.12 -- Залежність висоти зубів у групі від пружного відновлення

Це для того, щоб у разі пружної деформації матеріалу,

обробленого попереднім зубом групи (рис. 6.12 б), а також у разі надмірного зменшення його діаметра при переточуванні 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 зрізус шари однакової площі:

$$F = \pi da = \frac{\pi d}{z_2} a_2, \quad \text{то } a_2 = a \cdot z_2, \quad (6.8)$$

де a і a_2 - підйоми при одинарному і груповому різанні;
 z_2 - число зубів у групі.

Таким чином, товщина шару, який зрізується груповою 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. 6.6) зменшується. Тому кожний зуб протяжки групового різання буде працювати з меншою або з такою самою силою протягування Pz , зрізуючи при цьому шар з більшою площею, ніж зуб протяжки одинарного різання. По-друге, у результаті збільшення величини підйому на зуб різальної кромки протяжок групового різання зрізують метал на глибині під кіркою, завдяки чому вони краще зберігаються у процесі різання. Зокрема, на них менше діють різні сторонні поверхневі включення.

Практика показала, що вони у середньому виходять коротшими на 30% і мають стійкість у 2 рази 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. 6.8 б). Особливість їх конструкції така, що усувається небезпека пошкодження сусідніх зубів при шліфуванні стружко-розділювальних канавок, на допоміжних кромках зубів створюються задовільні задні кути, поліпшується тепло

відведення у процесі різання, зрізані шари не мають ребра жорсткості.

Коли у групі зубів більше, ніж три, то доцільно застосовувати так звані багатогранні протяжки. Викружки замінені прямолінійними гранями. Причому зуби у групі однакові за формою, але грані сусідніх зубів повернуті на деякий кут навколо поздовжньої осі. Ці протяжки мають такі самі переваги, що і протяжки з викружками. Але вони простіші у виготовленні, оскільки лиски (грані) меншої глибини, ніж викружки, і мають прямолінійну форму, виготовляються шліфуванням на прохід.

Проте при конструюванні протяжок групового різання (як з викружками, так і з лисками) необхідно дотримуватись умови, щоб підйом на зуб був меншим, ніж викружки або лиски.

Протяжки групового різання більш прогресивні і економічно вигідніші, тому застосування протяжок одинарного різання обмежується.

6.5 Методи утворення поверхонь протягуванням

Конструкція протяжок визначається не тільки схемою різання шарів, але також і методом утворення поверхонь протягуванням. Існують такі методи утворення профілю поверхні протяжками: метод подібності (або профільний), послідовний метод (або генераторний) і комбінований метод.

При методі подібності усі зуби протяжки мають форму, подібну до форми профілю остаточно обробленої поверхні (рис.6.13 а). Попередні зуби не беруть участі в остаточному формуванні профілю обробленої поверхні і лише видаляють відповідну масу матеріалу із заготовки. Остаточне ж формування профілю виконується останнім різальним і калібрувальним зубами.

Проте при обробці складних профілів метод подібності не раціональний, оскільки виготовляти складну і різну для кожного зуба форму різальної кромки досить складно. Тому такий метод застосовується тільки при обробці 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.

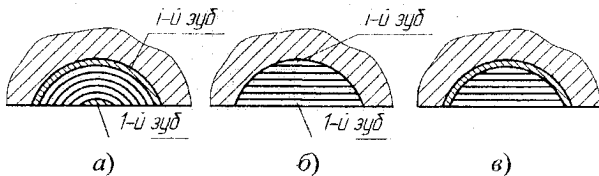


Рисунок 6.13 – Методи утворення поверхонь

На рис. 6.13 б показана схема обробки того самого напівкруглого паза послідовним методом протягування. Як видно з цієї схеми, усі зуби протяжки мають проміжний профіль, ідентичні з профілем окремих ділянок остаточно обробленої деталі. Тут кожний різальний зуб бере участь у формуванні профілю деталі. У результаті профіль виробу є сумою послідовних зрізів проміжками кромки кожного із зубів.

При виготовленні протяжок, що працюють за послідовним методом, усі зуби обробляються шліфувальним кругом одного профілю на прохід, що значно спрощує виготовлення цих протяжок у порівнянні з протяжками, які працюють за методом подібності. Але при застосуванні послідовного методу протягування на обробленій поверхні іноді створюються поздовжні риси унаслідок похибок виготовлення зубів протяжки, а також внаслідок пластичного витискування оброблюваного матеріалу вздовж різальних кромки.

Тому при високих вимогах до шорсткості поверхні застосовують комбінований метод утворення поверхні, який полягає у тому, що попереднє профілювання поверхні виконується послідовним методом, а останні два-три різальних і калібрувальних зуби зрізають шар по всьому контуру оброблюваної поверхні, тобто працюють за методом подібності (рис. 6.13 в). Тим самим усуваються недоліки послідовного і

профільного методів.

6.6 Чорнові зуби

Робоча частина протяжки складається з чорнових, чистових, калібрувальних і іноді ущільнювальних зубів.

Чорнові зуби зрізують основну масу металу, залишаючи для чистових зубів мінімальний шар. Кількість чорнових зубів протяжок одинарного різання визначається за формулою

$$z_q = \frac{A - A_{\text{чис}}}{a} + 1, \quad (6.9)$$

де A - загальний припуск на сторону на протягуванні, мм;
 $A_{\text{чис}}$ - 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 у 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 визначається за формулою

$$z_q = \frac{z_2 (A - A_{\text{чис}})}{a_2} + 0,5 \cdot z_2. \quad (6.10)$$

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 нереточувань;
- 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.

При зрізуванні 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 [13], що при протягуванні сталі протяжками із швидкорізальної сталі збільшення переднього кута з 5 до 15° підвищує стійкість протяжок на 20-25%. Зміна переднього кута у межах допуску на геометрію (2-3°) на силу різання, а відповідно і на стійкість протяжки істотно не впливає.

Рекомендовані значення передніх кутів при обробці різних матеріалів наведені у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - 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 у цілому. Проте створення великих передніх кутів на протяжках не завжди можливе, особливо при малих діаметрах протяжок, оскільки величина переднього кута пов'язана з діаметрами протяжки і шліфувального круга (рис. 6.14)

$$D_{ш} = \frac{D \sin(\beta - \gamma)}{\sin \gamma}, \quad (6.11)$$

де $D_{ш}$ - 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 при таких малих підйомах зуб протяжки контактує з металом у межах радіуса заокруглення зальної кромки ρ і зміна положення передньої поверхні ні до чого не призводить.

Вибір задніх кутів чорнових зубів протяжок обмежується тим, що при значних задніх кутах зуби протяжки швидко зтрачають робочі розміри при переточуванні, оскільки воно виконується по передній поверхні. Крім того, при великих задніх кутах зрізування при переточуванні шарів різної товщини на передній поверхні кожного зуба призводить до зміни на них підйому на зуб, що порушує режим роботи інструменту.

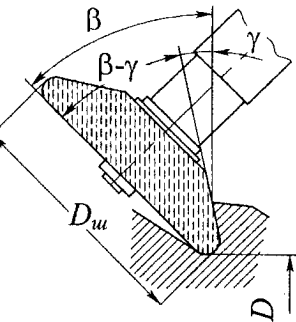


Рисунок 6.14 –

Заточування протяжок

Проте дуже малі задні кути призводять до збільшення тертя і налипання частинок металу (адгезії) на задній поверхні. Це спричиняє погіршення якості обробленої поверхні та зростання сили різання.

Тому на підставі експериментальних досліджень і аналізу практичних результатів рекомендуються такі значення задніх кутів для чорнових зубів: внутрішні - $\alpha=3^\circ$; зовнішні - $\alpha=3-4^\circ$.

Збільшення задніх кутів у зовнішніх протяжок пояснюються тим, що ці протяжки, як правило, мають пристрої для

регулювання секцій протяжок по висоті, що дозволяє компенсувати зменшення робочих розмірів протяжки при переточуванні. Внаслідок 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 0,05 мм з $\alpha = 0^\circ$.

Крок зубів протяжки визначається як відстань між сусідніми вершинами зубів, виміряна уздовж осі протяжки. За інших однакових умов, чим більший крок зубів протяжки, тим вона довша і дорожча і тим більший машинний час протягування. Тому треба, щоб крок протяжки був щонайменшим. Проте дуже малий крок чорнових зубів може зменшити розміри западини, а це унеможливує розміщення стружки і тим самим протягування деталі. Крок зубів є одним із 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 ставляться до конструкції даної протяжки.

Попереднє орієнтовне значення кроку визначається за емпіричними формулами:

для протяжок одинарного різання

$$t = (1,25, \dots, 1,5) \sqrt{l_0}; \quad (6.12)$$

для протяжок групового різання

$$t = (1,45, \dots, 1,9) \sqrt{l_0}, \quad (6.13)$$

де l_0 - довжина оброблюваного отвору.

З цих формул видно, 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 одночасно працюючих зубів за формулою

$$z = \frac{l_0}{t}. \quad (6.14)$$

Добре, коли одночасно контактують з 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 відрізується. Тому розміри канавки залежать перш за все від довжини оброблюваної поверхні і від товщини шару, що відрізується, тобто від підйому на зуб a .

Канавка не повинна надмірно послаблювати поперечний перетин протяжки. Навіть якщо міцність протяжки на розтягування буде достатньою, вона може виявитися недостатньо жорсткою. Це викличе труднощі при її виготовленні (при токарній, шліфувальній та інших операціях). Недостатня жорсткість протяжки може спотворити її при термічній обробці. 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, як правило, не лімітується їхньою міцністю і жорсткістю. Тому у зовнішніх протяжок розміри стружкових канавок визначаються тільки довжиною оброблюваної поверхні і підйомом на зуб.

Стружка, що відрізується з в'язких матеріалів, звичайно скручується у спіральний виток. Частина стружкової канавки, що заповнюється витком-стружкою, називається робочим об'ємом.

При обробці крихких матеріалів (чавун, бронза) стружка відрізується окремими елементами. Така стружка може заповнити стружкову канавку повністю, включаючи і її неробочий об'єм.

Форма стружкової канавки протяжки визначається такими

розмірами (рис. 6.15):

t - крок протяжки;

C - ширина задньої поверхні, звичайно вимірюється у напрямі осі протяжки;

γ - передній кут;

α - задній кут;

R - радіус спинки зуба;

η - кут спинки зуба (у протяжок із прямолінійною спинкою);

r - радіус перехідної дуги між передньою поверхнею і спинкою зуба (радіус дна канавки).

Розміри чорнових зубів залежно від кроку можна визначити за таблицями довідників. Проте усі ці розміри підраховані за такими залежностями [13]:

$$h \approx 0,42t; \quad R \approx 0,7t; \quad C \approx 0,33t; \quad r = 0,5h. \quad (6.15)$$

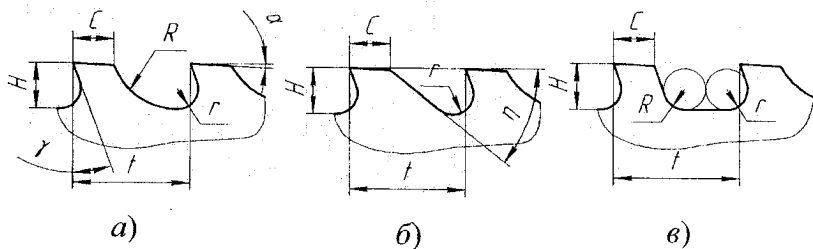


Рисунок 6.15 – Форми стружкових канавок

Для обробки пластичних матеріалів найкращою є стружкова канавка із спинкою зуба, обкресленою дугою кола (рис. 6.15 а). Така форма дає плавне сполучення дна канавки із спинкою, забезпечує добре формування стружки у щільний вал і збільшує об'єм канавки, не зменшуючи ширину спинки зуба і кількості переточувань протяжки.

При протягуванні крихких матеріалів може застосовуватися форма стружкової канавки з прямолінійною спинкою (рис. 6.15 б).

Для внутрішніх протяжок з великим кроком і малим діаметром (обробляється довгий отвір) рекомендується подовжена форма канавки для збільшення площі перетину по

ападині і створення достатнього об'єму стружкової канавки для розміщення стружки (рис. 6.15 в).

Стружка закручується у спіральний вал. Чим більший підйом зуба a , тим більший радіус закручування стружки ρ . Коли 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 канави. Після цього він починає ущільнюватися і заповнювати робочий простір канавки. Такий процес утворення витка називається вільним закручуванням, можливим при $\rho < r$.

Якщо початковий радіус закручування стружки ρ більший радіуса дна канави r , то канавка обмежує рух стружки. Остання ковзає по передній поверхні і по дну канавки, утворюючи спочатку виток з радіусом $\rho=r$. Наступні витки утворюються в середині першого витка, поступово заповнюючи робочий простір канавки. Такий процес утворення стружки називається примусовим.

Примусовий процес утворення стружкового вала дає більш швидке заповнення робочого об'єму канавки. Отже, при примусовому закручуванні можна призначати менші розміри стружкових канавок, у тому числі і кроку зубів, і тому протяжка швидша, ніж при вільному закручуванні стружки.

Але при дуже малому радіусі дна канавки стружка ковзає у 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 канави $r=0,5h$, то радіус для кожної глибини канавки є свій граничний підйом на зуб, при якому закручування стружки у спіральний вал відбувається нормально (табл. 6.3).

Робоча площа стружкової канавки в осьовому перетині F_k приблизно дорівнює площі круга з радіусом $r=0,5h$, $F_k=\pi r^2$. Ця площа порівнюється з площею осьового перетину шару, що різкується одним зубом, $F_c = a l_d$ (тут l_d - довжина протягнутої поверхні, a - підйом на зуб). Оскільки між витками стружки

існують зазори, то, природно, площа зрізаного шару F_k повинна бути меншою робочої площі канавки F_k . Відношення цих площ називається коефіцієнтом заповнення стружкової канавки і позначається буквою K .

Таким чином:
$$K = \frac{\pi h^2}{4al_0} = \frac{0,785h^2}{al_0} \quad (6.16)$$

Таблиця 6.3 - Граничні величини підйомів, при яких стружка закручується у спіральний вал (для сталі)

Ширина шару, що зрізується b , мм	Граничні підйоми на зуб a , мм, при глибині 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_0 задані, може бути визначена глибина канавки, достатня для розміщення стружки при вибраному підйомі a :

$$h_p \geq 1,13\sqrt{Kal_0} \quad (6.17)$$

Якщо глибина канавки уже вибрана з тих або інших міркувань, то може бути визначена гранична величина підйому a , допустима для такої канавки

$$a \leq \frac{0,785h^2}{Kl_0} \quad (6.18)$$

Величина коефіцієнта заповнення канавки K залежить від багатьох чинників - від схеми зрізування шарів металу (одинарна або групова), від оброблюваного матеріалу, підйому на зуб, ширини шару, кроку зубів і ін.

При одинарній схемі зрізування шарів на стружці утворюється ребро жорсткості від стружкорозділювальної канавки попереднього зуба (див. рис. 6.9), що утруднює згортання стружки у вал. Він менш цільний, 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 величина K призначається більшою, ніж для низьколегованих сталей. Для чавуну та бронзи і 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. З 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 при конструюванні 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 і 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 у табл. 6.4 наведені коефіцієнти заповнення канавки K для протяжок групового різання, які перевірені практикою при обробці сталі шириною шару, що зрізується $b = 1,2\sqrt{d}$, для різних підйомів на зуб і кроків зубів t .

Таблиця 6.4 - 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

6.7 Різноманітність конструктивних рішень

Протяжка - це дорогий та складний для виготовлення 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 тільки схемою зрізування припуску та методом утворення поверхні, а винахідливістю проектувальника. Звичайно складні поверхні, які утворюються протягуванням, розкладають на прості і для кожної такої складової проектують окрему секцію зубів. Наприклад [4], при обробці шліцьової втулки її поверхню розглядається як така, що має циліндричну ділянку, попарно паралельні площини, що утворюють шліцьові западини та фаски між ними. Тому проектується проста секція для створення фаски Φ , ще одна секція обробляє циліндричну поверхню із діаметром d як звичайна кругла протяжка K і, нарешті, третя секція

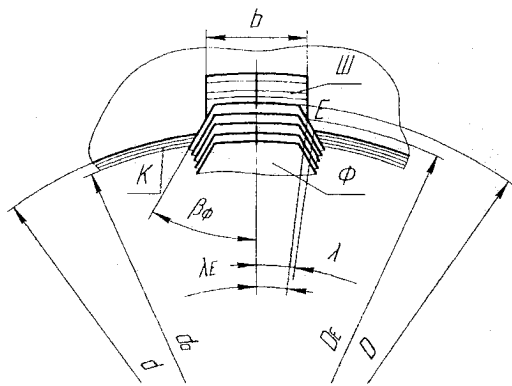


Рисунок 6.16 – Схема утворення шліцьової поверхні

робки простої поверхні. Тоді і процес конструювання протяжки для обробки шліцьової втулки це конструювання трьох протяжок: Φ , K та III .

створює шліцьові западини III (рис. 6.16). Таку послідовність можна позначити як Φ K - III . Проте вона може бути і іншою, залежно від способу центрування (точності виготовлення простих поверхонь) шліцьового з'єднання. Так конструкцію протяжки можна розглядати як комбінований інструмент, кожна складової якого призначена для об

Припуск для секції Φ визначається так:

$$\sin \lambda = \frac{b + 2f}{d} \quad (6.19)$$

Кут фаски $\beta_\phi = 45^\circ$, тоді

$$\text{ctg} \lambda_E \frac{(b + 2f) \text{ctg} \lambda + 2f \cdot \text{ctg} \beta_\phi}{b} \quad (6.20)$$

Діаметр кола D_E , яке проходить через точку перетину фаски з сторони шліца, дорівнює

$$D_E = \frac{b}{\sin \lambda_E} \quad (6.21)$$

Для гарантованого утворення фаски теоретичний діаметр станного зуба збільшують на 0,4 мм. Якщо попередньо оброблений для протягування отвір d_o , то припуск можна визначити як

$$A_\phi = D_E + 0,4 - d_o \quad (6.22)$$

Припуски для секцій K та Φ визначаються за формулами

$$A_K = d_{\max} - d_o; \quad A_{III} = D_{\max} - D_E \quad (6.23)$$

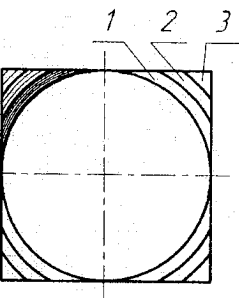


Рисунок 6.17 –
Конструювання
секцій з різним
підйомом на зуб

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 [15]. У протяжок для обробки багатограних отворів від зуба до зуба зменшується ширина різальної кромки. Внаслідок цього зменшується і навантаження. Якщо протяжку розділити на декілька секцій (рис. 6.17), на яких буде збільшуватися підйом на зуб, то тоді вирівнюються навантаження на зуби, а через збільшення a покращуються умови їх роботи. Площа зрізування у секціях 1, 2, 3 майже не змінюється.

6.8 Чистові і калібрувальні зуби

При роботі 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 -тому чистовому зубі дорівнює

$$a_z = \frac{a}{n^z},$$

де a – підйом чорнових зубів.

При цьому підйом на останньому чистовому зубі a_{\min} при шорсткості обробленої поверхні з $Ra = (2,5-12,5)$ повинен бути не більшим 0,02 мм, а при $Ra = (0,63-2,5)$ – не більшим 0,01 мм. За цією умовою можна визначити кількість чистових зубів

Якщо $\frac{a}{n^z} = a_{\min}$, то $n^z = \frac{a}{a_{\min}}$, і тоді

$$z_{\text{чус}} = \log_n \left(\frac{a}{a_{\min}} \right) = \frac{\ln \left(\frac{a}{a_{\min}} \right)}{\ln n}. \quad (6.24)$$

Припуск на чистову секцію визначається як

$$A_{\text{чус}} = a \sum_{i=1}^{z_{\text{чус}}} n^{-i}. \quad (6.25)$$

Припуск на калібрувальну секцію не признається. Ці зуби зрізують тільки те, що потрапляє у зону різання у результат пружного відновлення поверхні після проходження чистової секції.

Кількість калібрувальних зубів признають, виходячи із вимог до точності обробленої поверхні:

- 6-8-й квалітет – 7-5 зубів;
- 9-11-й квалітет – 4-3 зуби;
- 12-14-й квалітет – 3-2 зуби.

Крок чистових і калібрувальних зубів може бути такий, як і у чорнових. Але, починаючи із 10 мм та більше, його рекомендується зменшувати на 20%, що дозволяє зменшити довжину протяжки та підвищити кількість одночасно контактуючих з металом зубів.

Геометрія чистових і калібрувальних зубів має деякі особливості. Передній кут такий, як і у чорнових зубів (табл.6.2). Задній кут у чистових зубів $\alpha=2^\circ$, а у 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 рекомендується робити фаску шириною $f=0,2-0,3$ мм із заднім кутом $\alpha_f=0^\circ$. Допуски на діаметри чистових та калібрувальних зубів складають третину або чверть від допуску на відповідний розмір виробу. Максимальний розмір калібрувальних зубів дорівнює найбільшому граничному розміру обробленої поверхні.

6.9 Приєднувальна частина та довжина протяжки

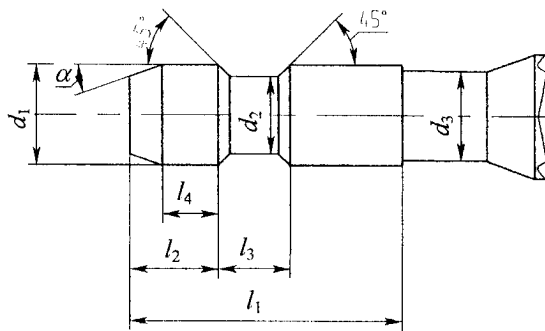


Рисунок 6.18 – Круглий хвостовик

Форма та розміри хвостовика залежать як від розмірів деталі, так і від приєднувального патрона на верстаті. Деякі розміри [10] круглих хвостовиків (рис.6.18) діаметром від 12 до 100 мм (ГОСТ 4044-70) наведені у табл.

6.5, плоских (рис. 6.19) - у табл. 6.6 (ГОСТ 4043-70).

Довжина протяжки повинна бути такою, щоб під час робочого ходу на вибраному верстаті (табл.6.7) вона повністю вийшла із 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.

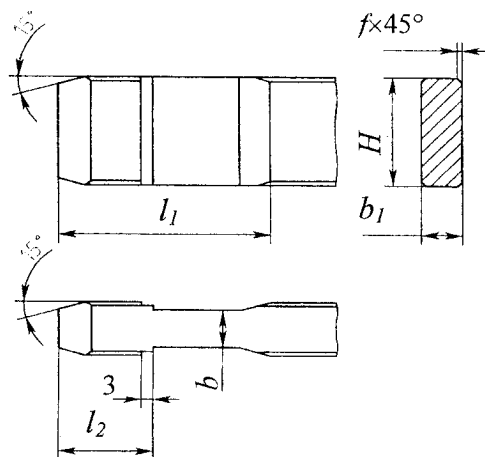


Рисунок 6.19 - Плоский хвостовик

Якщо це не так, то необхідно або замінити верстат, або розділити робочу частину спроектованої протяжки на декілька частин. Тоді уся протяжка буде мати вигляд комплекту протяжок, які за довжиною відповідають робочому ходу вибраного верстата.

Довжина робочої частини визначається як сума добутків кількості зубів і кроків відповідних секцій протяжки. Форма передньої

напрямної кожної наступної протяжки із комплекту відповідає формі поверхні, створеній попередньою протяжкою.

Таблиця 6.5 - 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									

Таблиця 6.6 – 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 6.7 - Тяглова сила P_g і довжина ходу протяжних верстатів

Модель верстата	Тяглова сила P_g , 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, 7705A	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

6.10 Послідовність проектування протяжки

При конструюванні протяжок розрахунок секції чорнових губів (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 вибирається той, який дає мінімальну довжину протяжки, достатню плавність роботи, меншу трудомісткість виготовлення (табл. 6.8). Тому

при розрахунках бажано використовувати спеціальні програми для ЕОМ або математичні пакети типу *Mathcad*.

Вихідними даними для розрахунку протяжки є габаритні розміри оброблюваної деталі і її форма; розміри і форма оброблюваної та обробленої поверхонь, допуски; припуск під протягування; матеріал оброблюваної деталі; шорсткість; параметри протяжного верстата та пристрою.

Таблиця 6. 8 – Алгоритм проектування протяжки

Номер	Назва етапу	Позначення, формули
1	2	3
1	Аналіз поверхні виробу, формування комбінованої протяжки для обробки 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)	Одинарна протяжка: $a=(0,015, \dots, 0,04)$ мм; $a=(0,03, \dots, 0,10)$ мм. Групова протяжка: $a_z = a \cdot z_z$
5	Визначити кількість зубів чистової секції	$z_{\text{чис}} = \frac{\ln\left(\frac{a}{a_{\text{min}}}\right)}{\ln n}$
6	Визначити припуск для чистової секції	$A_{\text{чис}} = a \sum_{i=1}^{z_{\text{чис}}} n^{-i}$
7	Розрахувати кількість зубів чорнової секції	Одинарна протяжка: $z_{\text{чорн}} = \frac{A - A_{\text{чис}}}{a} + 1.$ Групова протяжка: $z_{\text{ч}} = \frac{z_z (A - A_{\text{чис}})}{a_z} + 0,5 \cdot z_z$

1	2	3
8	Розрахувати крок зубів чорнової секції	Одинарна протяжка: $t = (1,25, \dots, 1,5) \sqrt{l_0}$. Групова протяжка: $t = (1,45, \dots, 1,9) \sqrt{l_0}$
9	Призначити форму стружкової канавки і розрахувати її конструктивні параметри	$h \approx 0,42t$; $R \approx 0,7t$; $C \approx 0,33t$; $r = 0,5h$
10	Перевірити глибину стружкової канавки за коефіцієнтом заповнення	$h_p \geq 1,13 \sqrt{Ka l_0}$, $h \geq h_p$
11	Розрахувати силу різання при протягуванні	$Pz = paz_{\max} \sum_{i=1}^n b_i$ $(z_{\max} = \frac{l_0}{t} + 1, p \text{ із табл. 6.1})$
12	Визначити довжину і діаметр шийки	$l_{ш} = l_{cm} + l_k + l_0 - l_{нк} - l_{ш} +$ $+(5, \dots, 30), d_{ш}$
13	Розрахувати протяжку на міцність у перетинах 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)	$\sigma = \frac{Pz}{F} < [\sigma]$
14	Визначити довжину задньої напрямної	$l_{zn} = 74,8 - \frac{1,4 \cdot 10^3}{l_0}$
15	Визначити довжину передньої напрямної	$l_{mn} = (1, \dots, 0,75) l_0$
16	Визначити довжину напрямного конуса	$l_{нк} = (10, \dots, 20) \text{ мм}$
17	Призначити геометрію зубів протяжки	α, γ
18	Призначити кроки чистових і калібрувальних зубів	$t_{чис}, t_k$

Продовження таблиці 6.8

1	2	3
19	Призначити кількість калібрувальних зубів	z_k
20	Визначити довжину робочої частини	$l_p = \sum (l_{\psi} + l_{\text{инс}} + l_k)$
21	Вибрати модель верстата	$Pz < P_a ; L_x > l_p + l_{\text{ин}} + l_d$
22	Визначити форму і розміри хвостовика	$l_{\text{хв}} = l_1, (l_2, l_3, l_4, d_1, d_2, d_3 \text{ або } b, b_1, H, l_2)$
23	Визначити повну довжину протяжки	$L = l_{\text{хв}} + l_{\text{ин}} + l_{\text{инк}} + l_{\text{ин}} + l_p + l_{\text{ин}} + l_{\psi}$

6.11 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. 6.15) з допусками, що забезпечують обробку відповідно до креслення деталі.

Зверху повинна бути таблиця, у якій записуються розміри зубів, допуски на них та значення заднього кута (табл. 6.9).

Розміри центрувальних отворів - відповідно до ГОСТ 14034-68. При діаметрі хвостовика 14 мм і більше приєднувальну частину виготовляють із конструкційної сталі. Зварювальний шов повинен бути на шийці.

Таблиця 6.9 – Приклад запису даних на кресленні протяжки

Секції	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, показати умовними позначеннями на кресленні. Їх значення визначають як 0,33–0,25 допусків відповідних розмірів деталі.

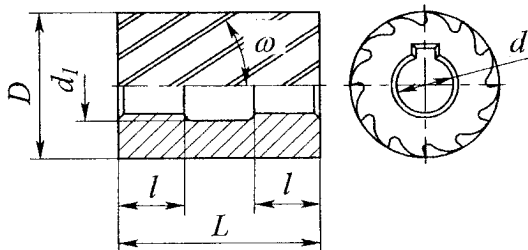
На кресленні необхідно також записати:

- марку інструментальної сталі (високолегованої, марки із ГОСТ 9373-60 або ХВГ з ГОСТ5950-63);
- приєднувальна частина зварених протяжок із сталі 40Х з ГОСТ 4543-61;
- твердість робочої частини, HRC 62-65;
- твердість приєднувальної частини, HRC 40-47;
- маркування;
- гострі неробочі кромки повинні бути затушлені;
- зуби не повинні мати задирок, завалів та викришених кромок;
- робоча частина не повинна мати зон із заниженим вмістом вуглецю зі зниженою твердістю.

7 ЦИЛІНДРИЧНІ ФРЕЗИ

7.1 Конструктивні елементи

Циліндричні фрези належать до групи фрез із загостреними зубами. Їх конструктивні елементи (рис. 7.1) - це зовнішній



діаметр D , довжина L , діаметр приєднувального отвору d , кількість зубів z , кути тіла зуба ω , западини, форма зуба та геометрія зуба.

Рисунок 7.1 – Основні розміри циліндричної фрези

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 застосовується емпірична формула [10], що враховує усі ці чинники:

$$D = 0,2B^{0,26}t^{0,09}Sz^{0,06}l^{0,78}y^{-0,26}, \quad (7.1)$$

де Sz – подача на зуб;

l – відстань між опорами оправки;

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

У більшості випадків основними елементами, що визначають діаметр фрези, є діаметр приєднувального отвору та глибина фрезерування [13]. Для визначення зовнішнього діаметра при відомій висоті зуба можна скористатися залежністю

$$D_1 = (1,6, \dots, 2,5)d, \quad (7.2)$$

де D_1 - діаметр кола западин;

d - діаметр приєднувального отвору.

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

Діаметр приєднувального отвору визначається відповідно до силового навантаження під час фрезерування та механічних властивостей матеріалу оправки. Співвідношення між ним та зовнішнім діаметром наведені у табл. 7.1, а також його можна визначити за емпіричною формулою

$$d = D/2,5. \quad (7.3)$$

Діаметр виточки дорівнює

$$d_1 = d + 2. \quad (7.4)$$

Таблиця 7.1 – Рекомендовані співвідношення між зовнішнім та приєднувальним діаметром 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

Для фрез із дрібними зубами, призначених для чистової обробки, розміри отворів можна взяти меншими, ніж для фрез з великими зубами. Для фрез, оснащених твердим сплавом (вони працюють при високих швидкостях різання), розміри отворів повинні бути більшими, ніж для швидкорізальних.

Кількість зубів фрези впливає на процес різання. Із збільшенням зубів зменшується шорсткість обробленої поверхні. Але при цьому збільшуються робота різання і виділення тепла. Це знижує стійкість інструменту, а коли стійкість повинна залишатися незмінною, то зменшують швидкість різання. При призначенні числа зубів необхідно керуватися також і вимогами до конструкції фрези з точки зору розміщення стружки (рис. 7.2). Для фрез із великою кількістю зубів важко забезпечити достатній простір для стружки, що викликає пресування її у западинах між зубами. Такі фрези допускають меншу кількість переточувань. Виготовлення і експлуатація їх дорожчі. Форма зубів при великій їх кількості не

може бути оптимальною з погляду на міцність, кількість переточувань, розміщення стружки. Фрези з дрібними зубами застосовуються в основному для остаточної обробки, тобто для зняття тонкого шару металу. Тому краще взагалі відмовитися від застосування фрез із дрібними зубами і домагатися необхідної якості оброблюваної поверхні іншими шляхами.

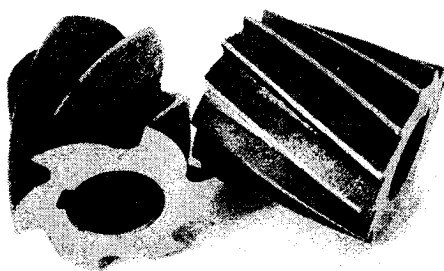


Рисунок 7.2— Циліндричні фрези з великими та дрібними зубами

Кількість зубів для фрез із загостреними зубами завжди призначається парним для полегшення вимірювання по діаметру. Вона залежить від діаметра фрези, форми і розмірів зубів і западин, характеру обробки (чорнова або чистова). У стандартах наведені рекомендовані кількості зубів залежно від діаметра фрези.

При виборі кількості зубів необхідно передбачити умову рівномірності фрезерування [13]. Для фрез із прямими зубами вона забезпечується, якщо у роботі одночасно беруть участь не менше двох зубів, тобто

$$z = \frac{360\xi}{\varphi}, \quad (7.5)$$

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

φ – кут контакту, визначається залежно від зовнішнього радіуса фрези і глибини різання,

$$\cos \varphi = 1 - \frac{l}{R}. \quad (7.6)$$

Коефіцієнт рівномірності $\xi = \frac{\varphi}{\varepsilon}$, а $\varepsilon = \frac{360}{z}$ – кут кроку зубів.

Найбільша нерівномірність буде при ξ , який дорівнює 1,5; 2,5; 3,5 і т.п., яка поступово зменшується з наближенням ξ до цілого числа (1, 2, 3 і т.д.).

При роботі фрези з гвинтовими зубами зміна перетину стружки вздовж різальної кромки зуба викликає різкі зміни

навантаження, що спричиняє поштовхи, удари, вібрацію. Проте завдяки вибору відповідних умов можна досягти постійності сумарного перетину стружки на всіх одночасно працюючих зубах, незважаючи на те, що кожний із цих зубів має змінний перетин. У результаті цього сумарна окружна сила і крутний момент також будуть постійними, і фреза працюватиме рівномірно.

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

$$\xi = \frac{Bz}{\pi D \operatorname{ctg} \omega}. \quad (7.7)$$

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

$$\omega = \arctan \left(\frac{\xi \pi D}{Bz} \right). \quad (7.8)$$

Відповідно до формули (7.7) для покращення коефіцієнта рівномірності 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 , z , ω). Тому для них призначають коефіцієнт $\xi = 2-3$, при якому різниця між максимальним і мінімальним значеннями сил різання доходить до 20%.

Форма зубів і западин. Вибір кількості зубів впливає на форму, розміри зуба і западини. Стружкові канавки мають велике значення для кожного інструменту і особливо для того, який працює в обмежених умовах. Об'єм западини, її профіль, плавність сполучень повинні бути такими, щоб утворена

стружка не захарашувалася і не запресовувалася у западині, а вільно виходила сама чи з допомогою охолоджувальної рідини. Цьому сприяє не тільки правильна форма стружкової канавки, але і шорсткість її поверхні.

У більшості випадків інструменти ламаються через затискання стружки в канавках. При конструюванні фрез особливу увагу необхідно звернути на елементи, які впливають на розміри стружкових канавок. Крім форми спинки, такими елементами є висота зуба і радіус заокруглення западини. Форма зубів і западин повинна забезпечити міцність зубів, сприяти утворенню найбільшого простору для стружки та найкращому її відведенню, допускати найбільшу кількість переточувань, запобігати появі тріщин при термічній обробці.

Для загострених фрез поширеною є форма у вигляді трапеції (рис. 7.3 а). Вона в основному застосовується для фрез, призначених для чистової обробки. Заточують такі фрези по задній поверхні, унаслідок чого 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 при заточуванні. Ширина фаски $f = 0,5-2,0$ мм.

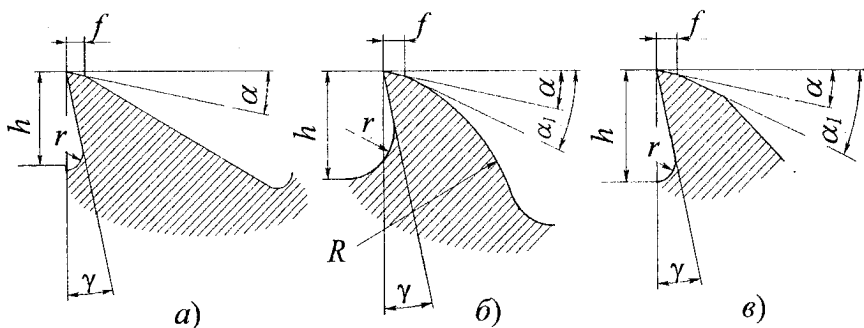


Рисунок 7.3 – Форми загострених зубів

Для циліндричних фрез найбільш придатним є зуб із заокругленою спинкою (рис. 7.3 б). Якщо розглядати зуб як балку однакового опору, то форма його повинна бути окреслена

параболою. Висота зуба h призначається у межах (0,3-0,45) від кроку по колу. Для кращого розміщення і сходження стружки радіус заокруглення r знаходиться у 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 окреслюється по дузі кола радіусом R , який залежить від кількості зубів і приблизно дорівнює (0,3-0,45) діаметра фрези. При виборі його необхідно враховувати, щоб дотична у точці сполучення дуги радіуса 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 при переточуваннях. Фрезерування канавок у цих фрез здійснюється спеціально спроектованою фрезою за один прохід. Форма зуба забезпечує прийнятну кількість переточувань. При цьому простір для розміщення стружки достатній.

Дугу радіуса R можна замінити ламаною лінією (рис. 7.3 в). Така форма створюється при подвійному фрезеруванні. Спочатку западина фрезерується кутовою фрезою, а потім спинка зуба зрізується циліндричною фрезою під кутом α_1 , який дорівнює 20-30°. У результаті цього зуб на вершині формується під двома кутами: α - задній кут, α_1 - кут спинки. Такі фрези потребують простого інструменту для створення стружкової канавки. Всі інші конструктивні параметри зуба такі самі, як у зуба із заокругленою спинкою.

Зуб заточується до гостроти або із залишенням невеликої стрічки близько 0,02-0,03 мм. Наявність стрічки полегшує вимірювання діаметра фрези і биття вершин її зубів.

За співвідношенням діаметра і кількості зубів циліндричні фрези поділяються на фрези з великими та дрібними зубами. Відповідно до цього рекомендуються конструктивні параметри зубів (табл.7.2).

Довжина фрези L призначається залежно від ширини фрезерування відповідно до стандартного ряду: 40, 50, 63, 80,

100, 125, 160. При цьому довжина приєднувальної поверхні (див. рис. 7.1) розраховується за емпіричною формулою

$$l = 0,22L + 1. \quad (7.9)$$

Отримане значення l округлюють до цілого числа.

Таблиця 7.2 – конструктивні параметри зубів циліндричних фрез

Тип	З дрібними зубами					З великими зубами			
	40	50	63	80	100	50	63	80	100
D	40	50	63	80	100	50	63	80	100
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

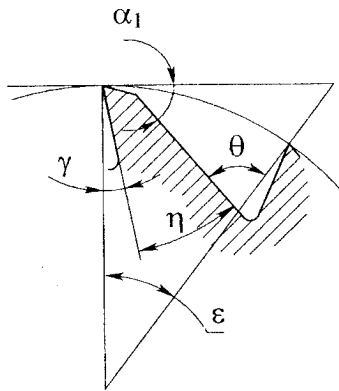


Рисунок 7.4 – Кути тіла зуба та западини

Міцність зуба і простір для розміщення стружки разом з іншими параметрами (ширина зуба, кількість зубів, глибина западини) характеризуються кутами η і θ (рис. 7.4). Для загострених монолітних фрез кут η не повинен бути меншим $47-52^\circ$, і лише у виняткових випадках він може бути у межах $30-40^\circ$. Кут η можна визначити як

$$\eta = 90 - \gamma - \alpha_1. \quad (7.10)$$

При конструюванні нових фрез і при аналізі фрез, зображених на робочих кресленнях, щоб уникнути поломки зубів, необхідно перевірити кут η .

Кут θ визначається за формулою

$$\theta = \gamma + \eta + \epsilon. \quad (7.11)$$

7.2 Геометрія зубів

Зуб фрези обмежений робочими поверхнями, положення яких у просторі визначається геометрією.

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

Основне призначення *переднього кута* γ полягає у зменшенні роботи, що витрачається на пластичну деформацію стружки, яка видаляється у процесі різання. Він призначається залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів (табл. 7.3).

Таблиця 7.3 – Рекомендовані значення переднього кута γ°

Оброблюваний матеріал		Матеріал леза	
		Швидкорізальна сталь	Твердий сплав
Сталь при 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)

7.3 Послідовність розрахунків

Залежно від наявних вихідних даних розрахунок циліндричної фрези виконується в децю 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.

7.4 Робоче креслення

На робочому кресленні повинна бути зображена циліндрична фреза (див. рис. 7.1) з усіма розмірами, допусками на них та зазначена шорсткість кожної поверхні. Повинні бути параметри зубів (див. рис. 7.3) 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 заниженим вмістом вуглецю із зниженою твердістю.

8 ЧЕРВ'ЯЧНІ ФРЕЗИ

8.1 Зуборізальні фрези

Процес утворення черв'ячною фрезою профілю зубів колеса аналогічний процесу зчеплення нарізованого колеса з черв'яком. Формоутворення базується на огинанні послідовних положень різальної кромки при коченні без ковзання центроїди інструменту по центроїді деталі. Центроїди оброблюваної деталі і інструменту не матеріальні, а уявні, і взаємне їх кочення забезпечується кінематикою верстата. Крім руху огинання, для обробки необхідний рух різання. Він створюється обертанням черв'ячної фрези. Відповідно до умов зчеплення фреза і нарізоване 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 фрези роблять поздовжні, звичайно гвинтові, канавки для утворення передніх поверхонь зубів і різальних кромки, а задні

поверхні створюють затилюванням (рис. 8.1). Відомо, що для правильного зчеплення косозубих коліс їх зуби повинні правильно зчеплюватися з однією і тією самою зубчатою рейкою. Для цього необхідно, щоб у перетині, нормальному до напрямку зубів рейки, у обох коліс були рівні

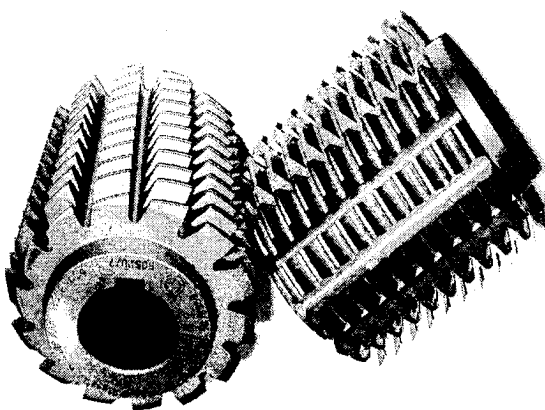


Рисунок 8.1 — Черв'ячні фрези

проки і кути профілю. Отже, і фреза у перетині, 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 ділильному циліндру (рис. 8.2). Головка зуба фрези h_1 має таку саму висоту, як і ніжка зуба нарізаного колеса. Звичайно $h_1 = 1,25m$ і $h_2 = 1,25m$.

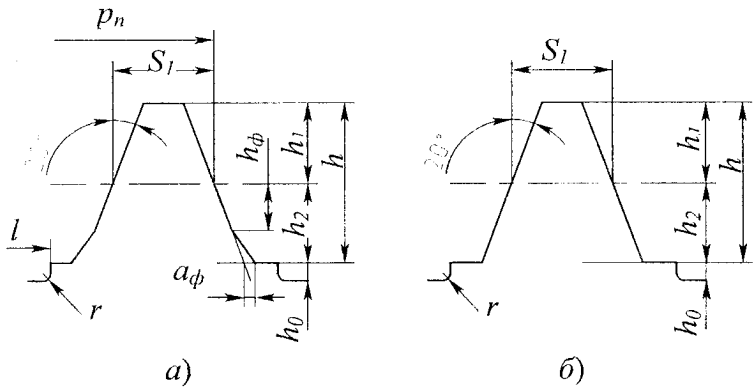


Рисунок 8.2 – Розміри профілю зубів фрези для коліс:
а) зі зрізаною вершиною б) з незрізаною вершиною

Товщина зуба S_l дорівнює ширині западини колеса. Найменша товщина зуба колеса по хорді визначається з урахуванням допуску на виготовлення та припуску на шліфування:

$$S_{k \min} = \frac{\pi m}{2} - E_{cs} - T_c + \Delta, \quad (8.1)$$

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

$$S_l = \pi m - S_{k \min}. \quad (8.2)$$

У фрез 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 при цьому спотворюється профіль нарізаного колеса. Тому звичайно призначають передній кут таким, що дорівнює нулю, а фрези з позитивним значенням переднього кута використовуються тільки для

допередньої обробки. Задній кут на вершині утворюється завдяки затилуванню зубів по архімедовій спіралі. Величина затилування визначається як

$$k = \frac{\pi D_e}{z_{\phi}} \operatorname{tg} \alpha_e, \quad (8.3)$$

де D_e - зовнішній діаметр;
 z_{ϕ} - кількість зубів фрези;
 α_e - задній кут на вершині.

Шліфувальний круг не може обробити усю задню поверхню зуба. Щоб нешліфована частина не виступала над шліфованою, її зрізують (рис. 8.3), затилуючи з більшим значенням коефіцієнта затилування

$$k_1 = (1,5, \dots, 1,75) k. \quad (8.4)$$

Фрези бувають загального призначення, прецизійні та складені. Відповідно до цього рекомендують [4, 13] призначати такі зовнішні діаметри D_e та кількості зубів z_{ϕ} (табл. 8.1).

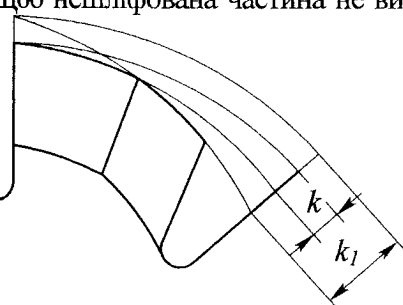


Рисунок 8.3 – Зуб із подвійним затилуванням

Таблиця 8.1 – 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

Буртики мають ширину l_1 , що дорівнює 3-5 мм та діаметр d_1 , на 1-2 мм менший від кола, яке дотичне до дна стружкової канавки (рис. 8.4). Глибина стружкової канавки дорівнює

$$H = h_1 + h_2 + \frac{k + k_1}{2} + h_0, \quad (8.5)$$

де k і k_1 - величини першого та другого затилування.

Діаметр приєднувального отвору можна визначити за формулою

$$d = (0,20, \dots, 0,45) D_e. \quad (8.6)$$

Кут піднімання витків фрези по ділильному циліндру діаметром D_t визначається як $\operatorname{tg} \tau = \frac{p_0}{\pi D_t}$. Враховуючи, що

$$p_0 = \frac{P_n}{\cos \tau}, \text{ отримуємо}$$

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{P_n}{\pi D_t \cos \tau} \text{ або } \sin \tau = \frac{P_n}{\pi D_t} = \frac{m}{D_t}.$$

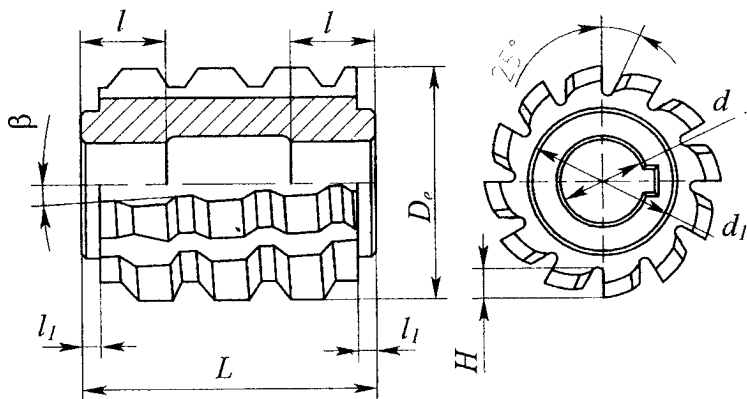


Рисунок 8.4 – Габаритні розміри фрези

При нарізуванні зубчастих коліс кут τ не повинен бути більшим 3° . Через те, що стружкова канавка проходить нормально до витків черв'яка, кут її нахилу такий, як і кут підйому витків черв'яка, тобто $\beta = \tau$.

Для того щоб витки фрези і зуби колеса контактували з однією просторовою рейкою, вісь фрези повинна бути встановлена під кутом τ до нормального перетину рейки, а отже, і колеса. Наприклад, якщо у прямозубого колеса нормальний до напрямку зуба перетин збігається з торцем, то вісь фрези для його обробки встановлюється під кутом τ до торця колеса.

Довжина фрези переважно залежить від зовнішнього діаметра та модуля нарізаного колеса. Половина робочої частини не повинна бути меншою від відрізка EC (рис. 8.5), довжина якого визначається як

$$EC = \sqrt{R_{ek}^2 - (R_{ek} - h)^2} = \sqrt{(2R_{ek}h)h}.$$

Практика довела, що при встановленні інструменту на верстаті його необхідно періодично зсувати вздовж оправки. Це дозволяє подовжити термін експлуатації і тим самим зменшити складову витрат на інструмент у собівартості деталі. Крім того, треба 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

4-5 разів. З урахуванням довжини буртиків маємо

$$L = 10\sqrt{(2R_{ek} - h)h} + 2l_1. \quad (8.7)$$

8.2 Фрези для шліцьових валів

Метод огинання використовується не тільки для обробки зубчастих коліс з евольвентним профілем, але застосовується і для обробки 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, зубчаті рейки і т. ін.

При аналітичному визначенні конструктивних параметрів черв'ячної фрези для обробки шліцьового вала, розміри його профілю є вихідними даними. При цьому необхідно враховувати

допуски на розміри деталі і специфічні умови обробки за методом огинання (рис. 8.6).

Зменшення розрахункового зовнішнього діаметра проти фактичного спричиняє відповідне зменшення розрахункового діаметра початкового кола обробки, що може позначитися на

+

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

$$D_p := D + esD - 2 \cdot f \quad d_p := d + eid + 0.25 \cdot |esd - eid|$$

$$b_p := b + eib + 0.25 \cdot |esb - eib| \quad r := 0.5 \cdot \sqrt{D_p^2 - 0.75 \cdot b_p^2}$$

$$h := r - \frac{d_p}{2} \quad \gamma := \arcsin \left[\frac{b_p}{(2 \cdot r)} \right]$$

Рисунок 8.6 – Розміри вала для розрахунку у Mathcad

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 у розрахунках використовується коло, яке проходить через граничну точку прямолінійної ділянки профілю (початок фаски) або через центр заокруглення

$$D_p = D_{\max} = D + es - 2f. \quad (8.8)$$

Враховуючи можливість розбиття профілю деталі при обробці, розрахункові розміри діаметра кола западин і ширину шліца беруть у межах допуску на їх виготовлення:

$$d_p = d_{\min} + 0,25Td; \quad (8.9)$$

$$b_p = b_{\min} + 0,25Tb, \quad (8.10)$$

де Td та Tb - відповідно допуски на виготовлення d і b .

Радіус початкового кола визначається за формулою

$$r = 0,5\sqrt{D_p^2 - 0,75b_p^2}. \quad (8.11)$$

Висота ніжки шліца

$$h = r - \frac{d_p}{2}. \quad (8.12)$$

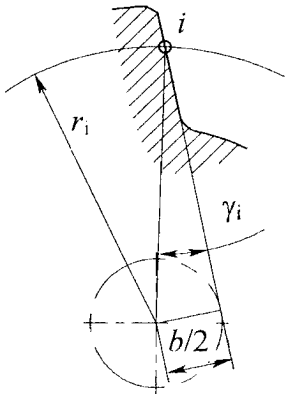


Рисунок 8.7 - Кут профілю шліцьового вала

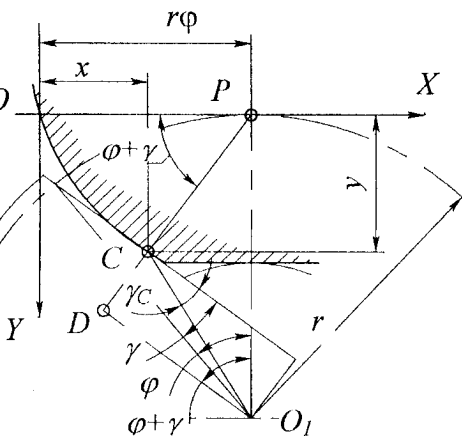


Рисунок 8.8 - Визначення профілю зуба фрези

Прямолінійний профіль деталі визначається кутом профілю γ (рис. 8.7) між прямою профілю і радіусом, проведеним у дану точку. Для різних точок одного профілю кути профілю різні. Для вала з паралельними шліцями можна записати

$$\sin \gamma_i = \frac{b}{2r_i}. \quad (8.13)$$

Профіль зуба фрези визначається у прямокутній системі координат XOY , пов'язаній з інструментом [10] (рис. 8.8). Вісь абсцис направлена по початковій прямій фрези, а початок координат знаходиться у

точці перетину профілю зуба фрези з початковою прямою. Вісь ординат перпендикулярна до початкової прямої і направлена у бік центра деталі. Вихідним є положення, коли профілі деталі та інструменту контактують у полюсі P . При цьому початок координат також знаходиться у точці P .

Довільне положення профілю деталі визнача-

ється 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

$$x = r\varphi - PC \cdot \cos(\varphi + \gamma);$$

$$y = PC \cdot \sin(\varphi + \gamma).$$

Відстань PC від полюса до точки профілізації (рис.8) дорівнює різниці відрізків PD і CD :

$$PC = r \sin(\varphi + \gamma) - r \sin \gamma.$$

Тоді

$$x = r \left\{ \varphi - [\sin(\varphi + \gamma) - \sin \gamma] \cos(\varphi + \gamma) \right\}; \quad (8.14)$$

$$y = r [\sin(\varphi + \gamma) - \sin \gamma] \sin(\varphi + \gamma). \quad (8.15)$$

Сума кутів $\varphi + \gamma$ визначається так. Відрізок DO_1 (рис.8.8) дорівнює

$$DO_1 = r_c \cos \gamma_c,$$

де r_c – радіус кола із центром у точці O_1 , яке проходить через точку C ;

γ_c – кут профілю у довільній точці C .

Із трикутника DO_1P маємо

$$\varphi + \gamma = \arccos\left(\frac{DO_1}{r}\right) = \arccos\left(\frac{r_c}{r} \cos \gamma_c\right). \quad (16)$$

Координати x та y визначаються при зміні значень φ у межах, які 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 [10] з координатами $A_0(x_0, y_0)$; $A_1(x_1, y_1)$ і $A_2(x_2, y_2)$ (рис. 8.9). 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

$$r_1 = r - 0,5h, \quad (8.17)$$

а точка A_2 контактує на колі з радіусом

$$r_2 = r - 0,9h. \quad (8.18)$$

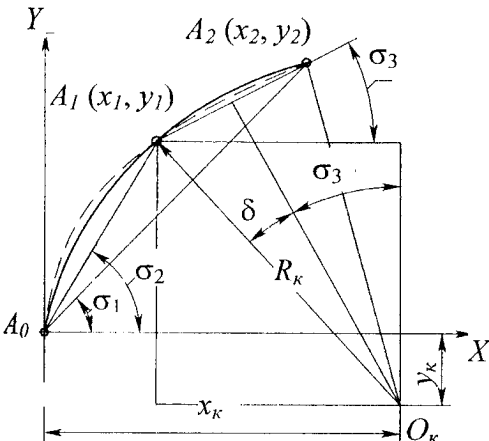


Рисунок 8.9— Заміна кривої профілю дугою кола

A_1A_2 дорівнює

$$A_1A_2 = \frac{y_2 - y_1}{\sin \sigma_3}$$

На підставі цього визначається (рис. 8.10) радіус замінного кола та координати його центра:

$$R_k = \frac{A_1A_2}{2 \sin \delta} = \frac{y_2 - y_1}{2 \sin \delta \sin \sigma_3}; \quad (8.19)$$

$$x_k = R_k \sin(\sigma_3 + \delta) + x_1; \quad y_k = y_1 - R_k \cos(\sigma_3 + \delta). \quad (8.20)$$

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 . Координати їх визначають за формулами для розрахунку

Кут між хордами, що з'єднують ці точки, та віссю x дорівнюють

$$\sigma_1 = \arctg \left(\frac{y_1}{x_1} \right);$$

$$\sigma_2 = \arctg \left(\frac{y_2}{x_2} \right);$$

$$\sigma_3 = \arctg \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right).$$

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

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 замінювання.

$$\Delta = F - R_k. \quad (8.21)$$

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

$$r_1 := r - 0.5 \cdot h \quad \gamma_1 := \arcsin \left[\frac{bp}{(2 \cdot r_1)} \right] \quad \alpha_1 := \arccos \left(\frac{r_1 \cdot \cos(\gamma_1)}{r} \right)$$

$$x_1 := r \cdot (\alpha_1 - \sin(\alpha_1) \cdot \cos(\alpha_1) - \gamma + \sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha_1))$$

$$y_1 := r \cdot (\sin(\alpha_1) \cdot \sin(\alpha_1) - \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha_1))$$

Координати другої точки на профілі

$$r_2 := r - 0.9 \cdot h \quad \gamma_2 := \arcsin \left[\frac{bp}{(2 \cdot r_2)} \right] \quad \alpha_2 := \arccos \left(\frac{r_2 \cdot \cos(\gamma_2)}{r} \right)$$

$$x_2 := r \cdot (\alpha_2 - \sin(\alpha_2) \cdot \cos(\alpha_2) - \gamma + \sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha_2))$$

$$y_2 := r \cdot (\sin(\alpha_2) \cdot \sin(\alpha_2) - \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha_2))$$

Параметри замінного кола

$$\sigma_1 := \operatorname{atan} \left(\frac{y_1}{x_1} \right) \quad \sigma_2 := \operatorname{atan} \left(\frac{y_2}{x_2} \right) \quad \sigma_3 := \operatorname{atan} \left[\frac{(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} \right] \quad \delta := \sigma_1 - \sigma_2$$

$$R_k := \frac{(y_2 - y_1)}{(2 \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\sigma_3))} \quad x_k := R_k \cdot \sin(\sigma_3 + \delta) + x_1$$

$$y_k := y_1 - R_k \cdot \cos(\sigma_3 + \delta)$$

Рисунок 8.10 – 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 поверхні та на вершині зуба перетинаються (рис. 8.11). 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 шліцевого вала. Таке конструктивне доопрацювання профілю зуба дозволяє отримати фрезу без «вусиків» (рис. 8.12) та фрезу з «вусиками» (рис. 8.13). Фреза без «вусиків» застосовується для виготовлення валів за виконанням *B* та *C*, а фреза з «вусиками» утворює вали виконання *A* (рис. 8.14).

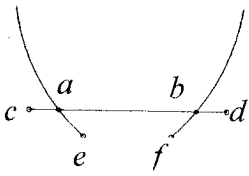


Рисунок 8.11 – Повний профіль зуба

Розміри профілю зубів фрези у перетині, нормальному до її

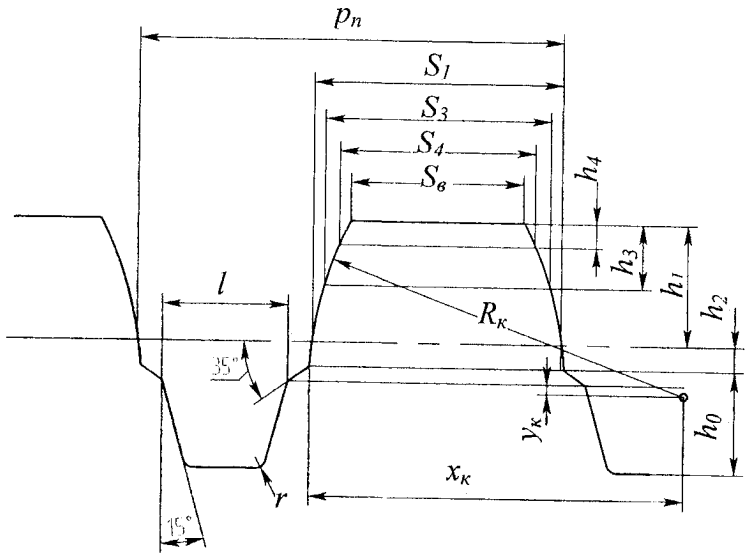


Рисунок 8.12 – Параметри профілю зубів фрези без «вусиків»

вусиків, дорівнюють розмірам профілю рейки, пов'язаної з профілем оброблюваної деталі. У цьому перетині (рис. 8.12, 8.13) крок зубів фрези p_n дорівнює кроку по початковому колу

деталі $p_n = \frac{2\pi r}{z}$. Тут z – кількість шліців; r – радіус початкового кола виробу. Ширина зуба фрези по початковій прямій дорівнює ширині западини профілю деталі S .

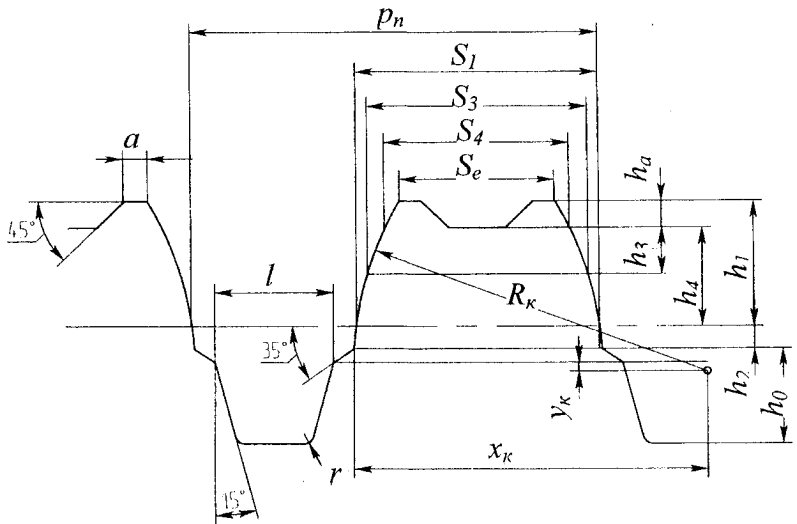


Рисунок 8.13 – Параметри профілю зубів фрези з «вусиками»

Зовнішнє коло зубів фрези обмежується паралельною до початкової лінії прямою, дотичною до внутрішнього кола оброблюваного профілю деталі.

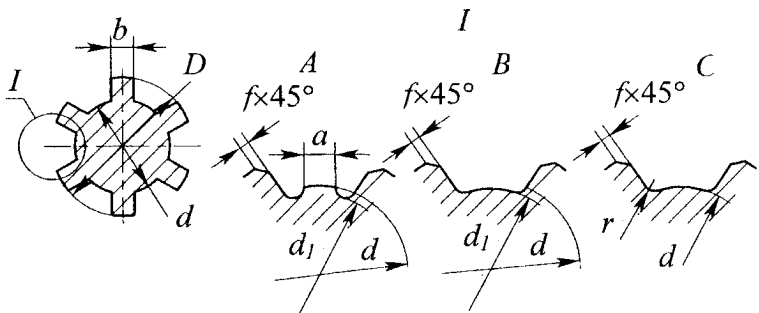


Рисунок 8.14 – Основні розміри шліцевого вала

Зовнішній циліндр деталі цими черв'ячними фрезами не обробляється, 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 звичайно дорівнює 35° (рис. 8.12, 8.13).

Для полегшення шліфування профілю зубів і розвантаження вершини круга у фрез зі шліфованим профілем на дні западини робиться затилована канавка шириною l . У фрез з нешліфованим профілем канавку можна не робити. Бічні поверхні канавки можуть бути паралельними або під кутом 15° .

На кресленні профілю зуба фрези у нормальному перетині показують товщину зуба по початковій прямій S_1 , на зовнішньому діаметрі S_e , висоту головки зуба h_1 , ніжки зуба h_2 , у 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 використовуються при контролі. 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. 8.15)

$$h_i = h - y_i; S_i = S_1 - 2x_i,$$

де x_i , y_i – абсциса і ордината i -ї точки теоретичної кривої профілю.

Точка профілю зуба фрези, що лежить на початковій прямій, пройде у 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

$$S_1 = 2r \left(\frac{\pi}{z} - \gamma \right). \quad (8.22)$$

Виміряти з великою точністю товщину зуба на вершині важко. Тому при одному замінному колі у фрез без «вусиків» вказують S_4 на відстані $h_4 = 0,3 - 0,4$ мм, а у фрез з «вусиками»

на висоті вусика h_4 . Коли використовують два кола, тоді розміри в останній точці (на вершині) не контролюють.

Товщина зуба по ділильному колу та крок по нормалі

$$S1 := \left(\frac{\pi}{z} - \gamma \right) \cdot 2 \cdot r \quad p_n := 2 \cdot \pi \cdot \frac{r}{z}$$

Висота ніжки зуба фрези

$$m := \frac{D_p}{2} \quad \gamma_n := \arcsin \left[\frac{b_p}{(2 \cdot m)} \right] \quad \alpha_n := \arccos \left(\frac{m \cdot \cos(\gamma_n)}{r} \right)$$

$$y_n := r \cdot (\sin(\alpha_n) \cdot \sin(\alpha_n) - \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha_n)) \quad h2 := |y_n|$$

Профіль фрези з "вусиками"

висота головки зуба фрези $h1$

$$r_g := \frac{d_p}{2} \quad \gamma_g := \arcsin \left[\frac{b_p}{(2 \cdot r_g)} \right] \quad \alpha_g := \arccos \left(\frac{r_g \cdot \cos(\gamma_g)}{r} \right)$$

$$y_g := r \cdot (\sin(\alpha_g) \cdot \sin(\alpha_g) - \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha_g)) \quad h1 := y_g$$

товщина зуба фрези на висоті $h1$

$$\beta_g := \arcsin \left(\frac{h1 - y_k}{R_k} \right) \quad S_e := S1 - 2 \cdot (x_k - R_k \cdot \cos(\beta_g))$$

висота $h3$: $h3 := h - y1$

товщина зуба фрези на висоті $h3$: $S3 := S1 - 2 \cdot x1$

висота $h4$: $h4 := h$

товщина зуба фрези на висоті $h4$

$$\beta_4 := \arcsin \left(\frac{h4 - y_k}{R_k} \right) \quad S4 := S1 - 2 \cdot (x_k - R_k \cdot \cos(\beta_4))$$

$$h_a := h1 + h2 - h$$

Рисунок 8.15 – Визначення параметрів профілю зуба з «вусиками»

Висота головки у фрези з вусиками визначається відповідно до формул (8.15), (8.16) при радіусі, що дорівнює розрахунковому внутрішньому радіусу шліцьового вала

$$h_1 = r \left(\sin^2 \alpha_2 - \sin \gamma \sin \alpha_2 \right); \quad (8.23)$$

$$\alpha_2 = \arccos \left(\frac{d_p}{2r} \cos \gamma_2 \right); \quad \gamma_2 = \arcsin \left(\frac{b_p}{d_p} \right).$$

Товщина зуба на вершині при цьому визначиться через координату x точки, яка належить заміновальному колу (див. рис. 8.9)

$$S_e = S_1 - 2(x_k - R_k \cos(\beta_e)); \beta_e = \arcsin\left(\frac{h_1 - y_k}{R_k}\right). \quad (8.24)$$

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 рис.8.9:

$$S_4 = S_1 - 2(x_k - R_k \cos(\beta_4)); \beta_4 = \arcsin\left(\frac{h_4 - y_k}{R_k}\right). \quad (8.25)$$

Висота вусика дорівнює $h_a = h_1 + h_2 - h$.

При проектуванні фрези без вусиків значення h_4 задається. Товщина S_4 визначається через координату x за виразами (8.25). Значення h_3 та S_3 , як у фрези з вусиками, визначаються через координати точки A_1 . Висота головки дорівнює h , а ширина зуба на вершині S_e розраховується за виразами, подібними до (8.24), (8.25).

Висота ніжки зуба фрези визначається за формулами (8.15), (8.16) при радіусі, що дорівнює розрахунковому зовнішньому радіусу шліцьового вала

$$h_2 = r(\sin^2 \alpha_n - \sin \gamma \sin \alpha_n); \quad (8.26)$$

$$\alpha_n = \arccos\left(\frac{D_p}{2r} \cos \gamma_n\right); \gamma_n = \arcsin\left(\frac{b_p}{D_p}\right).$$

Основні вимоги щодо вибору *габаритних і конструктивних розмірів* черв'ячних зуборізальних фрез справедливі і для шліцьових фрез. Тому далі наведені тільки деякі особливості розрахунку.

Зважаючи на значну величину кроку профілів шліцьових валів, кут $\tau = \beta$ підйому витків фрези виходить більшим, ніж у аналогічних черв'ячних фрез для зубчастих коліс. Кут підйому витків допускають до $\tau = 6^\circ$, а іноді і до 10° .

Для поліпшення чистоти і правильності обробки кількість зубів фрези слід 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

$$D_e = 11(D - d) + 37. \quad (8.27)$$

Для середньої та важкої серій

$$D_e = 7,7(D - d) + 39,9. \quad (8.28)$$

Менші діаметри і більша кількість зубів взяті для валів з меншою висотою профілю - для валів легкої серії [14]. Великі діаметри і менша кількість зубів призначаються для валів середньої і важкої серій (табл. 8.2).

Таблиця 8.2 – 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

Залежність між діаметром фрези, кроком і кутом підйому витків визначається за однією з таких формул:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{P_0}{\pi D_i} \quad \text{або} \quad \sin \tau = \frac{P_n}{\pi D_i}. \quad (8.29)$$

Розрахунковий ділильний діаметр цих фрез D_i , так само як черв'ячних зуборізальних фрез, береться у перетині, який віддалений від передньої поверхні на 0,125 кроку по колу, саме ділильне коло проходить не через середину висоти зуба, а дотично до початкової прямої деталі

$$D_i = D_e - 2h_1. \quad (8.30)$$

Діаметр кіл виступів і западин і висота канавки визначаються так само, як і у черв'ячних зуборізальних фрез. Оскільки глибина профілю шліцьових валів звичайно невелика, то і глибина канавок виходить меншою, ніж у черв'ячних зуборізальних фрез з таким кроком.

Довжина шліцевої фрези, так само як і довжина зуборізальної фрези, може бути визначена за такою наближеною формулою:

$$L = 10\sqrt{(D-h)h} + 2l_1. \quad (8.31)$$

Геометрія лез черв'ячних фрез має деякі особливості. Черв'ячні фрези для деталей прямолінійного профілю виготовляються із затіланими зубами. Задній кут на вершині зуба береться у межах $\alpha_6 = 9-12^\circ$. Задні кути на бічних сторонах профілю у нормальному перетині у будь-якій точці i при $\gamma=0$ визначаються за формулою

$$\operatorname{tg}\alpha_{6i} = \frac{D_e}{D_i} \operatorname{tg}\alpha_6 \sin \varphi_i.$$

Необхідно, щоб задній кут був $\alpha_6 \geq 1^\circ 30'$.

8.3 Послідовність розрахунків

Таблиця 8.3 – Послідовність розрахунків фрези для обробки шліцевого 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	$\sin \gamma = \frac{b_p}{2r}$

Продовження таблиці 8.3

1	2	3
9	Висота ніжки шліца	$h = \frac{D_H - d_p}{2}$
Розрахунок фрези		
10	Координати першої точки на профілі зуба фрези	$r_1 = r - 0,5h; \quad \gamma_1 = \arcsin\left(\frac{b_p}{2r_1}\right)$ $\alpha_1 = \arccos\left(\frac{r_1}{r} \cos \gamma_1\right);$ $x_1 = r(\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 - \gamma + \sin \gamma \cos \alpha_1);$ $y_1 = r(\sin^2 \alpha_1 - \sin \gamma \sin \alpha_1)$
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	$\sigma_1 = \arctg\left(\frac{y_1}{x_1}\right); \quad \sigma_2 = \arctg\left(\frac{y_2}{x_2}\right);$ $\sigma_3 = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right); \quad \delta = \sigma_1 - \sigma_2;$ $R_k = \frac{y_2 - y_1}{2 \sin \delta \sin \sigma_3};$ $x_k = R_k \sin(\sigma_3 + \delta) + x_1;$ $y_k = y_1 - R_k \cos(\sigma_3 + \delta)$

Продовження таблиці 8.3

1	2	3
13	Найбільше відхилення дуги від теоретичного профілю	$F = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2};$ $\Delta = F - R_k$
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	$r_n = \frac{D_p}{2}; \quad \gamma_n = \arcsin \left(\frac{b_p}{2r_n} \right)$ $\alpha_n = \arccos \left(\frac{r_n}{r} \cos \gamma_n \right);$ $y_n = r \left(\sin^2 \alpha_n - \sin \gamma \sin \alpha_n \right); \quad h_2 = y_n $
(Фреза з «вусиками»)		
19	Висота головки зуба	$r_2 = \frac{d_p}{2}; \quad \gamma_2 = \arcsin \left(\frac{b_p}{2r_2} \right)$ $\alpha_2 = \arccos \left(\frac{r_2}{r} \cos \gamma_2 \right);$ $y_2 = r \left(\sin^2 \alpha_2 - \sin \gamma \sin \alpha_2 \right); \quad h_1 = y_2$
20	Товщина зуба на вершині	$\sin \beta_2 = \frac{h_1 - y_k}{R_k};$ $S_e = S_1 - 2(x_k - R_k \cos \beta_2)$
21	Висота h_3 , товщина S_3	$h_3 = h - y_1; \quad S_3 = S_1 - 2x_1$

Продовження таблиці 8.3

1	2	3
22	Висота h_4 , товщина S_4	$h_4 = h;$ $\sin \beta_4 = \frac{h_4 - y_k}{R_k}$ $S_4 = S_1 - 2(x_k - R_k \cos \beta_4)$
23	Висота «вусика»	$h_a = h_1 + h_2 - h$
(фреза без «вусиків»)		
24	Висота h_4 , товщина S_4	$h_4 = 0,3;$ $\sin \beta_4 = \frac{h - h_4 - y_k}{R_k};$ $S_4 = S_1 - 2(x_k - R_k \cos \beta_4)$
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	$h_1 = h;$ $\sin \beta_1 = \frac{h_1 - y_k}{R_k};$ $S_e = S_1 - 2(x_k - R_k \cos \beta_1)$
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 затилювання	$k = \frac{\pi D_e \operatorname{tg} \alpha_e}{z_\phi}; \quad k_1 = (1,5, \dots, 1,75) k$
30	Задній кут на бічній поверхні по ділильному колу	$\tan \varphi = \frac{y_k}{x_k}; \quad \tan \alpha_\phi = \frac{D_e}{2r} \tan \alpha_e \sin \varphi$

Продовження таблиці 8.3

1	2	3
31	Діаметр ділильного 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	$P = 2\pi r \cdot \operatorname{ctg} \tau$

8.4 Робоче креслення

На робочому кресленні повинна бути зображена черв'ячна фреза (див. рис. 8.4) з усіма розмірами, допусками на них та зазначена шорсткість поверхонь. Повинні бути параметри профілю зубів (рис. 8.2, 8.12, 8.13) з допусками, що забезпечують обробку відповідно до креслення деталі та параметри затилування зубів (див. рис. 8.3).

У верхньому правому куті креслення повинна бути таблиця, яка складається із трьох частин. Зверху (табл. 8.4) записують [6] основні конструктивні дані (z_ϕ), потім дані, необхідні для контролю фрези (F_p, F_{ps}, f_r, f_f), які у три, чотири рази менші від відповідних даних оброблюваної деталі, а за ними довідкові дані ($\alpha_b, \alpha_b, p_0, P, \Delta$).

Такі технічні вимоги, як допуски на радіальне биття зубців фрези, радіальне та торцеве биття буртиків, показати умовними позначеннями на кресленні. Їх значення визначають як 0,33–0,25 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 8.4 – 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_a	12°
Задній кут на бічній поверхні	α_b	1,56°
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

9 ДОББАЧІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРЯМОЗУБИХ НЕКОРЕГОВАНИХ КОЛІС

9.1 Особливості конструкції довбача

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 . Вирішується кожна із цих задач не окремо, а комплексно, у зв'язку з іншими задачами. Тому процес проектування ітераційний, що визначає його складність.

У процесі різання довбач має прямолінійний або гвинтовий обертально-поступальний рух різання. Подача здійснюється через відносне обертання довбача і заготовки навколо їх осей (рис. 9.1).

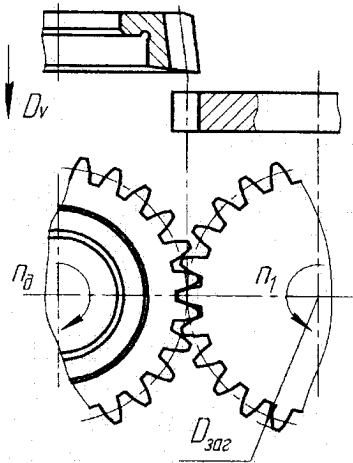


Рисунок 9.1- Нарізування довбачем зубів на циліндричному колесі:
 D_V – головний рух різання;
 $n_{об}$, n_1 – частота обертання інструменту та заготовки (рух подачі)

Величина подачі вимірюється в міліметрах діляного кола нарізуваного колеса на один подвійний хід довбача (S_K мм/пдв. хід). Крім названих основних рухів - різання і кругової подачі, довбач отримує радіальну подачу при врізуванні у заготовку (S_p мм/пдв. хід) і відводиться від заготовки при кожному зворотному ході для усунення тертя задніх поверхонь по обробленій поверхні. Довбачі бувають дискові (рис. 9.2),

нашкові (рис. 9.3) і з хвостовиком (рис. 9.4).

Довбач може нарізувати будь-яке циліндричне колесо, якщо тільки воно може бути нарізане яким-небудь іншим

зуборізальним інструментом. У ряді випадків він має вищу продуктивність, ніж фрези.

Наприклад, при нарізуванні зубчастих секторів, коліс з вузьким ободом і великою кількістю зубів, при нарізуванні коліс з модулем, меншим 1,5 мм.

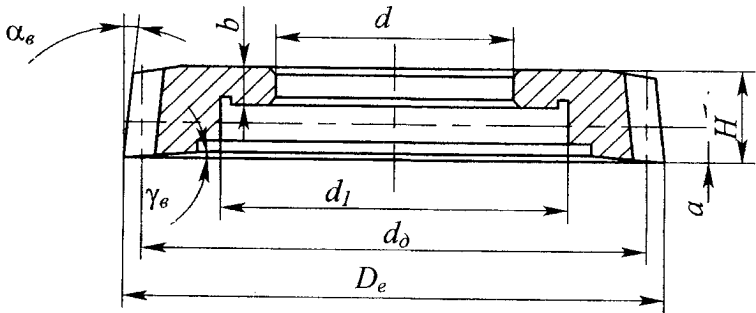


Рисунок 9.2 – Довбач дисковий прямозубий

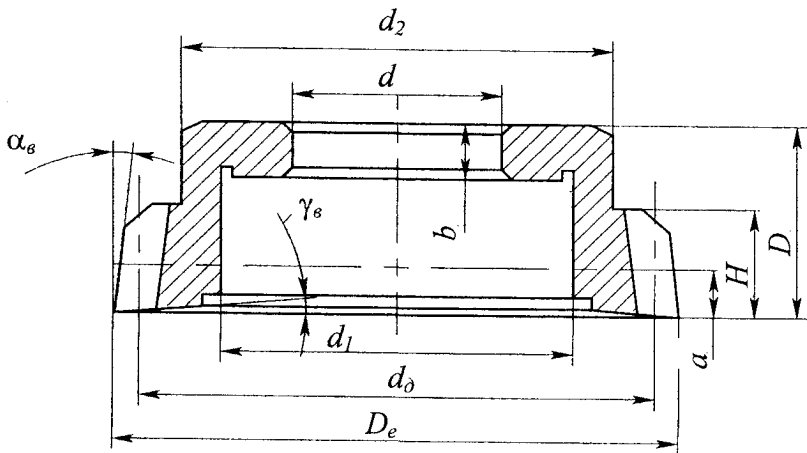


Рисунок 9.3 – Довбач чашковий прямозубий

профіль. При переточуванні довбача по передній поверхні «відкидаються непридатні колеса» і в зачеплення з нарізаним колесом вступає наступне за ними нескінченно тонке зубчасте колесо з відповідною величиною ξ_m . Тому і колеса, нарізані різними перетинами довбача, матимуть один і той самий евольвентний профіль.

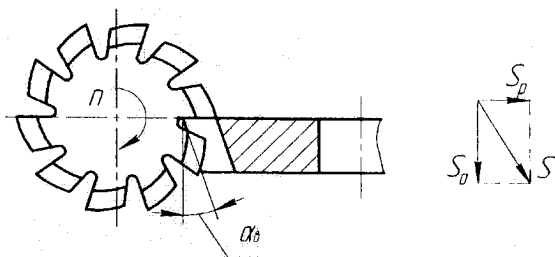


Рисунок 9.6 – Затилування довбача

Перетин, у якому зсув початкового контура рейки дорівнює нулю ($\xi=0$), називається *вихідним*, а відстань від переднього торця довбача до вихідного перетину a називається *вихідною відстанню*. У цьому перетині розміри зубів довбача (товщина зуба по дузі ділильного кола, висота головки і ніжки) будуть дорівнювати відповідним розмірам вихідного контура рейки довбача.

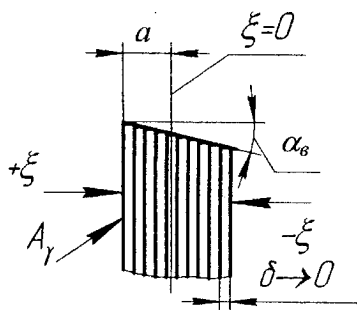


Рисунок 9.7 – Довбач як сукупність корегованих коліс

Знаючи розміри зуба у вихідному перетині, можна визначити розміри зуба у будь-якому іншому перетині, зокрема по передньому торцю, як розміри коригованого колеса, що має відповідний зсув початкового контура рейки.

Передній кут γ_b у довбача створюється завдяки тому, що торець його не плоский, а має форму конуса. Твірна цього конуса складає з площиною, перпен-

дикулярною до осі довбача, кут, що дорівнює передньому

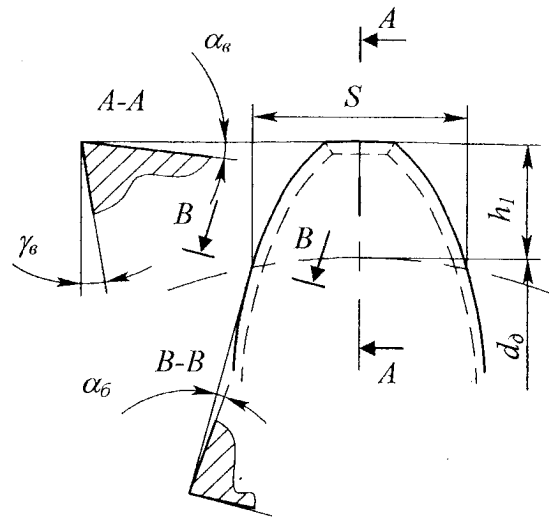


Рисунок 9.8 – Профіль зубів довбача

довбачів у 3-4 рази. Тому можна рекомендувати при обробці звичайних конструкційних матеріалів задній кут на вершині $\alpha_б = 9^\circ$ і передній кут $\gamma_б = 12-15^\circ$.

Якби довбач не мав переднього кута $\gamma_б$, то його профільний кут у перетині, перпендикулярному до осі, був повністю ідентичний з профільним кутом нарізаного колеса, тобто $\alpha_{от} = \alpha_0$.

За наявності переднього кута профіль довбача у цьому перетині не збігатиметься з

куту $\gamma_б$. Передній кут на вершинах зубів $\gamma_б$ вимірюється у площині, що проходить радіально через вісь довбача (рис. 9.8). Звичайно він дорівнює 5° .

Дослідження І.І.Семенченка та ін. [13] показали, що збільшення $\gamma_б$ до 15° і $\alpha_б$ - до 9° не викликає істотного відхилення від евольвенти, але підвищує стійкість

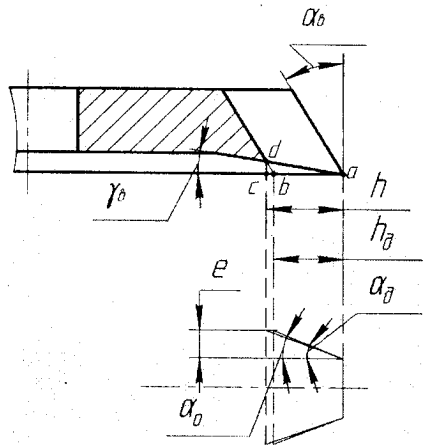


Рисунок 9.9 - Визначення профільного кута рейки довбача

профілем проекції передньої поверхні на торець (рис. 9.9) нарізаного колеса, $\alpha_{dm} \neq \alpha_0$.

Для спрощення розрахунків α_{dm} збільшимо число зубів довбача до нескінченності. Тоді він перетвориться на зуборізальну рейку. Позначимо відрізок cb як d , відрізок dc - як c .

$$\text{Маємо } \operatorname{tg} \alpha_{dm} = \frac{e}{h} = \frac{e}{h-d},$$

$$d = c \cdot \operatorname{tg} \alpha_s = h \operatorname{tg} \gamma_s \operatorname{tg} \alpha_s,$$

$$\text{Тоді } \operatorname{tg} \alpha_{dm} = \frac{e}{h(1 - \operatorname{tg} \gamma_s \operatorname{tg} \alpha_s)} = \frac{e}{h} \cdot \frac{1}{1 - \operatorname{tg} \gamma_s \operatorname{tg} \alpha_s},$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{dm} = \operatorname{tg} \alpha_0 / (1 - \operatorname{tg} \gamma_s \cdot \operatorname{tg} \alpha_s) \quad (9.1)$$

Отже, щоб отримати на нарізаному довбачем колесі заданий профільний кут, довбач повинен бути виготовлений з 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.

9.3 Визначення розмірів зуба колеса

Висота головки зуба колеса

$$h_a = m. \quad (9.2)$$

Висота ніжки зуба колеса

$$h_f = (1 + c_k) m, \quad (9.3)$$

де $c_k = 0,25$ - коефіцієнт радіального зазору.

Діаметр ділильного кола нарізаного колеса

$$d_1 = z_1 \cdot m \quad (9.4)$$

Найменша товщина зуба колеса по хорді визначається з урахуванням допуску на виготовлення та припуску на шліфування

$$S_{y \min} = \frac{\pi m}{2} - E_{cs} - T_c + \Delta, \quad (9.5)$$

де E_{cs} - найменше відхилення товщини зуба;

T_c - допуск на товщину зуба колеса;

$\Delta = 0,2\sqrt[3]{m}$ - припуск на шліфування колеса.

9.4 Визначення величини вихідної відстані довбача a та параметрів довбача у вихідному перетині

Практика зуборізального виробництва показує, 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_g . 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. Вихідна відстань розраховується за формулою

$$a = \xi m \cdot \operatorname{ctg} \alpha_g \quad (9.6)$$

де ξ - найбільший коефіцієнт корекції.

Отже, якщо виникає потреба змінити вихідну відстань, то в першу чергу це можна зробити, змінивши ξ (коефіцієнт корекції) або α_g .

Висота головки зуба довбача більша від висоти головки зуба колеса для створення радіального зазору у зчепленні. Висота головки зуба довбача у вихідному перетині дорівнює

$$h_1 = (f + c)m, \quad (9.7)$$

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 використовувався довбач з більшою кількістю зубів. Він буде найменшим, коли колесо буде нарізане довбачем з нескінченною кількістю зубів, тобто рейкою. Якщо довбач із постійним значенням ξ нарізує два колеса з різною кількістю зубів, то менший радіальний зазор вийде у колеса, де більше зубів. Найменший зазор буде при нарізуванні зубчастої рейки.

Вихідними даними для проектування довбача є параметри нарізаного колеса і передачі, а також геометрія, номінальний діаметр ділильного кола, коефіцієнт корекції та параметри зубчастої рейки довбача (рис. 9.10).

Параметри колеса та передачі

$$\begin{array}{llllll} m := 6 & z_1 := 50 & T_c := 0.010 & \xi_k := 0 & c_k := 0.25 \\ z_2 := 99 & E_{cs} := 0.006 & \alpha_0 := 20 & & \end{array}$$

Параметри довбача

$$d_n := 100 \quad \xi := 0.15 \quad c := 0.25 \quad \alpha := 6 \quad \gamma := 5 \quad f := 1$$

Рисунок 9.10 – Приклад формування вихідних даних у Mathcad для розрахунку довбача

Висота ніжки зуба довбача у вихідному перетині

$$h_2 = (1 + c)m. \quad (9.8)$$

Висота усього зуба довбача у вихідному перетині

$$h = h_1 + h_2. \quad (9.9)$$

Звідси діаметр виступів довбача у вихідному перетині

$$d_e = d_0 + 2h_1. \quad (9.10)$$

Номінальна товщина зуба довбача по ділильному колу у вихідному перетині

$$S_0 = \pi m - S_{y_{\min}} - (0,25, \dots, 0,33)T_c. \quad (9.11)$$

Розрахунок довбача базується на конструктивних параметрах нарізаного колеса і передачі. Необхідно визначити його параметри у вихідному перетині та габаритні розміри.

9.5 Визначення габаритних розмірів довбача

Розміри приєднувального отвору, хвостовика, виїмки та інших конструктивних елементів визначаються формою приєднувальних поверхонь зубодовбальних верстатів.

До габаритних розмірів довбача належать: кількість зубів z_∂ , діаметр ділильного кола d_o , діаметр виступів D_e , висота зуба вздовж осі H , діаметр приєднувального отвору у дискового та чашкового довбачів d , конус Морзе у довбача з хвостовиком. Крім того, чашковий довбач має свою висоту B та ширину маточини b , а довбач з 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 використовується на початку розрахунків. Але потім воно уточнюється, і фактичний діаметр ділильного кола відрізняється від номінального через те, що кількість зубів довбача z_∂ - завжди ціле число. Для нарізування циліндричних коліс зовнішнього зчеплення число зубів довбача може бути від 15 до 40. Проте це не суворе обмеження. Так, для довбачів великих модулів, а також для нарізування коліс внутрішнього зчеплення призначають і менше ніж 15. Визначивши кількість зубів довбача за номінальним діаметром

$$z_\partial = d_n / m, \quad (9.12)$$

округлюємо до цілого числа. Тоді дійсний діаметр ділильного кола довбача

$$d_\partial = z_\partial \cdot m \quad (9.13)$$

Необхідно враховувати, що дійсний діаметр ділильного кола повинен мінімально відрізнятися від номінального, причому для спрощення технології виготовлення число зубів треба вибирати парним.

Основний діаметр довбача

$$d_0 = d_\delta \cos \alpha_{om}.$$

Висоту зуба уздовж осі можна визначити за формулою

$$H = 2a + (3, \dots, 5) \text{ мм},$$

де a – величина вихідної відстані;

(3, ..., 5) мм – величина, що обмежує сточування довбача.

Загальна висота H лімітується також технологічним чинником та стандартом. Вона може бути збільшена у порівнянні з розрахованою вище. Аналіз таблиць стандартів дає підстави визначати її за такою емпіричною залежністю:

$$H = \sqrt{82m}. \quad (9.14)$$

Діаметр приєднувального отвору d залежить від номінального діаметра ділильного кола d_n і остаточно визначається розміром оправки на верстаті (табл. 9.1) [10, 14].

Таблиця 9.1 – 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

$$b = \sqrt{24,4m}, \quad (9.15)$$

але не менша 8 мм.

Висота чашкового довбача B удвічі більша за висоту зуба уздовж осі.

Діаметр виточки визначається як частка від діаметра ділильного кола

$$d_1 = (0,65, \dots, 0,71) d_\delta. \quad (9.16)$$

Довжина довбача з хвостовиком визначається залежно від розмірів ділильного кола

$$L = \sqrt{239d_\delta}. \quad (9.17)$$

9.6 Розміри довбача на передній поверхні

Зовнішній діаметр нового довбача

$$D_e = d_e + 2\xi m. \quad (9.18)$$

Задній кут на бічних різальних кромках довбача у точках перетину з ділильним колом

$$\operatorname{tg} \alpha_{\delta} = \operatorname{tg} \alpha_{\delta} \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (9.19)$$

Торцева товщина зуба нового довбача

$$S = S_{\delta} + 2a \operatorname{tg} \alpha_{\delta}. \quad (9.20)$$

Після визначення параметрів нарізуваного колеса визначаються конструктивні параметри довбача (рис. 9.11).

Конструктивні параметри нарізуваного колеса

$$d_1 := z_1 \cdot m \quad h_a := m \quad h_f := (1 + c_k) \cdot m \quad \Delta := 0.2 \cdot \sqrt[3]{m}$$

$$h_1 := h_a + h_f \quad \text{Якщо колесо не шліфується, то } \Delta := 0$$

$$S_{\text{ymin}} := \pi \cdot \left(\frac{m}{2} \right) - E c_s - T c + \Delta$$

Параметри довбача у вихідному перетині

$$h_1 := (f + c) \cdot m \quad h_2 := (1 + c) \cdot m \quad z_d := \frac{d_H}{m} \quad z_d = 16.667$$

$$S_d := \pi \cdot m - S_{\text{ymin}} - \frac{T c}{3} \quad h := h_1 + h_2 \quad \text{Беремо } z_d := 17$$

$$d_d := z_d \cdot m \quad d_e := d_d + 2 \cdot h_1 \quad \text{adt} := \operatorname{atan} \left[\frac{\operatorname{tan}(\alpha_0)}{(1 - \operatorname{tan}(\gamma) \cdot \operatorname{tan}(\alpha))} \right]$$

$$d_0 := d_d \cdot \cos(\text{adt})$$

Габаритні розміри довбача

$$H := \sqrt{82 \cdot m} \quad b := \sqrt{24.4 \cdot m} \quad B := 2 \cdot H$$

$$d_1 := 0.65 \cdot d_d \quad L := \sqrt{239 \cdot d_d} \quad \operatorname{tg} \alpha_b := \operatorname{tan}(\alpha) \cdot \operatorname{tan}(\alpha_0)$$

$$a := \xi \cdot \frac{m}{\operatorname{tan}(\alpha)} \quad S := S_d + 2 \cdot a \cdot \operatorname{tg} \alpha_b \quad D_e := d_e + 2 \cdot \xi \cdot m$$

Рисунок 9.11 – 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 при роботі виготовленого колеса.

9.7 Перевірка загострення вершини зубів довбача

Загострення зубів довбача впливає на його стійкість. Мінімально допустима товщина зуба на колі виступів визначається за формулою

$$S_{\min} = 0,51\sqrt{m}. \quad (9.21)$$

Товщина зуба на колі виступів спроектованого довбача визначається за формулою [3]

$$S_e = D_e \left(\frac{S}{d_o} + \operatorname{inv}\alpha_{\partial m} - \operatorname{inv}\alpha_e \right), \quad (9.22)$$

де $\alpha_e = \arccos\left(\frac{d_o \cos\alpha_{\partial m}}{D_e}\right)$ - кут тиску на колі виступів

довбача.

Інволюта, що входить до виразу визначення товщини зуба на вершині, визначається 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_o (рис.9.13).

9.8 Перевірка на інтерференцію профілів зубів (нарізаного спроектованим довбачем і парного йому коліс)

При нарізуванні коліс довбачем біля ніжки зуба утворюється перехідна крива. Якщо нарізане колесо з кількістю зубів z_1 працює у парі з колесом, у якого z_2 зубів, то контакт

відбувається у межах активної евольвентної ділянки на бічній поверхні. Але при деякому значенні 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 у нарізованого колеса (рис. 9.12) та діаметр, де починається активна частина профілю, d_{B1} . Повинно бути

$$d_{G1} \leq d_{B1}. \quad (9.23)$$

Із збільшенням відстані від точки, що знаходиться на евольвенті профілю зуба, до центра колеса кут тиску на евольвенту збільшується. Тому якщо у 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 »)

$$\alpha_{B1} \geq \alpha_{G1}, \quad (9.24)$$

то це свідчить про те, що точка B_1 далі від центра, ніж точка G_1 [3], тобто зберігається нерівність (9.23).

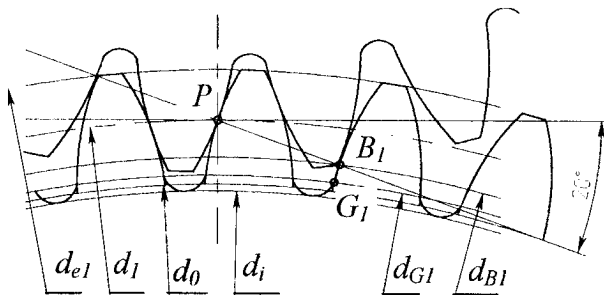


Рисунок 9.12 – Обмеження перехідної кривої та активної ділянки на профілі зуба колеса z_1

Кут тиску у точці B_1 дорівнює

$$\alpha_{B1} = \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha_{12} - \frac{z_2}{z_1} (\operatorname{tg} \alpha_{e2} - \operatorname{tg} \alpha_{12}) \right), \quad (9.25)$$

де α_{12} – кут зчеплення коліс z_1 і z_2 , що визначається з формули

$$\operatorname{inv} \alpha_{12} = \operatorname{inv} \alpha_o + 2 \frac{\xi_1 + \xi_2}{z_1 + z_2} \operatorname{tg} \alpha_o$$

(тут $\alpha_{e2} = \arccos \frac{r_2}{r_{e2}}$, а радіуси r_2 та r_{e2} визначаються за

$$\text{формулами } r_2 = \frac{m z_2 \cos \alpha_o}{2 \cos \alpha_{12}}, \quad r_{e2} = m \frac{z_2 + 2}{2};$$

Якщо колеса z_1 і z_2 не кореговані, то $\alpha_{12} = \alpha_o$.

Кут тиску у точці G_1 дорівнює

$$\alpha_{G1} = \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha_{1\partial} - \frac{z_\partial}{z_1} (\operatorname{tg} \alpha_e - \operatorname{tg} \alpha_{1\partial}) \right), \quad (9.26)$$

де $\alpha_{1\partial}$ – кут зчеплення колеса z_1 (заготовки) і довбача. Визначається $\alpha_{1\partial}$ з формули

$$\operatorname{inv} \alpha_{1\partial} = \operatorname{inv} \alpha_o + 2 \frac{\xi_1 + \xi_\partial}{z_1 + z_\partial} \operatorname{tg} \alpha_o. \quad (9.27)$$

Щоб знайти кут $\alpha_{1\partial}$ за формулою (9.27), де $\xi_1 = 0$, необхідно розв'язати трансцендентне рівняння $\operatorname{inv} \alpha_{1\partial} = \operatorname{tg} \alpha_{1\partial} - \alpha_{1\partial}$. Це пов'язане з деякими труднощами із застосуванням чисельних методів. Тому можна використати емпіричний вираз

$$\alpha_{1\partial} = 7,2272 \cdot \operatorname{inv} \alpha_{1\partial} + 0,2414. \quad (9.28)$$

Діаметри кіл, що проходять через точки B_1 та G_1 , такі:

$$d_{B1} = d_o \frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_{B1}}; \quad d_{G1} = d_o \frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_{G1}}. \quad (9.29)$$

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 9.13.

9.9 Перевірка на відсутність підрізування ніжки та зрізування головки зубів колеса довбачем

Перевірка відсутності підрізування полягає у тому, що точка G_I може бути або на діаметрі основного кола (тоді $\alpha_{GI}=0$), або вище. Тобто

$$\alpha_{GI} \geq 0. \quad (9.30)$$

Відсутність зрізування головки зуба перевіряється так. Якщо замість пари коліс « $z_1 - z_2$ » розглянути пару «довбач- z_1 » (рис. 9.12), 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 (9.24),

$$\alpha_{B\partial} \geq \alpha_{G\partial}. \quad (9.31)$$

Кут тиску головки зуба колеса z_1 у точці B_∂ на робочу поверхню зуба довбача визначається за формулою

$$\alpha_{B\partial} = \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha_{1\partial} - \frac{z_1}{z_\partial} (\operatorname{tg} \alpha_{e1} - \operatorname{tg} \alpha_{1\partial}) \right), \quad (9.32)$$

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 у точці G_∂

$$\alpha_{B\partial} \geq \alpha_{G\partial} \geq 0. \quad (9.33)$$

Припускаємо, що $\alpha_{B\partial} = \alpha_{G\partial}$ і знаходимо максимальний діаметр кола, на якому евольвента зуба довбача може переходити у перехідну криву і при цьому не зрізується головка зуба колеса

$$d_{G\partial} = \frac{d_\partial \cos \alpha_{\partial m}}{\cos \alpha_{G\partial}}. \quad (9.34)$$

Відповідно до (9.33) повинно бути, що $d_{G0} \geq d_0$.

Перевірка загострення головки зуба

$$\alpha_e := \arccos\left(\frac{dd \cdot \cos(\text{adt})}{De}\right) \quad S_{\min} := 0.51 \cdot \sqrt{m} \quad \text{iadt} := \tan(\text{adt}) - \text{adt}$$

$$\text{iae} := \tan(\alpha_e) - \alpha_e$$

$$S_{\min} < S_e$$

$$S_e := De \cdot \left(\frac{S}{dd} + \text{iadt} - \text{iae}\right) \quad S_{\min} = 1.249 \quad S_e = 1.572$$

Перевірка відсутності інтерференції

$$r2 := \frac{(m \cdot z2)}{2} \quad re2 := m \cdot \frac{(z2 + 2)}{2} \quad \alpha_{e2} := \arccos\left(\frac{r2}{re2}\right)$$

$$\alpha_{B1} := \text{atan}\left[\tan(\alpha_0) - z2 \cdot \frac{(\tan(\alpha_{e2}) - \tan(\alpha_0))}{z1}\right]$$

$$\text{ia0} := \tan(\alpha_0) - \alpha_0 \quad y1 := 2 \cdot \xi \cdot \frac{\tan(\alpha_0)}{z1 + z2} \quad \text{iald} := \text{ia0} + y1$$

$$\alpha_{1d} := 7.2272 \cdot \text{iald} + 0.2414$$

$$\alpha_{G1} := \text{atan}\left[\tan(\alpha_{1d}) - z2 \cdot \frac{(\tan(\alpha_e) - \tan(\alpha_{1d}))}{z1}\right]$$

$$dB1 := dd \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{B1})} \quad dG1 := dd \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{G1})}$$

Умова відсутності інтерференції: $dB1 > dG1$

$$dB1 = 116.16 \quad dG1 = 98.939$$

Перевірка на підрізання ніжки та зрізування головки

Підрізання немає коли $\alpha_{G1} > 0$

$$\alpha_{G1} = 0.251$$

$$r1 := m \cdot \frac{z1}{2} \quad re1 := m \cdot \frac{(z1 + 2)}{2} \quad \alpha_{e1} := \arccos\left(\frac{r1}{re1}\right)$$

$$\alpha_{Bd} := \text{atan}\left[\tan(\alpha_{1d}) - z1 \cdot \frac{(\tan(\alpha_{e1}) - \tan(\alpha_{1d}))}{z2}\right]$$

$$\alpha_{Gd} := \alpha_{Bd}$$

$$dGd := dd \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{Gd})}$$

Максимальний діаметр, де перехідна крива переходить в евольвенту без зрізування головки зуба

$$dGd = 114.178$$

Рисунок 9.13 – Перевірка конструкції довбача

Повна перевірка розрахованого раніше довбача (див. рис.9.11) показана на рисунку 9.13.

Послідовність розрахунків довбача наведена у таблиці 9.2

Таблиця 9.2 - Послідовність розрахунків

Номер	Параметр	Позначення, формула
1	2	3
Вихідні дані		
1	Модуль	m
2	Кут профілю	$\alpha_0 = 20^\circ$
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 дільного кола довбача	$d_n = \left\{ 12, 16, 20, 25, 38, 50, 75, \right. \\ \left. 100, 125, 160, 200, 360 \right\}$
14	Коефіцієнт висоти головки зуба довбача	f
Конструктивні параметри нарізованого колеса		
15	Діаметр дільного кола	$d_1 = z_1 \cdot m$
16	Висота головки зуба	$h_a = m,$
17	Висота ніжки зуба	$h_f = (1 + c_k) m,$

Продовження таблиці 9.3

1	2	3
18	Висота зуба	$h_f = h_a + h_f$
19	Припуск на шліфування	$\Delta = 0,2\sqrt[3]{m}$
20	Мінімальна товщина зуба	$S_{ymin} = \frac{\pi m}{2} - E_{cs} - T_c + \Delta$
Параметри довбача у вихідному перетині		
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	Номінальна товщина зуба	$S_d = \pi m - S_{ymin} - \frac{T_c}{3}$
25	Висота зуба	$h = h_1 + h_2$
26	Діаметр ділального кола	$d_d = z_d \cdot m$
27	Діаметр виступів	$d_e = d_d + 2h_1$
28	Кут профілю довбача у торцевому перетині	$tg\alpha_{dm} = tg\alpha_o / (1 - tg\gamma_o \cdot tg\alpha_o)$
29	Основний діаметр	$d_o = d_d \cos\alpha_{dm}$
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	$b = \sqrt{24,4m}$, $b \geq 8$ мм
33	Висота чашкового довбача	$B \approx 2H$
34	Діаметр виточки	$d_1 = (0,65 \div 0,71) d_d$
35	Довжина довбача з хвостовиком	$L = \sqrt{239d_d}$
36	Діаметр приєднувального отвору	d
37	Вихідна відстань	$a = \xi m \cdot ctg\alpha_o$

Продовження таблиці 9.3

1	2	3
38	Горцева товщина зуба довбача	$S = S_{\delta} + 2atg\alpha_{\delta}$
39	Задній кут на бічних поверхнях	$tg\alpha_{\delta} = tg\alpha_{\delta}tg\alpha_o$
Перевірка загострення головки зуба довбача		
40	Мінімально допустима товщина зуба на колі виступів	$S_{\min} = 0,51\sqrt{m}$
41	Кут тиску не 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	$S_{\min} \leq S_e$
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 у точці B_I	$\alpha_{B1} = \arctg \left(tg\alpha_{12} - \frac{z_2}{z_1} (tg\alpha_{e2} - tg\alpha_{12}) \right)$
47	Кут зчеплення колеса z_1 (заготовки) і довбача	$inv\alpha_{1\delta} = inv\alpha_o + 2 \frac{\xi}{z_1 + z_o} tg\alpha_o,$ $\alpha_{1\delta} = 7,2272 \cdot inv\alpha_{1\delta} + 0,2414$
48	Кут тиску у точці G_I	$\alpha_{G1} = \arctg \left(tg\alpha_{1\delta} - \frac{z_o}{z_1} (tg\alpha_e - tg\alpha_{1\delta}) \right)$
49	Діаметри кіл, що проходять через точки B_I та G_I	$d_{B1} = d_o \frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_{B1}};$ $d_{G1} = d_o \frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_{G1}}$
Перевірка підрізування ніжки та зрізування головки		
50	Підрізування немає	$\alpha_{G1} \geq 0.$
51	Кут тиску на колі виступів колеса z_1	$\alpha_{e1} = \arccos \frac{d_1}{d_1 + 2h_a}$

Продовження таблиці 9.3

1	2	3
52	Кут тиску головки зуба колеса z_1 у точці B_d	$\alpha_{Bd} = \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha_{1d} - \frac{z_1}{z_d} (\operatorname{tg} \alpha_{e1} - \operatorname{tg} \alpha_{1d}) \right)$
53	Кут тиску у точці G_d	$\alpha_{Bd} \geq \alpha_{Gd} \geq 0$
54	Максимальний діаметр $d_{Gd} \geq d_0$	$d_{Gd} = \frac{d_d \cos \alpha_{dm}}{\cos \alpha_{Gd}}$

9.10 Робоче креслення

На робочому кресленні повинен бути зображений довбач (див. рис. 9.2-9.4) з усіма розмірами, допусками на них та зазначена шорсткість поверхонь. Повинні бути параметри його зубів та геометрія (див.рис. 9.7).

У верхньому правому куті креслення повинна бути таблиця, яка складається із трьох частин. Зверху (табл. 9.3) записують основні конструктивні дані (m, z), потім - дані, необхідні для контролю довбача (ξ, c, f) та (F_p, f_f , які у три - чотири рази менші за відповідні дані нарізуваного колеса), а за ними - довідкові дані (d_n, d_{Gd}, d_0) [6].

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 0,33 – 0,25 відповідних значень нарізуваного 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 ГОСТ 1050-60 або 40X за ГОСТ 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 9.3 – 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 ділительний діаметр	d_n	125
Діаметр початку перехідної кривої	$d_{G\partial}$	114,178
Основний діаметр	d_o	95,744

10 МАШИННІ ТА ГАЙКОРІЗНІ МІТЧИКИ

10.1 Конструктивні елементи мітчиків

Основними конструктивними елементами мітчика (рис. 10.1) є: параметри різальної l_1 і калібрувальної l_2 частин (лінійні і

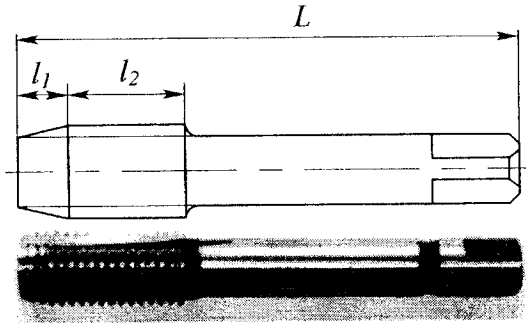


Рисунок 10.1 - Мітчик

кутові розміри, кількість, профіль і напрям стружкових канавок, геометрія лез, потоншення калібрувальної частини, елементи різі); приєднувальної частини; комплектність [12] (рис. 10.2).

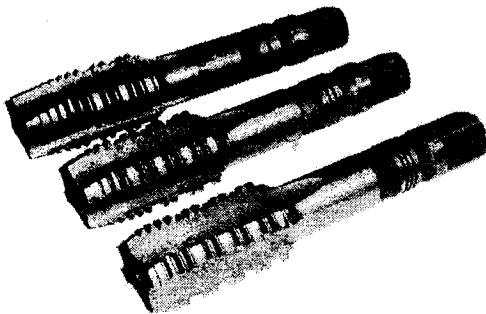


Рисунок 10.2 – Комплект мітчиків

Вихідними даними для проектування мітчика є параметри [13] різі. Це номінальний діаметр, крок та допуски на різь. Дані про верстат, на якому буде використовуватися мітчик. Від цього залежать форма і розміри приєднувальної частини, дані про форму та розміри поверхні, на якій необхідно нарізати різь.

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 оформляється як конус з кутом нахилу φ його твірної до осі мітчика. Довжина різальної частини впливає на продуктивність нарізування, стійкість інструменту і точність нарізаної різи.

Поперечний переріз зрізування, що видаляється кожним лезом, можна уявити як трапецію з товщиною зрізування a' і шириною b (рис. 10.3). Величина a' є дійсною товщиною зрізування, що припадає на кожний зуб і виміряна у напрямі, перпендикулярному до різальної кромки. Через невелику величину кута φ можна замість a' користуватися a - товщиною зрізування, виміряною у напрямі, перпендикулярному до осі мітчика $a' = a \cos \varphi$.

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

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

де z - кількість лез на різальній частині;

h - фактична висота різи, яка вирізується мітчиком, тому що частина висоти різи видаляється при свердленні під різь.

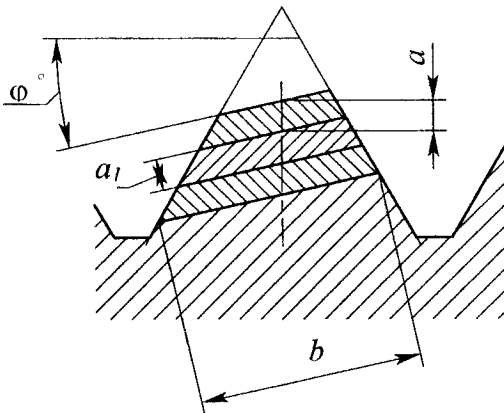


Рисунок 10.3 - Товщина і ширина зрізування

Для забезпечення зрізування видавленого у процесі різання металу діаметр свердла d_{cv} під різь призначається завжди більшим від внутрішнього діаметра різи D_I (рис. 10.4). Величина h визначається за формулою $h = l_e \operatorname{tg} \varphi$, де l_e - ефективна довжина різальної частини (рис. 10.4).

Довжина l_e визначається за формулою

$$l_e = \frac{d_N - d_{cv}}{2 \operatorname{tg} \varphi}, \quad (10.1)$$

де d_N - зовнішній діаметр мітчика.

Кількість лез, які беруть участь у вирізуванні профілю різи

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

де n - кількість пер;

P - крок різи.

Тоді

$$a = \frac{P \operatorname{tg} \varphi}{n}. \quad (10.2)$$

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

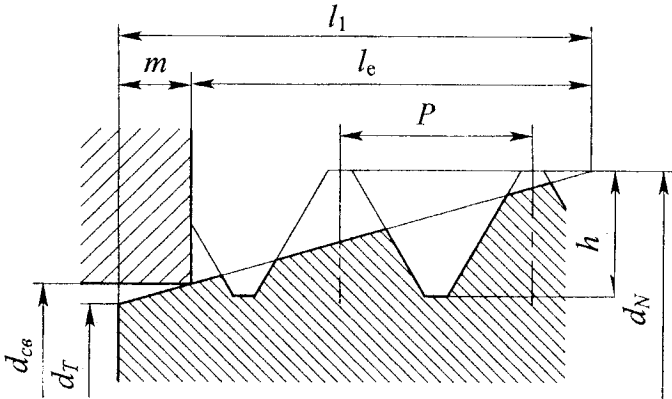


Рисунок 10.4 - Визначення елементів різальної частини

Діаметр переднього торця d_T мітчика повинен бути менший від

діаметра свердла під різь. Це необхідно для забезпечення напряду мітчика при вході у нарізаний отвір. Діаметр переднього торця повинен бути вибраний залежно від величини входження мітчика m у заздалегідь просвердлений отвір. При цьому величину розбиття отвору свердлом можна не враховувати. Призначаємо $m = fl_1$, де $f = 0,30-0,18$ для мітчиків від 2 до 30 мм. Для малих розмірів різі треба брати більші значення, для великих - менші. Можна приблизно записати, що

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

Діаметр переднього торця

$$d_T = d_{cs} - 2mtg\varphi = d_{cs} - 2fl_1tg\varphi. \quad (10.3)$$

Довжина різальної частини

$$l_1 = \frac{d_{Nmin} - d_T}{2tg\varphi} = \frac{d_{Nmin} - d_{cs}}{2tg\varphi(1-f)}, \quad (10.4)$$

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

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

$$tg\varphi = \frac{an}{P}. \quad (10.5)$$

Коливання кута φ незначні, і звичайно його беруть постійним для різних значень мітчиків одного і того самого типу. Наприклад, для гайкорізів усіх типів кут φ беруть таким, що дорівнює $3^0 30^1$ для всіх діаметрів від 2 мм до 30 мм.

Величини оптимальної товщини зрізування для різних діаметрів мітчиків визначаються з урахуванням типу і призначення мітчика, вимог до точності і шорсткості поверхні різі, оброблюваного матеріалу, охолодження і т.ін. Граничними значеннями товщини зрізування $a \in 0,02-0,15$ мм. При величині a , меншій 0,02 мм, процес різання несприятливий і навіть стає неможливим. Замість різання відбувається зминання і шкрябання. Товщина зрізування не повинна бути меншою від радіуса заокруглення різальної кромки, який для інструменту із швидкорізальної сталі дорівнює приблизно 0,015 мм.

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

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. Тому краще все-таки при проектуванні різальної частини гайкоріза виходити не з її довжини, а спершу призначити кут $\varphi = 3,5^\circ$ і потім за формулою (10.4) 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 при цьому погіршуються умови попереднього базування гайки при автоматичному завантаженні.

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 для одинарного мітчика довжину l_1 призначають такою, що дорівнює двом виткам, для наскрізних - шести (кут $\varphi = 6^\circ 30'$). У разі застосування двох мітчиків l_1 для чорнового мітчика дорівнює шести виткам, а для чистового - двом.

Для полегшення роботи машинних мітчиків рекомендується у всіх випадках, де це допустимо з точки зору конструкції деталі, просвердлювати глухий отвір під різь 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 перевагами у порівнянні з довгою:

- зменшення питомого зусилля різання через зрізування стружок з більшим перерізом;
- зменшення крутильного моменту (в усіх випадках, за винятком тільки нарізування коротких гайок);

- зменшення сил тертя і затискання стружки, а також небезпеки заклинювання і поломки мітчика;
- підвищення продуктивності;
- економія матеріалу і зменшення вартості обробки мітчика;
- зменшення викривлення мітчика при термічній обробці.

Недоліком короткої різальної частини є те, що вона не може забезпечити надійного направлення під час роботи, і отвір на початку може виявитися дещо розширеним. Тому у тих випадках, коли висуваються підвищені вимоги до різі, доводиться подовжувати різальну частину.

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

Биття різальних пер не повинно бути більшим 0,03-0,04 мм для всіх мітчиків зі шліфованим профілем, не більшим 0,06-0,08мм - для машинних мітчиків і гайкорізів з нешліфованою різзю.

Калібрувальна частина. Остаточне формування різі закінчується після проходу першого калібрувального витка, який має повну висоту профілю різі. Наступні витки вже не беруть участі у калібруванні різі і служать для направлення під час роботи і створення руху подачі (самозатягування).

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

Через малий кут φ величина зміщення початку калібрувальної частини досить значна, внаслідок чого 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 різі. Ручні мітчики застосовуються для найрізноманітніших за довжиною отворів (від 0,5 до 2 діаметрів нарізваної різі), як наскрізних, так і глухих. При визначенні довжини калібрувальної частини для комплектних мітчиків треба виходити з довжини для чорнового мітчика, оскільки він має найменшу її величину.

Після всіх переточувань довжина калібрувальної частини повинна складати не менше 0,5 діаметра нарізваної різі для великих і середніх розмірів мітчиків. Для малих розмірів її треба підвищити до 1,2-1,0 діаметра з метою забезпечення направлення і зручності в роботі.

Для гайкорізів мінімальна довжина після всіх переточувань повинна складати не менше 0,6 висоти гайки, що відповідає 0,5 діаметра різі.

Калібрувальна частина мітчиків не повинна бути великою. Із зменшенням калібрувальної частини мітчик працює більш легко завдяки зниженню величини крутильного моменту.

Можна рекомендувати довжину калібрувальної частини для гайкорізів усіх типів і розмірів - 8 витків.

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 з нешліфованим профілем - 0,03-0,04 мм, для гайкорізів - 0,06-0,08 мм.

Напря́м канавок. Мітчики звичайно виготовляються з прямими канавками (рис. 10.5 а), але для кращого відведення стружки проєктують і мітчики з гвинтовими канавками з кутом нахилу до осі $10-16^{\circ}$ (рис. 10.5 б).

А для легких сплавів і в'язких матеріалів виготовляють мітчики з кутом нахилу аж до $25-35^{\circ}$. Лівий напрям (рис. 10.5 в) призначений для наскрізних отворів, правий (рис. 10.5 б) - для глухих. Завдяки куту нахилу канавок стружка виводиться або вниз (в), або вгору (б). Якщо стружка направлена перед

мітчиком, то тоді взагалі канавка для її відведення не потрібна. Необхідно тільки зробити переріз витків різі на різальній частині для утворення передньої поверхні і різальних

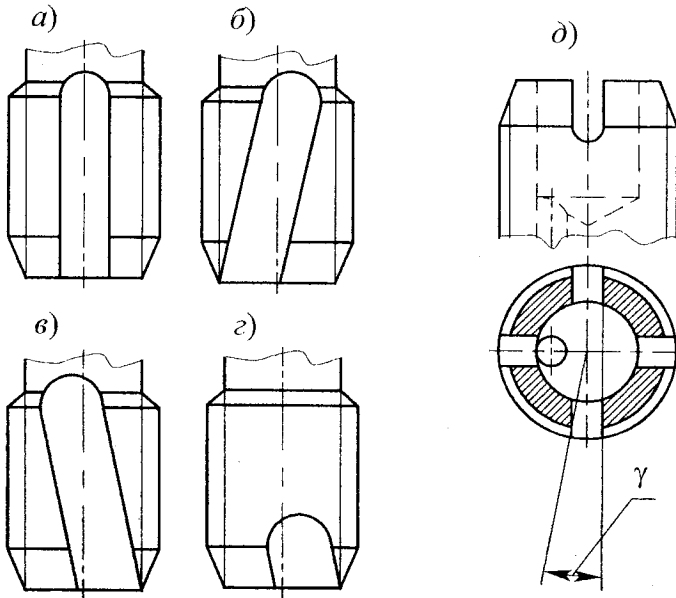


Рисунок 10.5 - Напрямы канавок

кромки (рис. 10.5 г). Така конструкція значно підвищує міцність інструменту. При нарізування різі великого діаметра конструкцію, показану на рис. 10.5 г, можна вдосконалити, створивши на торці різальної частини отвір (рис. 10.5 д, рис. 10.6), куди під тиском подається змащувально-охолоджувальна рідина (ЗОР). Процес різання відбувається за умов, коли ЗОР має вільний доступ до зони стружкоутворення: охолоджує, змащує і 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.

Кількість канавок має важливе значення, оскільки визначає товщину зрізування при роботі мітчика і впливає на величину крутильного моменту. Поширені мітчики з трьома або чотирма канавками. Досліди показують, що крутильний момент для перших на 10-20% менший, ніж для других. Чотирьоканавкові мітчики схильні до заїдання, особливо при обробці в'язких металів. Виготовлення триканавкових мітчиків дешевше, ніж чотирьоканавкових, але їх не можна вимірювати мікрометром, для цього потрібне спеціальне пристосування. Для малих мітчиків рекомендується призначати дві канавки, які легко працюють (через менший крутильний момент) і не забиваються стружкою (через великий простір для її розміщення), створюючи при цьому якісну різь. У табл. 10.1 наведені рекомендації щодо вибору кількості канавок для гайкорізів та машинних мітчиків.

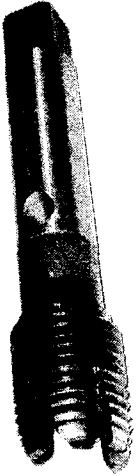


Рисунок 10.6-
Підведення
ЗОР

Таблиця 10.1 - Кількість канавок мітчиків

Оброблювані матеріали	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 виготовляються на інструментальних заводах без конкретно визначених умов їх використання, мають три, $n=3$, канавки при $d_N \leq 17$ мм і чотири, $n=4$, канавки при $d_N > 17$ мм.

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

- забезпечити достатній простір для розміщення стружки і особливо для мітчиків, які нарізують глухі отвори, коли вся стружка розміщується в канавках;
- сприяти кращому утворенню і відведенню стружки у процесі різання;

- перешкоджати різанню під час зворотного вивертання мітчика після нарізування різі;
- перешкоджати налипанню стружки, заклинюванню і пресуванню її між витками мітчика і створеної різі, щоб уникнути пошкодження вже нарізаної поверхні;
- не мати різких переходів, щоб уникнути появи тріщин при гартуванні.

Основними параметрами профілю канавки є: діаметр серцевини d_c ; ширина пера p ; радіуси заокруглень r та r_1 ; передній кут γ ; кут γ_3 біля неробочої кромки пера (рис. 10.6).

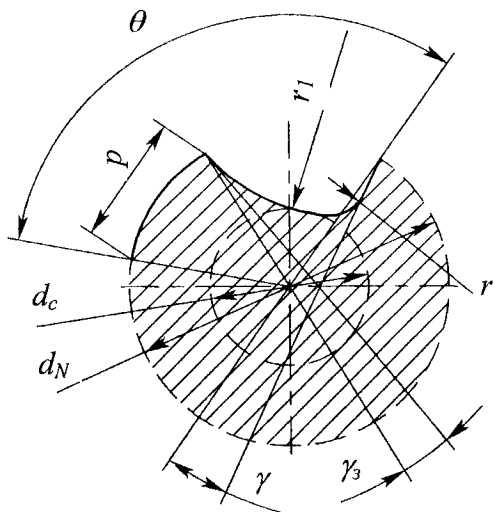


Рисунок 10.6 - Профіль канавки

Діаметр серцевини повинен бути таким, щоб забезпечити достатній простір для стружки і міцність мітчика. Пери не повинні бути широкими, оскільки із збільшенням його сильно зростають тертя і небезпека забивання канавки стружкою, що може спричинити поломку мітчика. Проте надмірно вузьке перо зменшує кількість переточувань, не дає мітчику хорошого

направлення і спричиняє вібрації, що відбивається на точності та шорсткості поверхні різі.

Мітчик у більшості випадків стає непридатним через поломку, а не у результаті повного використання всієї ширини пера. Тому серцевина і перо повинні бути мінімально допустимими (табл. 10.2). Для забезпечення плавного руху стружки і зменшення небезпеки появи тріщин при термічній

обробці профіль канавки окреслюється двома радіусами r та r_1 .

Таблиця 10.2 - Вибір діаметра серцевини і ширини пера мітчиків (в частках діаметра мітчика)

Параметр	Кількість канавок n				
	2	3	4	5	6
Діаметр серцевини 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

Розміри стружкової канавки, показаної на рис. 10.6, визначаються за формулами:

$$\theta = \frac{360^\circ}{n},$$

$$r = 0,134d_N,$$

$$r_1 = 0,56d_N.$$

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

При профілюванні канавок мітчиків і фрез для них необхідно намагатися максимально скорочувати номенклатуру фрез. Необхідно, щоб встановлена номенклатура фрез змогла обслужити не тільки всі розміри одного і того самого типу мітчиків, але також і різних їх типів, наприклад, ручних, машинних, гайкорізів і ін. Відповідно до цих вимог складено, наприклад, таблиці ГОСТ 3266-81, де встановлюються розміри мітчиків. Це дозволяє використовувати одну і ту саму фрезу для групи діаметрів мітчиків і тим самим скоротити їх номенклатуру.

Мітчик при зворотному обертанні може різати матеріал. У цьому можна переконатися при огляді стружки, що утворюється при нарізуванні, - разом із товстою стружкою є тонка у вигляді волосинок, яка і знімається неробочою кромкою пера при

зворотному обертанні. Щоб уникнути різання, а також затискання стружки під час зворотного обертання, кут γ_3 біля неробочої кромки пера 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 уздовж усього пера.

Наведені у табл. 10.2 величини d_c і p - це розміри нових мітчиків після їх заточування. При розрахунку профілів мітчика і фрези 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 табл. 10.2 наведені рекомендовані дані для вибору діаметра серцевини і ширини пера для калібрувальної частини (в частках діаметра мітчика). Для різальної частини доцільно ці значення зменшувати, помноживши діаметр серцевини 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. 10.7), який визначається 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.

Завдяки поглибленню ширина пера на різальній частині складає 0,5-0,3 ширини пера на калібрувальній частині залежно від розміру мітчика. Скіс пера забезпечує збігання напрямку сходження стружки з напрямом подачі мітчика. Стружка не нагромаджується на різальній частині, а відводиться вниз. Така конструкція зменшує величину крутильного моменту за рахунок

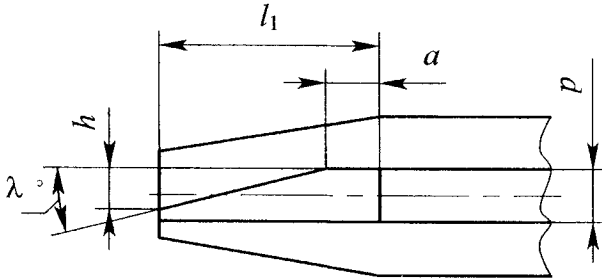


Рисунок 10.7 – Поглиблення канавки на різальній частині мітчика

кращого різання, правильного відведення стружки і меншої небезпеки її затискання. Для збільшення перерізу канавки на різальній частині рекомендується також фрезерувати канавки під кутом $30' - 1^{\circ}30'$ залежно від типу і 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 різи. Проте криволінійна форма сприяє стружкоутворенню і кращому відведенню стружки, особливо це важливо при обробці в'язких матеріалів.

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

Передній кут γ вибирається залежно від оброблюваного матеріалу. Із збільшенням кута γ поліпшуються умови для формування і відведення стружки, особливо при обробці м'яких і в'язких матеріалів, і зменшується шорсткість нарізуваної 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 призначається залежно від діаметра: при $d_N \leq 3,5$ $\gamma=8^\circ$, а при $d_N > 3,5$ $\gamma=10^\circ$. Коли ж заздалегідь відомо, який матеріал буде оброблятися, то тоді при обробці крихких та пружних матеріалів (чавун, бронза, титанові та молибденові сплави) $\gamma=0-5^\circ$ при обробці пластичних матеріалів (сталь середньої твердості, латунь) $\gamma=8-100$, а при обробці надпластичних матеріалів (мідь, легкі сплави, м'яка сталь) $\gamma=16-25^\circ$.

У випадку, коли канавка на різальній частині поглиблена, 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 при переточуванні (залежно від умов обробки) рекомендується 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 і розміру мітчика, а також і 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 застосовуються мітчики з меншим кутом α , ніж для наскрізних. Можна рекомендувати для машинних мітчиків і гайкорізів $\alpha=8-10^\circ$. При обробці 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 мітчиків загального призначення α береться таким, що дорівнює 4° .

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

Затилювання звичайно виконується по Архімедовій спіралі, і величина його визначається за формулою

$$K = \frac{\pi d_T}{n} \operatorname{tg} \alpha, \quad (10.6)$$

де d_T - діаметр переднього торця мітчика;
 n - кількість пер.

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

Шліфовані мітчики затилують також і на калібрувальній частині, оскільки інакше у процесі роботи можливе значне прилипання (приварювання) частинок металу до витків різі мітчика, і нарізування у кожному подальшому отворі ускладнюється. Це може навіть спричинити поломку мітчика. Для зменшення тертя затилують не тільки по зовнішньому діаметру, але також і по всьому профілю різі мітчика. Величина затилування повинна бути мінімальною, щоб уникнути затискання стружки при зворотному обертанні. Вона може бути визначена з розрахунку пониження пера на 0,014-0,019 його ширини 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 із конкретних умов експлуатації інструмента. Для того щоб мітчик мав достатню опорну поверхню, хороше направлення 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 виконується від різальної кромки без утворення будь-якої фаски (що спостерігається у більшості випадків), то тоді при переточуваннях по передній поверхні середній діаметр різі мітчика буде зменшуватися. А це вимагає створення гарантованого запасу на зношення.

У нешліфованих мітчиків затилування виконується тільки 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; з'являється небезпека,

що при зворотньому обертанні мітчика може відбутися затискання стружки між затилованою поверхнею і нарізаною різьою, пошкодження її і навіть поломка мітчика.

Нешліфовані гайкорізи обов'язково повинні бути затиловані по зовнішньому діаметру і на калібрувальній частині, оскільки при обробці гайок мітчик не вивертається після нарізування, тому тут не доводиться остерігатися пошкодження різі затилованою поверхнею.

Стоншення калібрувальної частини. Для зменшення крутильного моменту і тертя між мітчиком і нарізаними витками, а також для зменшення розбиття нарізного отвору мітчики мають стоншення калібрувальної частини, тобто всі три діаметри різі (для накатних тільки середній та внутрішній) біля хвостовика менші, ніж біля першого калібрувального витка. Орієнтовно для мітчиків із шліфованим профілем різі і накатаних мітчиків стоншення складає 0,05-0,10 мм на 100 мм довжини. Для мітчиків з нешліфованим профілем різі, виготовлених шляхом зняття стружки, - 0,08-0,12 мм. Для мітчиків, призначених для нарізування різі на деталях із легких сплавів, величина стоншення складає 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 ($d_{2N \min} - D_{2 \min}$).

Граничні відхилення середнього діаметра різі мітчика вимірюються на відстані одного-двох витків від середини довжини різальної частини (у бік калібрувальної частини) для гайкорізів і на початку калібрувальної частини для машинних мітчиків.

Приєднувальна частина мітчиків призначена в основному передавати крутильний момент. Це хвостовик, який закінчується квадратом. Діаметр хвостовика повинен бути менший 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 з глибиною, більшою, ніж довжина робочої

частини.

Для запобігання поломок у дрібних мітчиків хвостовик може бути товстішим або таким, що дорівнює зовнішньому діаметру мітчика.

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

$$L = 25\sqrt{d_N}. \quad (10.7)$$

Для виготовлення, заточування і перевірки мітчики мають центрувальні отвори на обох торцях. У дрібних мітчиків з потовщеним хвостовиком замість центрувальних отворів роблять зовнішні центри з кутом 75° . У машинних мітчиків конструкція хвостовика залежить від типу патрона. Згідно з ГОСТ 3266-81 хвостовик машинних мітчиків забезпечується кільцевою виточкою і квадратом (рис. 10.8).

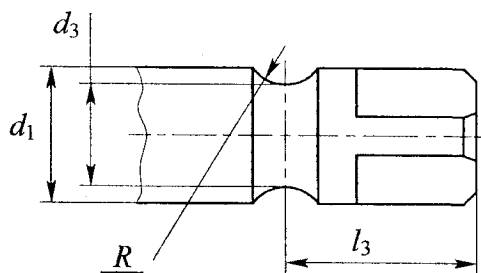


Рисунок 10.8 – Хвостовик машинного мітчика

Гайкорізи з коротким хвостовиком (ГОСТ 1604-71) звичайно викручуються з отвору після нарізування різи. Гайкорізи з довгим хвостовиком (ГОСТ 6951-71) дозволяють у процесі нарізування утримувати на хвостовикові декілька гайок, завдяки чому немає необхідності вивертати або виймати мітчик з патрона кожного разу після нарізування однієї гайки. У промисловості встановлені розміри для так званих верстатних гайкорізів, відмінних від гайкорізів з довгим хвостовиком тим, що їх довжина може мати тільки три значення, мм: 180 - для мітчиків діаметром 6-12 мм; 250 - для мітчиків діаметром 9-27 мм; 350 - 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 забезпечуються іншими елементами для передавання крутильного моменту.

Гайкорізи у процесі нарізування повинні періодично вийматися з патрона для видалення нарізаних гайок. Це створює зайву витрату часу. Для підвищення продуктивності застосовують мітчики із зігнутим хвостовиком (рис. 10.9), який дозволяє викидати готові гайки, не виймаючи мітчик з патрона, ГОСТ 6951-71.

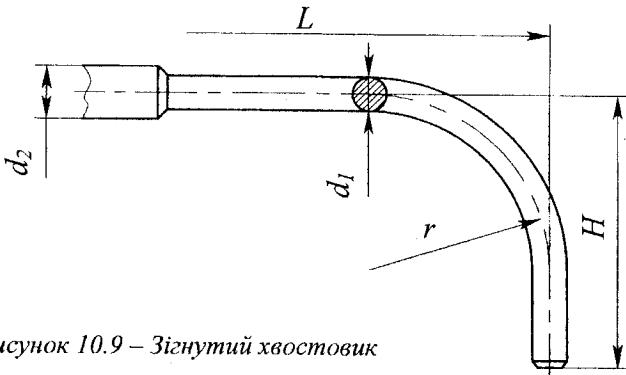


Рисунок 10.9 – Зігнутий хвостовик

10.2 Розміри різи мітчиків

ГОСТ 16925-71 передбачає мітчики чотирьох класів точності: 1-го, 2-го, 3-го та 4-го. Мітчики класів 1,2,3 виготовляються в основному із шліфованим профілем, а мітчики класу 4 - з нешліфованим профілем. Найвищий клас точності мітчика створює різи з найвищим ступенем точності. Точність різи, нарізуваної мітчиком, залежить від багатьох чинників. Тому мітчик визначеного класу точності може створювати різь відповідного ступеня точності, але це не обов'язково так – вона може бути і гіршою.

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

Середній діаметр, зовнішній діаметр і внутрішній діаметр мітчика дорівнюють відповідним діаметрам внутрішньої різі: $d_{2N} = D_2$, $d_N = D$, $d_{1N} = D_1$. Для метричної різі ряди зовнішніх діаметрів D встановлює ГОСТ 8724-58, а за призначенням зовнішнім діаметром можна визначити середній і внутрішній діаметри [6] (табл. 10.3).

Таблиця 10.3 - Розміри середнього і внутрішнього діаметрів метричних різей (ГОСТ 16967-81)

Крок різі P	Діаметри внутрішньої різі		Крок різі P	Діаметри 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	$D-4+0,103$	$D-7+0,505$

На рисунку 10.10 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.

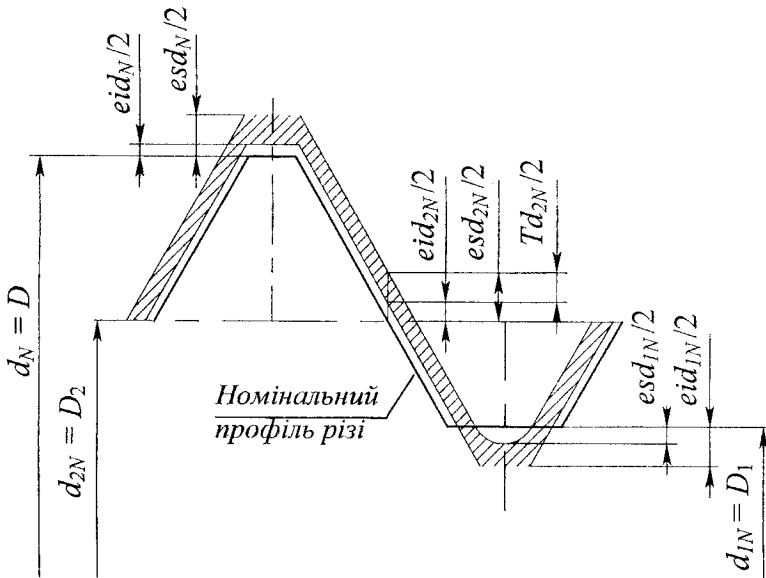


Рисунок 10.10 - Відхилення діаметрів різі мітчика

10.3 Допуски на параметри різі мітчиків

Допуски встановлюються 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 і т. ін.) і правильності його встановлення на верстаті. Для мітчиків з нешліфованою різзю необхідно враховувати також і спотворення її профілю при термічній обробці. ГОСТ 16925-71 передбачає

граничні відхилення $\frac{\alpha}{2}$ для мітчиків (табл. 10.4).

Крок різі залежить від точності механізму верстата, який створює різь на мітчику, і похибки термічної обробки. Верстати забезпечують точність кроку різі $\pm 0,01$ мм. При термічній обробці спотворення виходять значно більшими, приблизно $\pm(0,04-0,07)$ мм на 25 мм довжини. Мітчики із шліфованою різью похибки від термічної обробки не мають, оскільки вона виправляється при шліфуванні, і точність їх кроку залежить винятково від точності різешліфувальних верстатів. Вони можуть шліфувати різь з точністю кроку у межах 0,003 - 0,008 мм.

Таблиця 10.4 – 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

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

$$Td_{2N} = 0,2TD_2(5), \quad (10.8)$$

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

Допуск на середній діаметр мітчиків 4-го класу точності дорівнює

$$Td_{2N} = 0,4TD_2(5). \quad (10.9)$$

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 [13]

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

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 по середньому діаметру отвору, нарізаного мітчиком.

Вірогідне значення середнього діаметра калібру розміщується близько до номінального і діаметральна компенсація відхилень кроку і кута профілю різевого прохідного калібру незначна порівняно з величиною розбиття отвору по середньому діаметру. На підставі цього цілком допустимо при 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 вибираються різними, тому і значення f_p^M та f_α^M також будуть різними: для мітчиків класу 1, 2, 3 - меншими, а для мітчиків класу 4 - більшими (за умови однакової величини розбиття отвору по середньому діаметру). 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 по середньому діаметру.

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 ГОСТ 16093-81 (табл. 10.5).

Таблиця 10.5 – Формули для розрахунку нижнього відхилення середнього діаметра мітчика

Клас точності мітчика	Нижнє відхилення середнього діаметра	Номер формули
1	$eid_{2N} = 0,1TD_2(5)$	(10.10)
2	$eid_{2N} = 0,3TD_2(5)$	(10.11)
3	$eid_{2N} = 0,5TD_2(5)$	(10.12)
4	$eid_{2N} = 0,3TD_2(5)$	(10.13)

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 у 2 рази.

Верхнє відхилення для середнього діаметра різі мітчика розраховується як

$$esd_{2N} = eid_{2N} + Td_{2N}. \quad (10.14)$$

А допуск на середній діаметр мітчика залежить від допуску на нарізувану різь (10.8)-(10.9).

Спираючись на ці співвідношення, можна вибрати клас мітчика залежно від допуску на середній діаметр нарізуваної різі (табл. 10.6).

Таблиця 10.6 – 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.10.11), будь-який мітчик можна використовувати для нарізування різі з будь-яким основним відхиленням, якщо тільки 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.

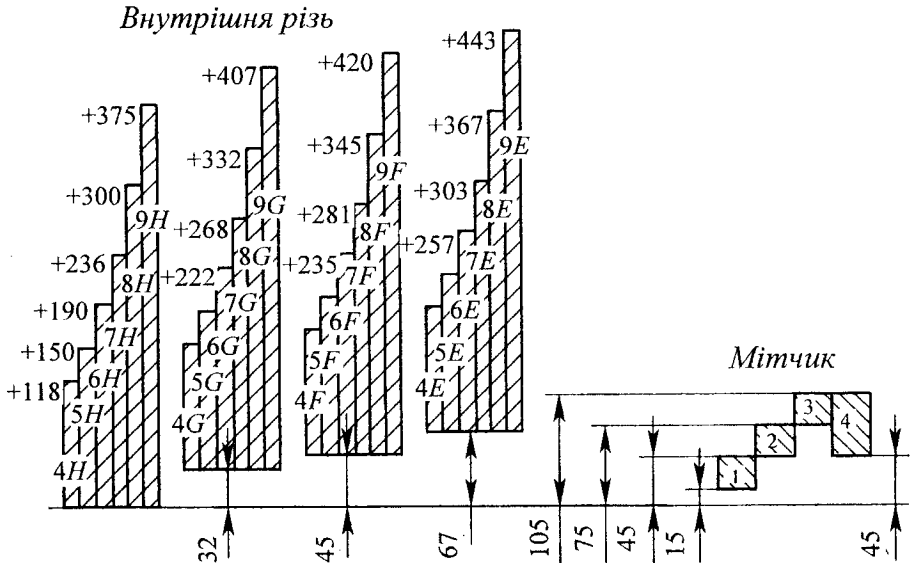


Рисунок 10.11 – Схема відносного положення полів допусків на середній діаметр внутрішньої різі і мітчика $\varnothing 22$ мм, $P=1,5$ мм

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.

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 при термічній обробці і працюють в умовах гіршого відведення тепла.

Тому необхідно для зовнішнього діаметра призначити 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 призначити допуск і на зовнішній діаметр [10] мітчика. Проте ГОСТ 16925-71 все-таки передбачає допуск на зовнішній діаметр різі мітчика (рис. 10.12), оскільки за відсутності регламентованого допуску

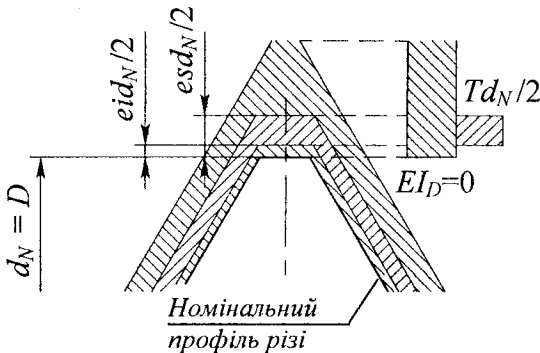


Рисунок 10.12 - Схема допусків на зовнішній діаметр внутрішньої різі і мітчика

до споживача можуть надійти мітчики з надмірно гострими і

маломіцними вершинами витків. Це може спричинити підвищене зношення мітчика по зовнішньому діаметру.

При визначенні верхнього відхилення бажано, щоб ширина вершини різі мітчика, відсічена горизонтальною лінією теоретичного профілю, складала приблизно 0,6 від ширини теоретичного профілю (див.рис.10.12). Але це не вдається зробити при малих кроках. І навіть щоб уникнути отримання надмірно загостреної різі у мітчиків із кроком різі 0,2-0,75 мм, стандартом визначається тільки нижнє відхилення.

Аналіз таблиць ГОСТ 16925-71 показує, що співвідношення між Td_N та Td_{2N} залежить від кроку різі P

$$Td_N = Td_{2N} \cdot e^{0,686(\ln P+1)}. \quad (10.15)$$

Нижнє відхилення на зовнішній діаметр різі мітчика, що проектується, визначається через допуск на середній діаметр нарізуваної внутрішньої різі, але 5-го ступеня точності - за ГОСТ 16093-81

$$eid_N = 0,4TD_2(5). \quad (10.16)$$

Тоді верхнє відхилення зовнішнього діаметра дорівнює

$$esd_N = eid_N + Td_N. \quad (10.17)$$

Внутрішній діаметр. Внутрішній діаметр мітчика d_{IN} (рис.10.13) не повинен контактувати з металом заготовки при різанні. Це стосується усіх різенарізних іструментів. Для них важливо виключити з роботи різальну кромку, яка знаходиться на дні западини витків. Звичайно це досягається шляхом невеликого збільшення висоти ніжки профі-

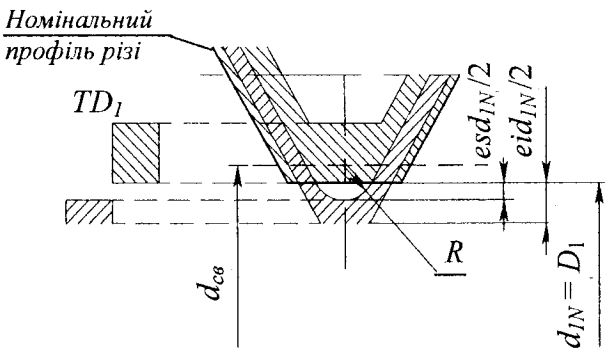


Рисунок 10.13 - Схема допусків на внутрішній діаметр внутрішньої різі і мітчика

ривання. Це стосується усіх різенарізних іструментів. Для них важливо виключити з роботи різальну кромку, яка знаходиться на дні западини витків. Звичайно це досягається шляхом невеликого збільшення висоти ніжки профі-

лю різі мітчика або за допомогою збільшення попереднього отвору під різь.

При нарізуванні різі мітчиком можливе більше або менше (залежно від ступеня в'язкості) деформування оброблюваного матеріалу. Якщо просвердлити отвір під різь, нарізувану мітчиком, свердлом з діаметром, який 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, $d_{cs} > D_1$ (див. рис. 10.13). Тому верхнє відхилення внутрішнього діаметра мітчика

$$esd_{1N} \leq 0. \quad (10.18)$$

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 усі 30%, а тільки наполовину від цього числа (тобто на 15%), то діаметр свердла можна визначити як

$$d_{cs} = d_{1N} + 0,15(d_N - d_{1N}). \quad (10.19)$$

Для цього западину різі мітчика заокруглюють (див.рис.12). Максимальний радіус заокруглення R розраховується залежно від величини зменшення найбільшого внутрішнього діаметра мітчика і коливається у 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 при виготовленні мітчика дотримуватися мінімальних розмірів або навіть зменшувати їх проти номінальних. Навпаки, для крихких матеріалів (наприклад, пластмаси, ебоніту і т.і.) 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.

Алгоритм проектування мітчиків наведений у таблиці 10.7.

Таблиця 10.7 - Послідовність розрахунків і конструювання мітчика

Номер	Назва етапу	Формули 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
<i>Гайкоріз</i>		
8	Призначити кут φ	$\varphi=3,5^\circ$
9	Визначити довжину різальної частини	$l_1 = \frac{d_{N \min} - d_{cc}}{2 \operatorname{tg} \varphi (1-f)},$ $f = 0,31 - 0,004d_N,$ $d_{cc} = d_{1N} + 0,15(d_N - d_{1N})$
10	Визначити довжину калібрувальної частини	$l_2 \approx 8$ витків
<i>Машинний мітчик</i>		
11	Визначити довжину різальної частини	Наскрізний отвір: $l_1=6P$ Глухий отвір: $l_1=2P$
12	Розрахувати кут φ	$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d_{N \min} - d_{cc}}{2l_1(1-f)},$ $d_{cc} = d_{1N} + 0,15(d_N - d_{1N})$

Продовження таблиці 10.7

1	2	3
<i>Дані для усіх мітчиків</i>		
13	Розрахувати довжину мітчика	$L = 25\sqrt{d_N}$
14	Визначити довжину калібрувальної частини	$l_2 = 12$ витків
15	Розрахувати товщину зрізування	$a = \frac{P \operatorname{tg} \varphi}{n}$, ($a_{\min} = 0,02$, $a_{\max} = 0,15$)
16	Розрахувати діаметр торця	$d_T = d_{\text{вн}} - 2l_1 f \operatorname{tg} \varphi$
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	$\theta = \frac{360^\circ}{n}$, $r = 0,134 d_N$, $r_1 = 0,56 d_N$
20	Призначити кут нахилу стружкової канавки	ω
21	Спроекувати приєднувальну частину	ГОСТ 3266-81, ГОСТ 6951-71
22	За необхідності скорегувати стружкову канавку	$\operatorname{tg} \lambda = \frac{h}{l_1 - a}$

10.4 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 показують у збільшеному вигляді. Показати геометрію.

На кресленні повинні бути усі розміри, допуски на лінійні і кутові розміри, на похибки форми та розміщення поверхонь. Необхідно позначити шорсткість поверхонь, записати технічні вимоги.

Обов'язково накреслити профіль різи 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 кромek, 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.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грановский Г.И. Металлорежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация: Справочное пособие. – М.: Машгиз, 1954. – 315 с.
2. Климов В.И. и др. Справочник инструментальщика-конструктора.- М.-Свердловск: Машгиз, 1958. – 608 с.
3. Литвин Ф.Л.Теория зубчатых зацеплений. - М.: Наука, 1968.-584 с.
4. Маргулис Д.К. Протяжки для обработки отверстий. –М.: Машиностроение, 1986. - 296 с.
5. Металлорежущий инструмент со сменными пластинами – М: МКТС, концерн Sandvic. – 1997. -180 с.
6. Мягков В.Д., Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки: Справочник. - Л.: Машиностроение, 1979. -- Ч.1-2. - 1032 с.
7. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. - М.: Машиностроение, 1976. - 288 с.
8. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. - К.: Вища школа, 1974. – 400 с.
9. Родин П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием. - К.: Вища школа, 1977. – 192 с.
10. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов/Под ред. Г.П.Кирсанова.-М.: Машиностроение,1986.-288 с.
11. Самойлов В.С., Эйхманс Э.Ф., Фальковский В.А. и др. Металлообработывающий твердосплавный инструмент: Справочник. - М.: Машиностроение, 1988. - 368 с.
12. Сахаров Г.Н., Арбузов О.Б., Боровой Ю.Л. и др. Металлорежущие инструменты. – М.: Машиностроение, 1989. -385 с.
13. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963.- 952 с.
14. Таратынов О.В., Земсков Г.Г., Тарамыкин Ю.П. и др. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ. - М.: Высшая школа, 1991.-423 с.
15. Щеголев А.В. Конструирование протяжек. – М.-Л.: Машгиз, 1952. - 327 с.

Навчальне видання

Швець Станіслав Володимирович

МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ

Навчальний посібник

Відповідальний редактор С.М.Симоненко
Редактор Н.В.Лисогуб
Комп'ютерне верстання С.В.Швеця

Підп. до друку 05.03.2007.
Тираж 300 пр.
Вид. №195.

Формат 60×84/16. Обл.-вид. арк. 10,16.
Папір офс. Ум. друк. арк. 10,93.
Друк офс. Зам. № 222.

Видавництво СумДУ при Сумському державному університеті
40007, Суми, вул. Р.-Корсакова, 2
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
ДК№2365 від 08.12.2005р.
Надруковано у друкарні СумДУ
40007, Суми, вул. Р.-Корсакова, 2.