

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського”

В. І. Солодкий

**КОНСТРУКТОРСЬКЕ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СИСТЕМ
ОСНОВИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА**

*Затверджено Вченою радою
КПІ ім. Ігоря Сікорського
як підручник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальністю 131 – Прикладна механіка*

КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ – 2022

Рецензенти: Леонід ДЕВІН – док-р техн. наук, “Інститут надтвердих матеріалів” НАН України.

Олександр КЛОЧКО – док-р техн. наук, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”.

Відповідальний редактор Дмитро КРАСНОВИД – канд. техн. наук, Національний технічний університет України “КПІ ім. Ігоря Сікорського”.

*Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 4 від 27.06.2022 р)*

Електронне мережне навчальне видання

Солодкий Валерій Іванович, канд. техн. наук, доц.

КОНСТРУКТОРСЬКЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СИСТЕМ ОСНОВИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Конструкторське забезпечення інструментальних систем: Основи різального інструмента [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / В. І. Солодкий – Електронні текстові дані. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 331 с.

У підручнику розглянуті основні питання конструкторського забезпечення інструментальних систем у частині основ різального інструмента. Наведені основні відомості відносно застосування та конструкції основних різальних інструментів, які мають поширення у сучасному машинобудуванні. Наведені приклади елементарних розрахунків для проектування різального інструмента.

Для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів та фахівців спеціальності 131 – Прикладна механіка.

© В. І. Солодкий
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

Моєму вчителеві, нині покійному
професору Родіну Петру Родіоновичу,
чия світла пам'ять супроводжувала
роботу над рукописом.

Солодкий В.І.

ДО ЧИТАЧА

В основу підручника покладено багаторічний досвід викладання курсу “Конструкторське забезпечення інструментальних систем. Основи різального інструмента” в Київському політехнічному інституті.

Матеріал підручника викладено у послідовності від загальних базових питань до більш складних за змістом.

Викладений матеріал можна розглядати, як базові основи вивчення різального інструмента, що відповідає назві предмета.

*Україна
Київ, 2022.*

Зміст

ВСТУП	14
Посилання	23
1 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	24
1.1 Класифікація інструментів	24
1.2 Конструктивні елементи	27
1.2.1 Головні елементи	27
1.2.2 Типи інструментів за конструкцією	28
1.2.3 Абразивний інструмент	32
1.3 Елементи різання	33
1.3.1 Різальне лезо	33
1.3.2 Рухи різання	35
1.4 Нормуючі елементи	36
1.4.1 Системи координат	36
1.4.2 Координатні площини	38
Запитання для самоконтролю	41
Посилання	42
2 ВИМОГИ ДО ІНСТРУМЕНТІВ	43
2.1 Якість інструмента	43
2.2 Руйнування інструмента	48
2.3 Надійність інструментів	50
2.4 Міцність інструмента	54
2.5 Працездатність	54
2.5.1 Відмова інструмента	54
2.5.2 Відновлення інструмента	56
2.6 Перспективи	58
Запитання для самоконтролю	64
Посилання	65
3 КОНСТРУЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ	66
3.1 Мета, завдання і методи проектування	66
3.2 Технічне завдання на проектування	69
3.3 Етапи конструювання	70
3.4 Частини інструмента	71
3.5 Технологічність інструмента	72
3.6 Кріплення інструментів	73
3.6.1 Спосіб кріплення інструмента	74
3.7 Швидкозмінність інструмента	76
3.7.1 Швидкозмінні хвостовики	76
3.7.2 Швидкозмінні різальні елементи	77

3.7.3	Напрямна частина	78
3.7.4	Матеріал напрямної частини	79
3.8	Автоматизоване виробництва	80
3.9	Організація проектування	83
3.10	Робочий кресленик	84
	Запитання для самоконтролю	86
	Посилання	87
4	ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ	88
4.1	Типи інструментальних матеріалів	88
4.2	Вимоги до інструментальних матеріалів	90
4.3	Вуглецеві інструментальні сталі	95
4.4	Леговані сталі	99
4.5	Швидкорізальні сталі	103
4.5.1	Структура швидкорізальних сталей	106
4.5.2	Технологія термічної обробки	107
4.5.3	Типи швидкорізальних сталей	108
4.6	Тверді сплави	109
4.6.1	Групи сплаву	111
4.6.2	Міжнародна практика	112
4.7	Мінералокераміка	115
4.8	Алмази	118
4.9	Синтетичні матеріали	119
4.10	Порівняння матеріалів	119
	Запитання для самоконтролю	121
	Посилання	122
5	ТОКАРНІ РІЗЦІ	123
5.1	Конструкція та геометрія	130
5.2	Форма передньої поверхні	132
5.3	Геометричні параметри	136
5.4	Проектування різців	145
5.4.1	Переріз оправки	145
5.4.2	Кріплення різальної пластини	149
5.5	Перспективи різців	153
	Запитання для самоконтролю	158
	Посилання	159
6	ФАСОННІ РІЗЦІ	160
6.1	Призначення та класифікація	160
6.2	Геометрія фасонних різців	162
6.2.1	Радіальні різці	162
6.2.2	Тангенціальні різці	163
6.3	Конструктивні елементи	164

6.4	Проектування фасонних різців	167
6.4.1	Круглі фасонні різці	167
6.4.2	Призматичний різець	168
	Запитання для самоконтролю	170
	Посилання	171
7	ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ	172
7.1	Свердла	174
7.1.1	Конструктивні елементи свердла	176
7.1.2	Геометричні параметри свердла	178
7.1.3	Свердла для глибоких отворів	185
7.1.4	Твердосплавні свердла	187
7.1.5	Кільцеве свердло	188
7.1.6	Утворення стружки при свердлінні	189
7.1.7	Фактори, що впливають на свердло	189
7.1.8	Проектування свердла	192
7.1.9	Залежності та визначення	195
7.1.10	Свердла автоматизованого виробництва	196
7.2	Зенкери	201
7.2.1	Типи зенкерів	202
7.2.2	Конструктивні параметри	204
7.2.3	Геометричні параметри зенкеру	205
7.3	Розвертки	208
7.3.1	Конструкція розвертки	209
7.3.2	Геометричні параметри розвертки	213
7.3.3	Типи розверток	216
7.3.4	Знос розверток	219
7.3.5	Проектування розверток	220
7.3.6	Розвертки автоматизованого виробництва	222
	Запитання для самоконтролю	226
	Посилання	227
8	ПРОТЯЖКИ	228
8.1	Конструкція протяжки	231
8.2	Різальні та калібрувальні зубці	238
8.3	Схеми різання при протягуванні	240
8.3.1	Одинарна схема різання	240
8.3.2	Груповая схема різання	244
8.4	Подача на зуб	246
8.5	Процес стружкоутворення	248
8.6	Зуби протяжки	250
8.7	Загальна методика проектування	252
	Запитання для самоконтролю	255
	Посилання	256

9 РІЗБОНАРІЗНІ ІНСТРУМЕНТИ	257
9.1 Різьбові різці	258
9.1.1 Проектування різців	262
9.2 Мітчики	265
9.2.1 Конструкція мітчика	265
9.2.2 Зрізання припуску	266
9.2.3 Геометричні параметри мітчика	267
9.2.4 Мітчики машинні	268
9.2.5 Проектування мітчиків	272
9.3 Плашки	273
9.4 Різьбонарізні фрези	280
9.5 Різьбоканатні інструменти	282
9.5.1 Накатні плашки	284
9.5.2 Накатні ролики	284
Запитання для самоконтролю	285
Посилання	286
10 АБРАЗИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ	287
10.1 Знос та відновлення	288
10.1.1 Знос	288
10.1.2 Відновлення	291
10.2 Характеристики інструмента	292
10.2.1 Форма абразивного інструмента	293
10.2.2 Склад абразивного матеріалу	294
10.2.3 Зернистість	297
10.2.4 Зв'язка	298
10.2.5 Твердість абразивного інструмента	300
10.2.6 Структура	302
10.3 Маркування	303
10.4 Вибір абразивного інструмента	305
10.5 Кріплення	311
10.6 Випробування та балансування	314
10.7 Відновлення працездатності	315
10.8 Загострення різального інструмента	318
Запитання для самоконтролю	320
Посилання	321
ДОДАТКИ	322
A Глосарій за ISO 13399	323
A.1 Терміни за позначеннями	323
A.2 Терміни за абеткою	326
Посилання	329

Перелік ілюстрацій

0.1	Первісний свердлувальний верстат	15
0.2	Свердлувальний верстат 19 ст.	15
0.3	Хронометр Гаррісона	16
0.4	Ножний верстат	17
0.5	Верстат Жака Бессона	17
0.6	Верстат Нартова	18
0.7	Книга Жака Вокансона	18
0.8	Токарний верстат Генрі Модслі 1797 р.	19
0.9	Тейлор Ф.У.	19
1.1	Елементи інструмента.	27
1.2	Розвертка	28
1.3	Свердла суцільні та складені	29
1.4	Свердло однолезове та багатолезове	30
1.5	Розвертка хвостова та насадна	31
1.6	Фреза периферійного та торцевого різання	32
1.7	Абразивні інструменти.	33
1.8	Різальне лезо	33
1.9	Елементи різця	33
1.10	Елементи леза	34
1.11	Елементи руху	35
1.12	Статична система координат	37
1.13	Кінематична система координат	39
2.1	Непрацездатність інструмента	49
2.2	Надійність інструмента	51
2.3	Різальна кераміка	58
2.4	Покриття	59
2.5	Багатошарове покриття	61
3.1	Зміст технологічної карти	70
3.2	Робоча та приєднувальна частини інструмента	72
3.3	Технологічність інструмента.	73
3.4	Плаваючий патрон.	74
3.5	Патрон кочення та сильфонний.	75
3.6	Штифтовий хвостовик	76
3.7	Змінний різальний елемент	77
3.8	Інструмент настроюваний на розмір	77
3.9	Напрямна інструмента	78
3.10	Модульна система верстатів токарної групи	82
3.11	Змінний розточувальний модуль	82
4.1	Позначення умов оброблення	90
4.2	Пластина твердого сплаву	111
5.1	Токарна обробка.	123
5.2	Різець цільний	123

5.3	Різець складений	123
5.4	Різець токарний	124
5.5	Різець лівий та правий	124
5.6	Різновиди точіння	126
5.7	Різець відрізний	127
5.8	Змінна пластина	134
5.9	Передня поверхня змінних пластин	134
5.10	Передня поверхня змінної пластини	134
5.11	Стружколом накладний	135
5.12	Охолодження під тиском	136
5.13	Геометричні параметри токарного різця	138
5.14	Округлення вершини	144
5.15	Кріплення зверху	149
5.16	Кріплення важелем	150
5.17	Гвинт з ексцентриситетом	151
5.18	Кріплення на конусі	152
5.19	Нестандартні кріплення	154
5.20	Складені токарські різці	156
6.1	Фасонні токарні різці	161
6.2	Круглий фасонний різець	162
6.3	Призматичний фасонний різець	162
6.4	Геометричні параметри радіальних різців	163
6.5	Тангенціальний фасонний різець	163
6.6	Конструктивні параметри призматичних різців	165
6.7	Конструктивні параметри круглих різців	166
6.8	Визначення профілю круглого фасонного різця	168
6.9	Визначення профілю призматичного фасонного різця	169
7.1	Свердління	172
7.2	Зенкерування	173
7.3	Розвертування	173
7.4	Свердло лучкове	174
7.5	Свердлувальний “верстат”	175
7.6	Оригінал патенту на свердло	175
7.7	Стандартне спіральне свердло	176
7.8	Геометричні параметри свердла	180
7.9	Кути вздовж кромки	180
7.10	Знос свердла	184
7.11	Свердло для глибокого свердління	185
7.12	Свердло твердосплавне	187
7.13	Кільцеве свердло	188
7.14	Профіль фрези	194
7.15	Схема свердла автоматизованого виробництва:	197
7.16	Свердло із змінними пластинами	198
7.17	Свердло корпорації TaeguTec	199

7.18	Свердло корпорації Karnasch	200
7.19	Свердло модульного типу	201
7.20	Зенкер цільний	203
7.21	Зенкер насадний	203
7.22	Елементи циліндричного зенкера	206
7.23	Геометричні параметри зенкеру	207
7.24	Робота розвертки.	209
7.25	Розвертки цільні.	210
7.26	Розвертки складені	211
7.27	Профіль канавок розвертки.	213
7.28	Геометричні параметри розвертки.	214
7.29	Розвертка розрізна	216
7.30	Розвертка розсувна	217
7.31	Конічні розвертки	218
7.32	Машинні розвертки	219
7.33	Знос розвертки на калібрувальній частині	219
7.34	Допуски розвертки	221
7.35	Розвертка цільна	224
7.36	Розвертка насадна	225
8.1	Протяжка внутрішня	229
8.2	Робота протяжки.	230
8.3	Основні елементи протяжки.	232
8.4	Передній хвостовик	233
8.5	Передня частина протяжки	235
8.6	Протяжка на верстаті	237
8.7	Задній хвостовик та задня напрямна.	238
8.8	Різальний зуб	239
8.9	Калібруючий зуб	239
8.10	Протяжка групової схеми різання	244
8.11	Групова схема різання	244
8.12	Групова протяжка круга	245
8.13	Форма стружкової канавки.	252
9.1	Різці різьбові фасонні.	258
9.2	Утворення різьби токарним різцем	258
9.3	Різцева призматична вставка	261
9.4	Круглий різьбовий різець	262
9.5	Різець різьбовий	262
9.6	Кути круглого різця	264
9.7	Комплект ручних мітчиків.	265
9.8	Формування профілю різьби.	266
9.9	Розподіл припуску між мітчиками	266
9.10	Геометричні параметри мітчика	267
9.11	Затилювання мітчика	267
9.12	Геометрія затилювання	268

9.14	Видалення стружки.	269
9.13	Мітчик машинний	269
9.15	Мітчик з укороченою стружковою канавкою.	270
9.16	Гайковий прямий мітчик	270
9.17	Гайковий вигнутий мітчик	270
9.18	Плашка.	274
9.19	Плашка кругла	275
9.20	Зуб плашки	278
9.21	Фреза різьбова дискова.	281
9.22	Фрези різьбові гребінчасті.	281
9.23	Накатування різьби.	283
9.24	Накатна плашка	284
10.1	Схеми шліфування	288
10.2	Типи зносу	290
10.3	Структура абразивного інструмента	302
10.4	Кріплення абразивних кругів	313
10.5	Пристрій для балансування кругів	315
10.6	Правка олівцем	317
10.7	Шарошка	318

Перелік таблиць

1.1	Металорізальні інструменти	26
4.1	Вуглецеві сталі	95
4.2	Хімічний склад вуглецевих сталей	96
4.3	Інструмент з вуглецевої сталі	99
4.4	Позначення легуючих елементів	99
4.5	Малолеговані сталі	100
4.6	Склад малолегованих сталей	101
4.7	Швидкорізальні сталі	104
4.8	Склад швидкорізальних сталей	105
4.9	Застосування твердого сплаву	114
4.10	Інструментальні матеріали	120
5.1	Форми заточування різців	133
7.1	Форми підточки свердла	186
7.2	Основні типи зенкерів	203
8.1	Розміри хвостовиків за рис.8.4, мм	234
8.2	Протяжні верстати	237
8.3	Одинарна схема різання	241
8.4	Подача на зуб	247

Не буде країн багатих та бідних –
будуть країни освічені та ті що
птопають у нецтві.

Ф. У. Тейлор

ВСТУП

У підручнику розглянуті питання пов'язані із проектуванням, застосуванням та виготовленням металорізального інструмента базових конструкцій. За можливістю кожен інструмент супроводжує коротка історична довідка його виникнення.

Неможливо вивчати різальний інструмент, не знаючи
верстати на яких вони застосовуються.

Не треба вважати, що весь сучасний інструмент з'явився одразу в сучасній конструкції. Багато інструментів, котрі застосовують на сучасних верстатах оснащених комп'ютерним керуванням, насправді існувало ще задовго до появи електрики та механізмів, які називають верстатами.

Історія виникнення і розвитку металорізальних інструментів невід'ємна від історії виникнення і розвитку не тільки машинобудування та металообробки, але й цивілізації в цілому.

Дуже давно, коли людям, які вже навчилися обробляти камінь, вперше потрапили в руки самородки міді, навіть дуже прості вироби з неї здалися кращими і кориснішими за предмети, витесані з каменю.

Саме в процесі вдосконалення навичок роботи з металом були створені – спочатку примітивні, а згодом і досконаліші прийоми металообробки, що стали базисом сучасної технологічної культури.

Залізний вік прийшов на зміну бронзовому і став для людства перехідним періодом до відкриття та початку повсюдного використання нових прийомів обробки металів. Людство вже давно освоїло кування, а тепер і примітивне лиття металевих виробів, хоча ці способи не дозволяли виготовляти всі необхідні в побуті та потрібні для творчої праці інструменти.

Навіть проблема надмірної м'якості заліза за допомогою багаторазового відпалу та збагачення його вуглецем була успішно вирішена.

Однак для отримання більш досконалих виробів потрібно було навчитися робити в залізних отворах. Частково ця проблема вирішувалася в процесі лиття, але цим способом неможливо було забезпечити точні отвори невеликого розміру.

Первісний пристрій для свердління отворів нагадував стрілецький лук, який для більшої ефективності обтягувався камінням (рис. 0.1).

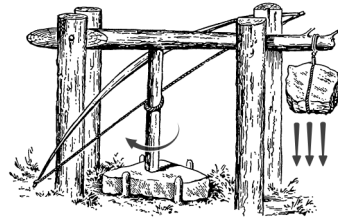


Рис. 0.1. Первісний свердлувальний верстат

Пізніше з'явилися механічні верстати, що дозволяли утворювати отвори у масивних металевих деталях (рис. 0.2). Вони були не дуже продуктивні, але вивільняли руки робітника і мали простий механічний привід.

Крім свердління отворів, у процесі виготовлення металевих предметів потрібно було навчитися чисто обробляти їхню поверхню, яка після лиття в найпростіші форми рідко виходила досить гладкою.

Прогрес неухильно підштовхував людей необхідності обробки металевих заготовок з допомогою різальних інструментів, виготовлених з твердішого металу. Але до появи способів обробки металевих деталей, що обертаються, за допомогою різця мало пройти чимало часу. Хоча початкові прототипи токарних верстатів, на яких можна було обробляти – поки що дерев'яні деталі, існували вже тоді.

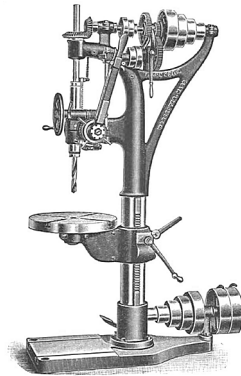


Рис. 0.2. Свердлувальний верстат 19 ст.

Значною підмогою для конструкторів перших пристроїв та верстатів, за допомогою яких стало можливим обробляти литі металеві заготовки та вироби, стали технічні новачки та розробки, що з'явилися в інших галузях практичної діяльності людини.

Враховуючи важливу роль мореплавання, яке мало велике значення для міжнародної торгівлі та військової справи, багато відомих вчених тих років займалися вдосконаленням навігаційних приладів.

Навіть перший механічний годинник з точним ходом (рис. 0.3), зібраний талановитим англійським механіком Джоном Гаррісоном у 1735 році, був задуманий як більш досконала заміна примітивним морським хронометрам, які не дозволяли з потрібною точністю визначати координати кораблів методом астрономічної космографії.

Всі ці досягнення були б неможливими без металообробних верстатів, за допомогою яких вдалося виготовити деталі цих складних механізмів. Підвищені вимоги до точності деталей годинникових механізмів, а також поява нових конфігурацій оброблюваних поверхонь породили масу новаторських винаходів в галузі металообробки.

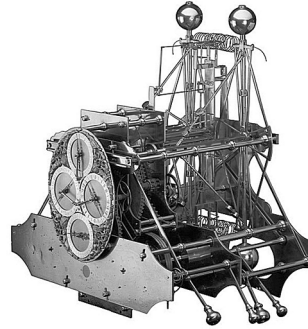


Рис. 0.3. Хронометр Гаррісона

Завдяки цьому було реалізовано ідеї створення конструкцій, які раніше неможливо було втілити у життя. У свою чергу, нові рішення авторів вдалих конструкцій згодом стали у нагоді творцям верстатів, які використовували деякі ідеї, як відправну точку для підвищення точності та вдосконалення механізмів токарного верстата.

Історики наполягають, що конструкція верстата із двома центрами, які утримували між собою дерев'яну деталь, була відома ще в середині 7 ст. до н.е. Дерев'яну заготовку обертати – то в один, то в інший бік спеціально виділені для роботи раби.

Стародавній “токар” поступово обточував заготовку примітивним металевим різцем, але вже тоді результат такої роботи виправдовував недосконалість конструкції та пов'язані з цим витрати часу та праці.

Згодом оброблювану деталь навчилися обертати за допомогою луку з послабленою тягивою, яка охоплювала, і за поступального руху луку розкручувала заготовку. Знову ж таки, це обертання відбувалося поперемінно в різні боки.

Більш прогресивний – ножний привід з шатуном, педаллю і кривошипом, що конструктивно нагадує швейні машини недавнього минулого, з'явився в 15 столітті (рис. 0.4). Це був переломний момент у розвитку токарного верстата – тепер деталь постійно оберталась в одному напрямку, і майстру стало працювати набагато зручніше.

Потужності зусилля такого приводу для обробки металевих деталей не вистачало. Крім того, точити тверді матеріали, тримаючи різець у руці, було майже неможливо.

Тепер і металеві деталі стали підвладні вмілому токарю, хоча різець, як і раніше, довелося тримати в руках, спираючи його на найпростішу підставку.

І все ж, щоб полегшити токарні роботи і зробити їх більш точними, знадобилася істотна доопрацювання конструкції верстата, що торкнулися всіх його основних систем. Завдання було поставлене, але механікам тих років довелося чимало попрацювати, щоб знайти відповідні технічні рішення. Найцікавіші з них, розроблені в 17 столітті французьким вченим і математиком Жаком Бессоном¹, і викладені ним у трактаті «Театр приладів та машин», надали величезного значення подальшому розвитку принципів металообробки (рис. 0.5).

Багато ідей цієї геніальної людини реалізовані, і використовуються в конструкціях сучасних верстатів сьогодні.

Історичні дані свідчать, що у 10 столітті на території нинішньої Московії вміли обробляти різноманітні металеві предмети побуту та застосовували примітивні верстати (рис.).

Майже через два з половиною століття революційний внесок у розробку принципів улаштування токарних верстатів зробив талановитий російський учений Андрій Костянтинович Нартов – член Академії Наук, який перебував у чині статського радника.

На початку 18 століття, повернувшись із чергової закордонної мандрівки, російський цар Петро I створив “цареві” токарні майстер-

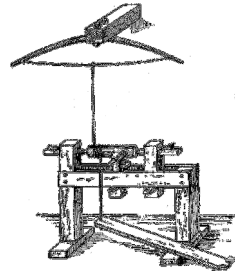


Рис. 0.4. Ножний верстат

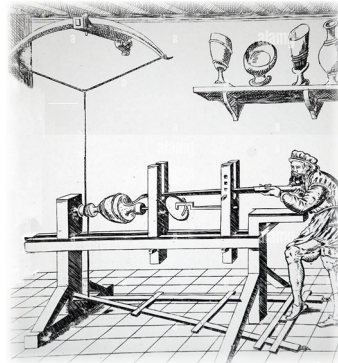


Рис. 0.5. Верстат Жака Бессона

¹Жак Бессон (фран. *Jacques Besson* 1540 – 1573) був французьким протестантським винахідником, математиком і філософом, відомим головним чином завдяки його популярним трактатам на машинах *Theatrum Instrumentorum* (1571–1572 pp.).

ні, керувати якими призначив А.К.Нартова², котрий заклав основи промислового використання верстатів на теренах Російської Імперії.

Верстат Нартова (рис. 0.6) не тільки вирішив багато проблем, а й за рахунок керованого переміщення інструмента дозволив виконувати на верстатах нарізку різьб та зубців шестерень. Значення цього винаходу для еволюції металообробки важко переоцінити, і воно по праву входить до переліку технічних новацій, які істотно вплинули на розвиток виробничих можливостей людства.

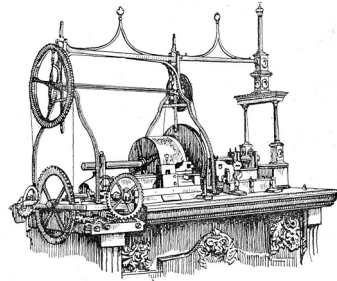


Рис. 0.6. Верстат Нартова

До середини 18 століття на Росії було створено безліч заводів і фабрик, у яких, втім інтенсивно використовувався переважно ручну працю. Щоб створити умови для випуску великих партій товару, явно не вистачало нових високопродуктивних верстатів і машин на всіх ділянках виробництва.

Це розуміли численні механіки-самоуки, які з ентузіазмом взяли участь у модернізації існуючого та створення нового промислового обладнання.

Важливою подією для майбутнього стала конструкція французького механіка з Ліона Жака Вокансона³, який представив у 1851 перший універсальний токарний верстат (рис. 0.7) – не позбавлений недоліків, але дуже прогресивний для свого часу.

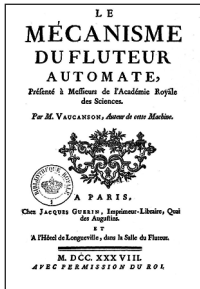


Рис. 0.7. Книга Жака Вокансона

У ці роки в Європі та Америці стрімко розвивалися процеси заміни ручної праці на машинне – явища, яке пізніше назвуть Великою індустріальною революцією. Залишалося лише 5 років до появи конструкції

² Андрій Константинович Нартов (нар. 28 березня 1693 — пом. 16 квітня 1756, Санкт-Петербурґ) – російський вчений, механік та скульптор, статський радник, член Академії наук (1735–1756 рр.).

³ Жак де Вокансон (фр. *Jacques de Vaucanson*; 24 лютого 1709, Гренобль - 21 листопада 1782, Париж) - французький механік і винахідник. Десятий син у бідній сім'ї майстра рукавички. Навчався у школі єзуїтів. В 1727 р. відкрив власну майстерню в Ліоні і почав конструювати різні механічні іграшки, в тому числі людиноподібні.

по-справжньому універсального промислового токарного верстата Генрі Модслі⁴ для масового застосування у промисловості (рис. 0.8).

Токарні роботи є найпоширенішим методом обробки деталей різанням. Виконуються вони на токарних металорізальних верстатах зазвичай при обертальному русі виробу та поступальному русі різця.

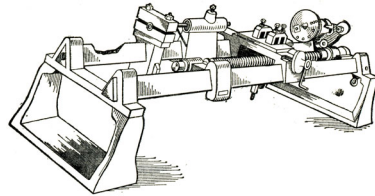


Рис. 0.8. Токарний верстат Генрі Модслі 1797 р.

Токарна обробка передбачає зрізування із заготовки зайвого шару металу до отримання деталі необхідної форми, розмірів та шорсткості поверхні.

Особливо інтенсивний розвиток застосування та конструювання металорізальні інструменти отримали в XX столітті [1, 2].

З одного боку це пов'язано з бурхливим розвитком машинобудівного виробництва та потребами в точному продуктивному інструменті, з іншого – з розвитком науки про різання металів.

Як не прикро, але сучасне інструментальне виробництво зобов'язано своїм розвитком американському інженеру Тейлору Ф. У.⁵ (рис. 0.9) який працював на межі XIX та XX століть [3, 4].



Рис. 0.9. Тейлор Ф. У.

Тейлор був першим хто застосував наукові принципи в організації інструментального забезпечення виробництва. В часи Тейлора ніяких “нормативів” не існувало. Кожний робітник сам вирішував, як обробляти деталь і скільки часу на це витратити. Іншими

⁴Генрі Модслі (англ. *Henry Maudslay*; 22 серпня 1771, Вулідж, Південний Лондон, Велика Британія — 14 лютого 1831, Ламбет, Велика Британія) — британський коваль та механік, розробник верстатів та інструментів. Вважається творцем токарно-гвинторізного верстата.

⁵Фредерік Уінслоу Тейлор (*Frederick Winslow Taylor*; 1856 –1915) – американський інженер, дослідник і організатор управління, основоположник наукової організації праці та управління підприємствами - менеджменту. Тейлора вважають “батьком” американської промисловості.

словами – як хотів, так і працював. Тейлор запровадив те, що у сучасному виробництві називають нормативами часу⁶.

Поведінку робітника Ф.У. Тейлор пояснював двома феноменами:

- феномен групового тиску;
- і феномен свідомого обмеження продуктивності.

Феномен групового тиску

Робота в колективі змушує передовиків опускатися до рівня середняків, а середняків – до рівня нероб та ледарів.

Отже, необхідно відмовитися від колективних норм організації трудової діяльності – кожен має відповідати сам за себе.

Феномен свідомого обмеження

Робітник свідомо обмежує свою продуктивність, працюючи за принципом – “все одно заплатять”.

Тейлор прийшов до висновку, що така поведінка робітника – результат раціонального підходу і негативної оцінки робітником прогнозованого співвідношення праця-винагорода.

Тейлор визначив чотири наукових принципи управління⁷, які визначили його погляд на раціональну організацію праці:

- впровадження економічних методів роботи;
- професійний відбір і навчання працівників;
- розстановка кадрів;
- організація взаємодії між керівниками і робітниками.

⁶Згідно Тейлору, будь-який труд міг бути проаналізований і переданий в процесі навчання будь-якій людині. Профспілки ж тих часів були кастовими утвореннями, які охороняли свої “секрети майстерності”, а насправді потурали робітникам, які на дуже переймалися працею.

Власники підприємств також ненавиділи Тейлора – оскільки він стверджував, що керувати повинні спеціально підготовлені люди, а не власники. Для того часу це було святотатством.

Однак, на підприємствах Америки, які впровадили методи Тейлора, не було зафіксовано жодного випадку страйку робітників.

“Не буде країн багатих і бідних - будуть країни освічені й неосвічені”, – писав Тейлор, маючи на увазі під джерелом знань, перш за все, менеджмент.

⁷Frederick W. Taylor. The Principles of Scientific Management, 1911. / Фредерик У. Тейлор. Принципы научного менеджмента. – М.: Контроллинг, 1991. — 104 с.

Тейлор запропонував ввести посаду контролера (наглядача), який контролював працю робітника. Такий контролер мав набір карток з вказівкою часу за який має бути виконана певна робота. Це викликало бурю протестів. Але кінець кінцем було прийнято усіма промисловими підприємствами Америки. У теперішній час це називають – “нормативи часу”.

Сучасне інструментальне виробництво розвивається за двома основними напрямками:

- виробництво стандартного інструмента на спеціалізованих підприємствах;
- виробництво спеціального інструмента в інструментальних цехах металообробних заводів.

Про те, наскільки складним є забезпечення інструментом сучасного виробництва, свідчить той факт, що для виготовлення автомобіля потрібно близько 40 тисяч найменувань інструментів.

Рівень розвитку інструментального виробництва будь-якої держави характеризується наступними особливостями:

1. Використання прогресивних технологічних процесів:

- а) високотемпературні;
- б) електрохімічні;
- в) ультразвукові;
- г) лазерні;
- д) плазмові.

2. Використання передових методів організації праці, а саме:

- а) предметний – забезпечення заданого обсягу виробництва продукції необхідної якості в необхідний строк;
- б) економічний – досягнення мети діяльності за максимальної економічної віддачі;
- в) соціальний – у загальному значенні це розвиток і реалізація трудового потенціалу працівника.

3. Комплексна механізація та автоматизація виробництва, яка (залежно від типу виробництва) буває:

- а) часткова – передбачає автоматизацію тільки основних виробничих процесів;
- б) повна – передбачає автоматизацію всіх основних і допоміжних процесів;

- в) комплексна – передбачає автоматизацію не тільки процесу виробництва, але й процесів керування й обслуговування, зокрема логістичних процесів складування, транспортування та зберігання як заготовок, так виготовленої продукції.

Успішний розвиток інструментального виробництва немислимий без серйозного наукового забезпечення. Інструмент – досить складний науково-технічний об’єкт, який включає в сферу своїх інтересів такі дисципліни як математику, фізику, термодинаміку, металознавство, теорію машин і механізмів, інформатику та кібернетику і цілий ряд інших наукових дисциплін.

Треба відзначити, що все, що створено навколо нас зроблено за допомогою інструмента. Не має значення що це, автомобіль чи кулькова ручка. Все одно для їх виготовлення потрібен інструмент. Навіть для виготовлення верстатів, котрі виготовляють верстати, потрібен інструмент.

Рівень розвитку техніки (а загалом і рівень суспільства) залежать від того, яким інструментом користуються на виробництві.

Посилання

1. Грановский Г.И. Русские ученые – основоположники науки о резании металлов. / Г.И. Грановский. - М.: Машгиз, 1952. – 418 с.
2. Резание металлов / [Г.И. Грановский, П.П. Грудов, В.А. Кривоухов та ін.]. – М: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1954. – 472 с.
3. Тейлор Ф. Искусство резать металлы / Ф. Тейлор. – Спб.: Издание инженера Л.А. Левинстера, 1909. – 324 с.
4. Тейлор Ф. Искусство резать металлы / Пер. с англ. под ред. А.В. Панкина, Л.А. Левенстера. – М.: Бюро иностранной науки и техники, 1922. – 326 с.

У навчанні не можна зупинятися.

Сюнь-Цзи

1 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

1.1 Класифікація інструментів

Різальний Інструмент

Знаряддя праці, яке використовують в робочій машині для зміни стану предмета праці.

Інструмент встановлений на металорізальному верстаті називають металорізальним або просто різальним інструментом⁸. Він змінює форму предмета праці (заготовку) і забезпечує якість оброблених поверхонь шляхом зняття стружки в процесі обробки заготовки[2, 3].

Заготовка деталі

Предмет виробництва з якого при подальшій обробці шляхом зміни форми, розмірів, властивостей поверхні та (чи) матеріалу отримують виготовляють деталь.

Таким чином, різальний інструмент повинен забезпечувати:

- процес різання;
- необхідну якість оброблених поверхонь.

Якщо хоч одна з цих вимог (різати і забезпечувати якість) інструментом не забезпечується, то його взагалі не можна назвати інструментом. Вказані вимоги обов'язкові, але недостатні.

Необхідно, щоб інструмент забезпечував мінімальні витрати під час його використання. Це можливо досягти, якщо інструмент має наступні властивості:

- високу продуктивність;
- малу енергоємність різання.

⁸ ДСТУ 2391-94 Система технологічної документації. Терміни та визначення.

Класифікація металорізальних інструментів складна [1, 4, 5, 6]. Це пояснюється великою різноманітністю їх конструкцій, видів обробки, а також використанням для обробки різних поверхонь одних і тих же інструментів.

Так різці застосовують для точіння зовнішніх поверхонь, для нарізування різьби, для оброблення отворів, для стругання зубів зубчастих коліс.

У свою чергу, наприклад отвори, можуть бути оброблені такими різними інструментами, як свердло і протяжка.

Усе це дуже ускладнює класифікацію. Тому з практичної точки зору, для чіткого уявлення про основні інструменти, в основу класифікації покладено два принципи:

- специфічні оброблювані поверхні;
- конструкція найчастіше вживаних інструментів.

Незважаючи на певну умовність такої класифікації, вона дозволяє представити металорізальний інструмент в усьому його різноманітті. Основними групами в такій класифікації є інструменти для:

- оброблення отворів;
- утворення гвинтових поверхонь;
- утворення зубчастих зачеплень;
- оброблення фасонних поверхонь методом обкатки.

Інструменти, що не увійшли до цих чотирьох груп, об'єднані в групу інструментів загального призначення. Окремі групи інструментів утворюють такі специфічні інструменти як:

- абразивні інструменти;
- інструменти із надтвердих синтетичних матеріалів.

У кожній з цих груп інструменти класифікуються за конструкцією: різці, фрези, свердла, розвертки, мітчики, довбачі і так далі (табл.1.1). Уся ця різноманітність видів і конструкцій інструментів викликана різними вимогами до інструмента, різними формами і розмірами оброблюваних деталей, різними типами металорізальних верстатів, особливостями виробництва.

Табл. 1.1. Металорізальні інструменти

Загального призначення	Оброблення отворів	Оброблення різьби	Зубчасті колеса	Оброблення за методом обкатки	Абразиви	Надтверді синтетичні матеріали
- різці - фрези⁹ - протяжки¹⁰ - напилки	- свердла - зенкери - розточні різці	- різьбові різці - гребінки - мітчики - плашки - різьбові фрези - різьбові головки	- дискові модульні¹¹ - фрези - пальцеві модульні - фрези - зубодовб. головки - черв'ячні фрези - гребінки - довбачі - шевери - зубоструг. різці	- черв'ячні шліцові фрези - обкатні різці - обкатні довбачі	- круги¹² - бруски - порошки	- різці - круги - порошки - олівці

⁹ дискові, кінцеві, шпонкові, відрізні.

¹⁰ круглі, шліцові, шпонкові.

¹¹ термін "модульний" походить від модулю зубчастого зачеплення.

¹² заточні, шліфувальні.

1.2 Конструктивні елементи

1.2.1 Головні елементи

Різальний інструмент – це інструмент для обробки різанням. Будь-який різальний інструмент складається з корпусу, кріпильної і робочої частин (рис. 1.1).

Корпус різального інструмента

Частина різального інструмента, яка несе на собі всі його елементи.

Зазвичай корпус виконують із конструкційної сталі. Він є проміжним елементом між різальною кромкою і верстатом.

Кріпильна частина різального інструмента

Частина різального інструмента, яка призначена для його кріплення в технологічному устаткуванні.

Робоча частина різального інструмента

Частина різального інструмента, яка утримує леза (різальні елементи, котрих може бути декілька).

Форма та конструкція кріпильної частини 1 (рис. 1.1) або 1 (рис.1.2) залежать від типу інструмента та верстату на якому застосовується даний інструмент. Треба відзначити, що один і той-же інструмент може мати різну кріпильну частину залежно від того де його використовують.

Приєднувальна частина 2 (рис. 1.1) служить для з'єднання інструмента з верстатом. Вона має базові поверхні, якими інструмент орієнтується відносно верстата, і елементи передачі зусиль з боку верстата на інструмент.

Робоча частина 3 (рис. 1.1) відділяє від заготовки зрізаний шар і відводить стружку із зони різання. Багато інструментів в залежності від конструкції і призначення мають робочу частину, що складається з різальної і калібрувальної.

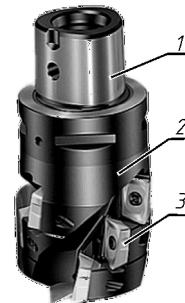


Рис. 1.1. Елементи інструмента.
(фреза торцева складена)

Різальна частина

Різальна частина 3 (рис.1.2) безпосередньо відділяє зрізуваний шар. У свою чергу, різальна частина може складатися з елементів, що послідовно виконують чорнову, напівчистову і чистову обробку.

Чим розвиненіша робоча частина, тим ефективніше різальний інструмент, здатний з високою продуктивністю забезпечити високу якість обробки.

Калібрувальна частина

Калібрувальна частина 2 (рис.1.2) виконує роботу по остаточному формуванню обробленої поверхні деталі. У загальному випадку вона зрізує стружку мінімальної товщини. Робота калібрувальної частини – це фінішне оброблення деталі.

Для підвищення точності оброблених поверхонь і забезпечення необхідного розташування їх один відносно одного або базових поверхонь оброблюваної деталі, інструменти можуть мати спеціальні направляючі частини для напрямку в роботі по оброблюваній деталі або пристосуванню.

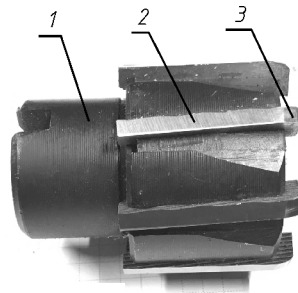


Рис. 1.2. Розвертка

1.2.2 Типи інструментів за конструкцією

За своєю конструкцією різальний інструмент можливо розрізнити за декількома типами, основними з яких є інструменти:

- суцільні;
- складені або збірні;
- однолезові або багатолезові;
- насадні або хвостові;
- з периферійним або торцевим різанням.

Суцільний інструмент

Суцільний інструмент (рис.1.3) виготовлено або з одного (цільного) куска матеріалу або його різні частини виготовлені з різного

матеріалу, але поєднані між собою методами зварювання. Тобто суцільний інструмент не можливо розібрати на складові елементи.

Суцільний різальний інструмент

Різальний інструмент, виготовлений з однієї заготовки (з одного суцільного шматка інструментального матеріалу).

Складений інструмент

Складений інструмент (рис.1.3) виготовлено з декількох елементів, які механічно поєднані між собою. Складений інструмент можна розібрати на частини.

Складений інструмент є найбільш перспективним у сучасному інструментальному виробництві.

Складений різальний інструмент

Різальний інструмент із не роз'ємним з'єднанням його частин і елементів. Він може бути звареним, клеєним, паяним.

Збірний різальний інструмент

Різальний інструмент із роз'ємним з'єднанням його частин і елементів. Зазвичай вони поєднані між собою за допомогою різьбових елементів.

Залежно від загальної конструкції різальний інструмент може бути насадним і хвостовим.



Рис. 1.3. Свердла суцільні та складені

Однолезовий інструмент

Однолезовий інструмент (рис.1.4) має тільки одне різальне лезо. Не треба вважати, що однолезовий інструмент це простий та дешевий інструмент. Кількість різальних лез пов'язана з конструкцією та призначенням інструмента.

Однолезовий інструмент

Інструмент, що має тільки одне різальне лезо.

Багатолезовий інструмент

Зазвичай багатолезовий (рис.1.4) інструмент є удосконаленим варіантом вже існуючого однолезового інструмента. У той же час є багато інструментів, які існують тільки як багатолезові, наприклад, фрези.

Прикладом одночасного існування як однолезового, так і багатолезового інструмента можуть слугувати свердла, але хоч це і інструмент одного призначення (утворення отворів), але за галуззю застосування вони різні.

Багатолезовий інструмент

Інструмент, що має декілька різальних лез, зазвичай послідовно розташованих в напрямку головного руху різання.

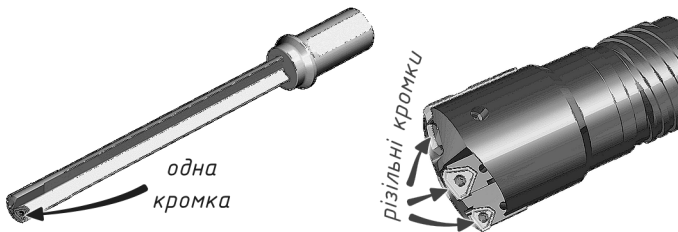


Рис. 1.4. Свердло однолезове та багатолезове

Хвостовий інструмент

Хвостовий інструмент (рис.1.5) має хвостовик, за допомогою якого він приєднується до шпинделю верстату. Прикладами такого інструмента можуть бути; розвертки, свердла, фрези протяжки.

Хвостовий різальний інструмент

Різальний інструмент з хвостовиком.

Хвостовики інструмента (конічні або циліндричні) закріплюють у посадочному отворі шпинделю. На відміну від насадного інструмента хвостовий інструмент має більшу жорсткість і забезпечує вищу точність обробки.

Насадний інструмент

Насадний інструмент (рис.1.5) “насаджують” на оправку, яка поєднує його з верстатом. Прикладом насадного інструмента (який існує і як хвостовий) може слугувати насадна розвертка.

Насадний різальний інструмент

Різальний інструмент з посадочним отвором.

Насадний інструмент насаджують на спеціальну оправку (зазвичай конічну). Основною перевагою насадного інструмента є можливість використання однієї оправки для різних за розмірами робочих (різальних) частин інструмента.

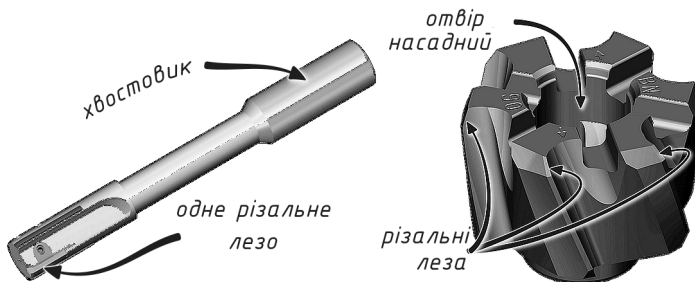


Рис. 1.5. Розвертка хвостова та насадна

Інструмент периферійного різання

Інструмент периферійного (рис.1.6) різання має різальні елементи (різальні кромки), які розташовані на його бічній периферійній стороні. Такі інструменти працюють (зрізують стружку) своєю бічною стороною.

Інструмент торцевого різання

Інструмент торцевого (рис.1.6) різання має різальні елементи (різальні кромки), які розташовані на його торцевій стороні. Такі інструменти працюють (зрізують стружку) своєю торцевою стороною.

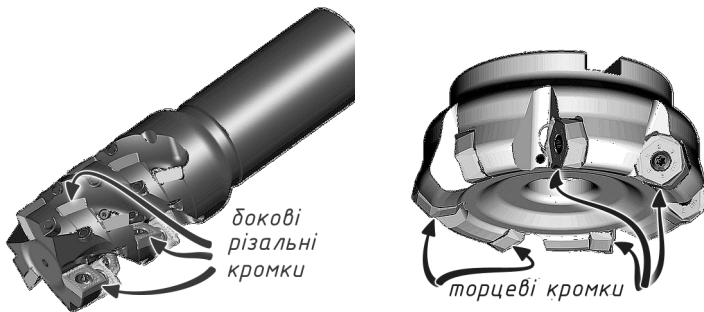


Рис. 1.6. Фреза периферійного та торцевого різання

1.2.3 Абразивний інструмент

Абразивний інструмент (рис.1.7) є окремою групою інструментів головною ознакою якого є те, що він виготовлений з абразивного матеріалу і застосовується для шліфування або заточування.

Абразивний інструмент

Різальний інструмент, призначений для абразивної обробки і виготовлений з абразивного матеріалу.

Шліфувальний круг

Різновид абразивного інструмента у вигляді диску (фасонного тіла обертання) та призначений для шліфування.

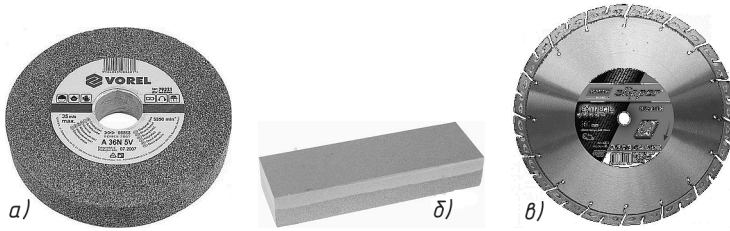


Рис. 1.7. Абразивні інструменти.

а – звичайний шліфувальний круг;

б – абразивний брусок для ручного застосування;

в – відрізний круг (металева основа)

Відрізний круг (шліфувальний диск)

Абразивний інструмент, призначений для абразивної відрізки або абразивної прорізки пазів.

Абразивний брусок (брусок)

Абразивний інструмент у виді твердого тіла для обробки без обертання навколо своєї осі. Має форму бруска.

1.3 Елементи різання

1.3.1 Різальне лезо

Найважливішим елементом робочої частини будь-кого різального інструмента являється різальне лезо (рис. 1.8 та 1.10).

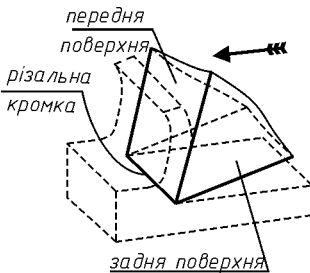


Рис. 1.8. Різальне лезо

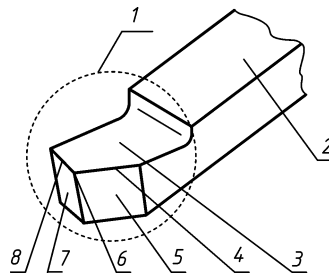


Рис. 1.9. Елементи різця

Лезо інструмента

Клинчастий елемент різального інструмента, для проникнення в матеріал заготовки і відділення стружки. Різальний клин (лезо) – основа конструкції будь-якого різального інструмента.

Одна з поверхонь під час переміщення клину в процесі різання знаходиться попереду і називається передньою. По їй сходиться відокремлена клином стружка. Інша (чи інші) знаходиться ззаду, з боку поверхні різання, і називається задньою (чи задніми) поверхнею.

Передні поверхня

Поверхня 3 (рис. 1.9) леза інструмента, що контактує в процесі різання із зрізаним шаром і стружкою.

Зазвичай передня поверхня різального леза має форму площини, але в загальному випадку може бути будь-якою. Найбільш поширеними є плоска та радіусна форми.

Задні поверхня

Поверхні 5 (рис. 1.9) леза інструмента, що контактує в процесі різання з поверхнею заготовки.

Різальна кромка

Кромка 4 (рис. 1.9) леза інструмента утворена перетином передньої і задньої поверхні леза.

Різальна кромка 4, що відділяє зрізаний шар матеріалу по більшій стороні периметра, називається головною, оскільки виконує головну роботу різання. На відміну від неї різальну кромку 8, що виконує допоміжну роботу, що відділяє зрізаний шар по товщині, називають допоміжною.

Задні поверхні різального клину, що примикають до цих кромок, дістали їх назви: задня головна 5, задня допоміжна 7, задня

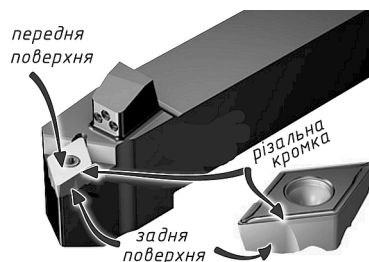


Рис. 1.10. Елементи леза

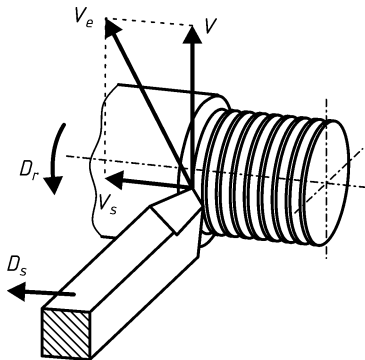
перехідна 6. Передня поверхня у різального клину одна. Її, на відміну від інших, називають робочою поверхнею інструмента.

Різальний клин і інші елементи конструкції інструмента утворюються шляхом сполучення різних поверхонь, певним чином розташованих в просторі. Це зумовлює загальні підходи до проектування різальних інструментів усіх видів і будь-якого призначення.

1.3.2 Рухи різання

Головний рух різання D_r (головний рух)

Обертальний рух заготовки або різального інструмента що відбувається з найбільшою швидкістю в процесі різання (рис.1.11).



D_r – рух різання;
 D_s – рух подачі;
 v_s – швидкість руху подачі;
 v_e – швидкість руху різання.

Рис. 1.11. Елементи руху

Примітка. Головний рух різання може входити до складу складного формотворного руху, наприклад при точінні різьби.

Швидкість головного руху різання v

Швидкість розглянутої точки різальної кромки або заготовки в головному русі (рис.1.11).

Рух подачі D_s

Рух інструмента швидкість якого менше швидкості головного руху різання, призначений для того, щоб зрізати шар матеріалу на всій оброблюваній поверхні (рис.1.11).

Швидкість руху подачі v_s

Швидкість розглянутої точки різальної кромки або заготовки в русі подачі (рис.1.11).

Подача s

Відношення відстані, пройденої розглянутою точкою різальної кромки або заготовки уздовж траєкторії цієї точки в русі подачі, до відповідного числа циклів або визначених часток циклу іншого руху під час різання (рис.1.11).

Під циклом руху розуміють повний оберт, хід, або подвійний хід різального інструмента або заготовки. Наприклад, для токарного різця подачу задають, як подачу на один оберт, наприклад $s = 0,2$ мм/об.

1.4 Нормуючі елементи

1.4.1 Системи координат

В інструментальному виробництві розглядають [1] три системи координат:

- статичну систему координат;
- інструментальну систему координат;
- і кінематичну систему координат.

Статична система

Статична система координат (ССК)

Прямокутна система координат (рис.1.12) з початком у розглянутій точці різальної кромки, орієнтована щодо напрямку швидкості головного руху різання.

Застосовується для наближених розрахунків кутів леза в процесі різання або урахування зміни цих кутів після установки інструмента на верстаті. Вона є перехідною від інструментальної системи координат до кінематичної.

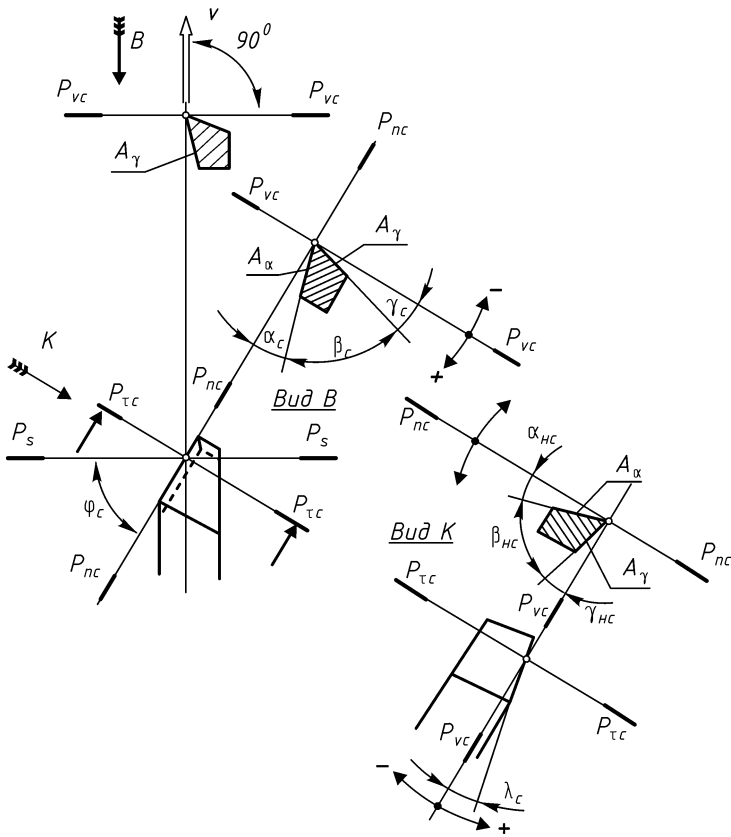


Рис. 1.12. Статична система координат

Інструментальна система

Інструментальна система координат (ІСК)

Прямокутна система координат з початком у вершині леза, орієнтована щодо геометричних елементів різального інструмента, прийнятих за базу.

Наприклад, це може бути задня поверхня або передня поверхня. Застосовується при виготовленні і контролі інструмента.

Кінематична система

Кінематична система координат (КСК)

Прямокутна система координат (рис.1.13) з початком у розглянутій точці різальної кромки, орієнтована щодо напрямку швидкості результатного руху різання.

Очевидно, що КСК повернута відносно ССК на величину кута швидкості різання. Застосовується для визначення дійсних (кінематичних) кутів леза, що утворюються в процесі різання.

1.4.2 Координатні площини

Основна площина P_v

Координатна площина, проведена через розглянуту точку різальної кромки, перпендикулярно напрямку швидкості головного у ССК або результатного у КСК рухів різання в цій точці.

Отже, необхідно розрізняти:

- основну площину P_{vc} в статичній системі координат;
- та основну площину P_{vk} в кінематичній системі координат.

Площина різання P_n

Координатна площина, дотична до різальної кромки у розглянутій точці і перпендикулярна основній площині.

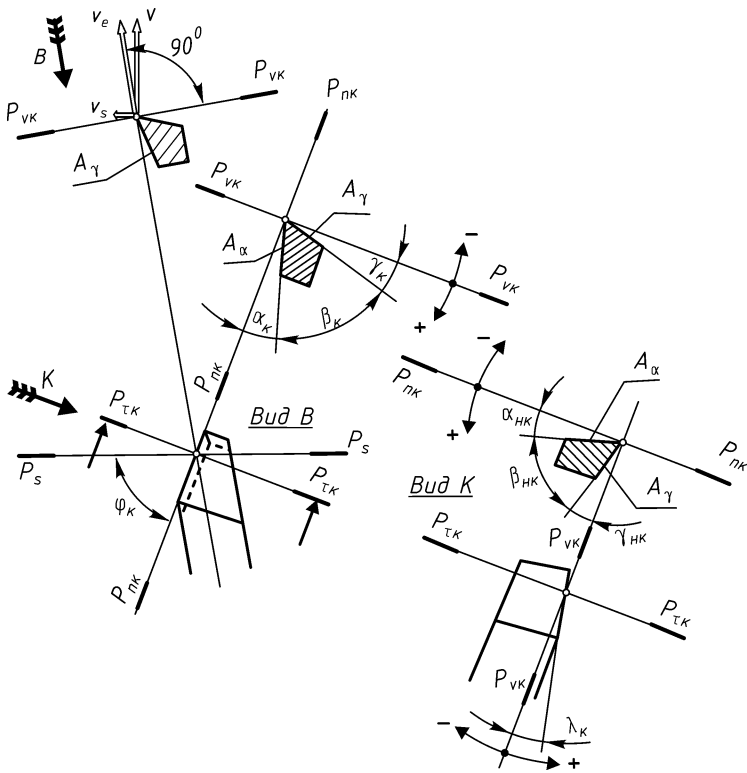


Рис. 1.13. Кінематична система координат

Отже, необхідно розрізняти:

- площину різання P_{nc} в статичній системі координат;
- та площину різання P_{nk} в кінематичній системі координат.

Головна січна площа P_τ

Координатна площа, перпендикулярна лінії перетину основної площини і площини різання.

Дещо простіше, головна січна площа може бути визначена, як площа, що перпендикулярною до проекції різальної кромки на основну площину P_v (яких може бути дві – P_{vc} або P_{vk}).

Нормальна січна площа P_N

Площина, перпендикулярна до різальної кромки, у розглянутій точці.

Очевидно, що нормальна січна площа повернута відносно головної січної площини на величину кута нахилу головної різальної кромки.

Отже, не слід плутати у позначеннях площину різання P_n з площиною P_N нормальною до різальної кромки.

Примітка. У стандартних позначеннях координатних площин застосовуються індекси, що відповідають системі координат:

і – у інструментальній системі координат ІСК;

с – у статичній системі координат ССК;

к – у кінематичній системі координат КСК.

Наприклад:

P_{vc} – основна площа у ССК;

P_{vk} – основна площа у КСК.

Зауваження. У курсі “Теорія різання” і технічній літературі усі позначення координатних площин у статичній системі координат прийнято застосовувати без індексу “с”. Наприклад, P_v – основна площа ССК, P_n – площа різання ССК.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну “різальний інструмент”.
2. Дайте визначення терміну “заготовка”.
3. Назвіть інструменти загального призначення.
4. Що таке корпус різаного інструмента?
5. У чому полягає різниця між корпусом та кріпильною частиною інструмента?
6. Якими різальними інструментами обробляють отвори?
7. Які функції виконує калібрувальна частина різального інструмента?
8. Перелічить інструменти що застосовують для виготовлення метричної різьби.
9. У чому полягає різниця між суцільним та складеним інструментом?
10. Які інструменти застосовують для утворення зубчастих коліс?
11. Наведіть приклад інструментів які утворюють поверхню деталі за методом копіювання.
12. Дайте визначення терміну “однолезовий інструмент”.
13. Дайте визначення терміну “багатолезовий інструмент”.
14. Наведіть приклад інструментів які утворюють поверхню деталі за методом огинання.
15. У чому полягає різниця між складеним та насадним інструментом?
16. Для виготовлення яких інструментів застосовують синтетичні матеріали?
17. Наведіть приклад абразивного інструмента.
18. Коли використовують інструментальну систему координат?
19. Назвіть координатні площини, які використовують в інструментальному виробництві.
20. Яка різниця між інструментальною, статичною та кінематичною системами координат?

Посилання

1. ДСТУ 2233-93 Різальні інструменти. Терміни та визначення.
2. ДСТУ 2249-93 Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення.
3. ДСТУ 28521-90 Інструмент ріжучий. Ряди діаметрів хвостовиків.
4. Ординарцев И. А. Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев, Г. В. Филлипов, А. И. Шевченко. – Л: Машиностроение, 1987. – 845 с.
5. Грабченко А. И. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / А. И. Грабченко. – Харьков: ХГПУ, 1999. – 334 с.
6. Основи формоутворення при механічній обробці / Н. С. Равська, П. Р. Родін, Т. Р. Нікомаєнко, П. П. Мельничук. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 164 с.

Щоб досягти успіху, потрібно
наздоганяти тих, хто попереду,
а не чекати тих, хто позаду.

Арістотель

2 ВИМОГИ ДО ІНСТРУМЕНТІВ

2.1 Якість інструмента

Цей критерій органічно об'єднує усі властивості інструмента, умови його функціонування і не суперечить основній меті виробництва, у зв'язку з чим є об'єктивним і несуперечливим¹³.

Якість інструмента

Це мінімум витрат на операції використання інструмента.

На жаль загальних методик оптимізації конструкції інструмента, умов його виготовлення і функціонування доки немає. Тут мають бути строгі економічні розрахунки.

На стадії проектування спрощено, але з достатньою мірою точності мінімальні приведені витрати G в грошовому вираженні можна визначити, як суму статей витрати на одну оброблену деталь або операцію:

$$G = Z_{\text{роб}} + N_z + V_{\text{tool}} + V_{\text{solar}}, \quad (2.1)$$

де $Z_{\text{роб}}$ – заробітна плата оператора, що виконує роботу інструментом;

N_z – накладні затрати;

V_{tool} – витрати на різальний інструмент і підтримку його працездатності;

V_{solar} – витрати силової електроенергії.

¹³Інструменти якості – це методи або засоби, призначені для збору, представлення, обробки, оцінки стану, аналізу даних, що застосовуються в управлінні якістю. Не існує жодних прийнятих стандартів щодо інструментів якості, що породжує безліч підходів до їх застосування.

Висока продуктивність

Висока продуктивність використання різального інструмента – дуже важлива, мабуть, найбільш важлива економічна характеристика якості різального інструмента¹⁴.

Висока продуктивність

Це великий об'єм стружки, знятої в одиницю часу, тобто велика кількість деталей, оброблених за одиницю часу.

При високій продуктивності на одну виконану операцію (оброблену деталь) припадає менше заробітної платні робітників, що обслуговують виробничий процес, менша перенесена на операцію частина вартості засобів виробництва (споруд, верстата і так далі).

У першому наближенні продуктивність інструмента може бути визначена за формулою

$$Q = t s v 1000 \text{ мм}^3/\text{хв}, \quad (2.2)$$

де t – глибина різання, мм;

s – подача, мм/об;

v – швидкість різання, м/хв.

Мала енергоємність різання

У зв'язку з високою вартістю енергоресурсів мала енергомісткість різання є другим за значністю показником якості інструмента.

Мала енергоємність різання

Це мінімальна витрата електроенергії на зняття одиниці об'єму зрізуваного шару.

У загальному випадку мала енергоємність реалізується при мінімальних силах різання на одиницю зрізуваного шару заготовки.

¹⁴Продуктивність вимірюється кількістю продукції, випущеної працівником за одиницю часу. Зворотна величина – трудомісткість, вимірюється кількістю часу, що витрачається на одиницю продукції. Теоретичні основи сучасного поняття “продуктивність” були закладені Стаффордом.

Ентоні Стаффорд Бір (англ. *Anthony Stafford Beer*; 25 вересня 1926 року, Лондон – 23 серпня 2002 року, Торонто) – британський кібернетик, був теоретиком і практиком у галузі дослідження операцій і так званої “другої хвилі” кібернетики.

Економічність інструмента

Висока економічність досягається, якщо інструмент задовольняє наступним вимогам:

- великий термін служби (висока стійкість і велика кількість переточувань);
- низька вартість (висока технологічність, мала витрата дорогих інструментальних матеріалів);
- малі витрати на відновлення різальної здатності після затуплення (простота переточувань, швидкість заміни різальних кромок або різальних пластин);
- можливість перевтілення на інший розмір або вид повністю відпрацьованого інструмента (повторне використання);
- простота збору відходів дорогих матеріалів (інструменти з механічним кріпленням різальних пластин).

Вказані властивості або часткові вимоги до інструмента (висока продуктивність, мала енергоємність різання, економічність) і умови їх досягнення справедливі і самі по собі несуперечливі.

Проте, досить часто вони вступають в протиріччя одне з одним. Наприклад, інструмент може бути:

- високопродуктивним, але недовговічним;
- мати високу стійкість, але бути занадто дорогим.

Спираючись на ці показники якості, не можна дати однозначну оцінку оптимальності інструмента. Потрібні такі критерії оптимальності, які не суперечать один одному, а ще краще – один критерій оптимальності.

Використовуючи категорії економіки, цю економічну вимогу можна сформулювати таким чином – критерієм оптимальності конструкції інструмента, технології його виготовлення і умов експлуатації є мінімум приведених витрат на операції використання інструмента.

Кожен інструмент в процесі різання повинен забезпечувати рішення основної задачі – якісне і продуктивне оброблення деталі [1, 2, 3, 4]. Тому до інструментів пред'являють наступні вимоги:

- забезпечення геометричної форми деталі;
- точність виконуваних розмірів;
- чистота оброблюваної поверхні;

- продуктивність;
- стійкість і розмірна стійкість;
- економія інструментальних матеріалів;
- технологічність конструкції;
- економічність.

Часом виконання усіх цих вимог є складним або неможливим завданням. Тоді у кожному конкретному випадку доводиться віддавати перевагу тим або іншим з них.

Якість інструментів регламентується державними стандартами, що включають технічні умови на приймання інструмента при його виготовленні [5, 6, 7]. У технічних умовах вказують:

- основні параметри інструмента,
- вимоги до чистоти поверхонь,
- до інструментального матеріалу,
- до термічного оброблення, нарешті,
- до розмірів і допусків на них,
- а також до випробувань і умов приймання.

Експлуатаційні вимоги

Важливими є вимоги, що пред'являються до інструмента в процесі експлуатації. Адже, маючи добрий інструмент, ще треба вміти їм користуватись. Отже, основні вимоги до експлуатації:

- дотримання доцільних геометричних параметрів різальних елементів;
- застосування оптимальних режимів різання;
- відповідна підготовка деталі до обробки;
- догляд за інструментом.

Процес експлуатації різального інструмента залежить від великої кількості факторів, що діють у виробничих умовах і мають стохастичний характер.

Для підвищення ефективності металообробки поряд з підвищенням якості різального інструмента особливого значення набуває підвищення якості процесу його експлуатації.

В основу розробки системи експлуатації різального інструмента повинні бути покладені такі принципи ISO 9000:2000¹⁵:

- орієнтування на вимоги до процесу експлуатації інструмента, висунуті споживачами;
- визначення цілей, напрямів, завдань експлуатації інструмента на основі аналізу умов і особливостей процесу різання на верстатах;
- розгляд питань експлуатації інструмента, пов'язаних не тільки безпосередньо з обробкою деталей на верстатах, а й з інформаційними, техніко-економічними, організаційними та іншими процесами;
- визначення всіх необхідних параметрів, що забезпечують раціональну експлуатацію інструмента, встановлення механізмів взаємодії між ними.

Управління експлуатацією інструмента як єдиною системою з використанням комплексного підходу до оцінки рівня якості процесу та визначення шляхів його удосконалення;

- застосування кваліметричного підходу до кількісної оцінки якості експлуатації, що полягає в побудові ієрархічної структури властивостей процесу експлуатації, визначенні їх оцінок і ваги на різних рівнях, що дозволяють отримати комплексну оцінку якості експлуатації;
- встановлення залежностей для формування цільових функцій і прийняття рішень при визначенні раціональних регламентів експлуатації інструментів з урахуванням стохастичного характеру роботи інструмента;
- визначення параметрів, які впливають на якість експлуатації.

Розроблення системи має бути орієнтовано на споживача, який спочатку формує вимоги щодо експлуатації інструмента, а потім контролює точність їх виконання.

Основною задачею інструментального господарства є організація ефективної експлуатації інструмента [1], яка передбачає :

¹⁵ Міжнародний стандарт ISO 9000:2000 був підготовлений Технічним комітетом ISO/TC 176 "Менеджмент якості і гарантії якості", підкомітетом SC1 "Концепції і термінологія".

- своєчасне й безперервне забезпечення цехів і робочих місць основного виробництва якісним технологічним оснащенням та інструментом;
- підвищення їх якості й організація раціонального обороту , тобто зниження витрат на виготовлення , придбання, зберігання й експлуатацію;
- організація заточування й відновлення різального інструмента, ремонту оснащення та вимірювального інструмента;
- технічний нагляд.

2.2 Руйнування інструмента

Стан різального інструмента характеризують сукупністю значень його параметрів (наприклад, значеннями заднього й переднього кутів, величиною зношування по задній або передній поверхнях леза й ін.) у цей момент. Основні чинники, що впливають на непрацездатність інструмента наведені на рис.2.1

Зауваження. Під зношуванням розуміють величину, що характеризує зміну форми й розмірів різальної частини інструмента (леза) внаслідок зношування при різанні

До умов оброблення відносять, наприклад, оброблюваний матеріал, технологічне устаткування, режим різання, порядок технічного обслуговування, відновлення й ремонту та ін.

До вимог оброблення відносять, наприклад, допуски розмірів, форми взаємного розташування оброблених поверхонь, параметри шорсткості, продуктивність оброблення різанням, витрати на оброблення, тощо.

У процесі різання інструмент втрачає свою працездатність у результаті руйнування або зношування різального леза.

Непрацездатним станом різального інструмента (“непрацездатність”), який характеризується його “відмовою”, може бути відхилення від установлених значень хоча б одного з параметрів різального інструмента, вимог або характеристик оброблення, виконуваного цим інструментом.

До характеристик оброблення відносять: силу різання, температуру різання, рівень вібрацій, шорсткість обробленої поверхні, точність розміру і форми тощо.

Обсяг роботи різального інструмента до затуплення (“напрацювання різального інструмента”, “напрацювання між відмовами різального

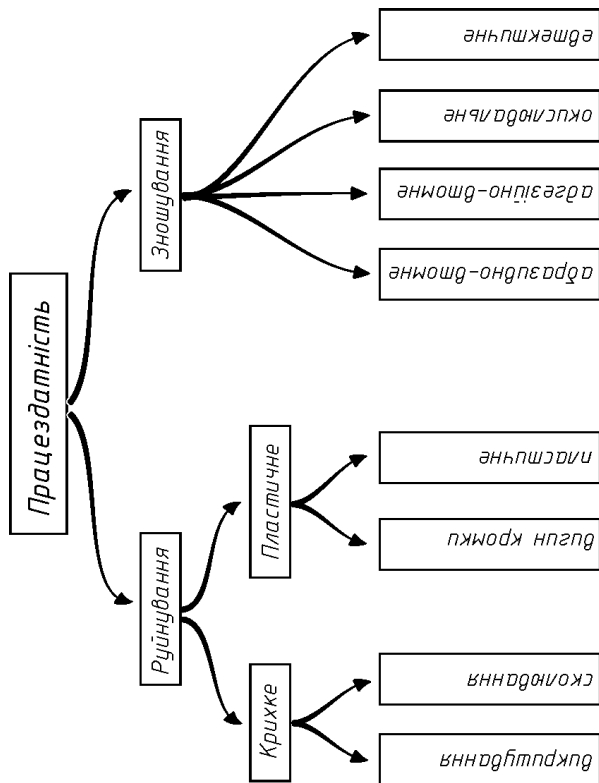


Рис. 2.1. Непрацездатність інструмента

інструмента”, “напрацювання до відмови різального інструмента”) може бути виражений:

- інтервалом часу;
- масою чи об’ємом знятого матеріалу;
- довжиною шляху різання;
- площею обробленої поверхні;
- чи числом оброблених заготовок.

Напрацювання за часом між відмовами різального інструмента може виражатися часом різання, машинним часом, тривалістю циклу роботи автоматичного обладнання (автоматичної лінії) тощо.

Окремим випадком часового напрацювання до відмови або між відмовами, коли напрацювання виражене часом різання, є період стійкості T – час різання новим або відновленим різальним інструментом від моменту початку різання до моменту його відмови.

Зауваження. Під часом різання розуміють інтервал часу, протягом якого інструмент перебуває в безпосередньому контакті з оброблюваною поверхнею, що супроводжується зняттям стружки

Вивчення фізичних закономірностей зношування інструмента дозволяє призначати оптимальні умови експлуатації (роботи) інструмента, прогнозувати вихідні показники процесу оброблення у цілому, а також сформулювати вимоги, що ставляться до інструментальних матеріалів, і визначити галузі їхнього ефективного застосування.

2.3 Надійність інструментів

Однією із сукупних властивостей, що обумовлюють якість різального інструмента, є “надійність різального інструмента”.

Надійність різального інструмента

Властивість інструмента зберігати до певного часу значення усіх параметрів, які характеризують його працездатний стан.

Термін “надійність інструмента” необхідно розглядати відповідно певних критеріїв:

- до вимог та характеристик оброблення, виконуваного цим інструментом;

- при встановленому порядку технічного обслуговування;
- відновлення, ремонту, транспортування та зберігання.

Отже, надійність інструмента включає складові елементи за рис. 2.2

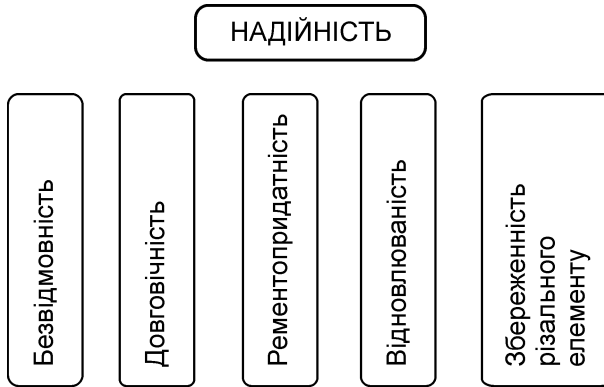


Рис. 2.2. Надійність інструмента

Ці властивості забезпечуються під час проектування, виготовлення й експлуатації інструмента і можуть розглядатися як окремо, так і в певному сполученні.

При оцінці надійності інструмента доцільно знаходити розподіл часу не тільки сумарно для всіх можливих відмов, але й роздільно – до відмов кожного виду.

Тому поняття стійкості, обумовлене часом роботи інструмента до настання прийнятого критерію зношування, належить більше не до періоду стійкості, а до середнього часу безвідмовної роботи, тому що велика кількість відмов може бути не пов'язана зі зношуванням. До них насамперед відносять руйнування.

Оцінку надійності інструмента можливо здійснити за наступними параметрами:

- імовірність безвідмовної роботи інструмента

$$P(\tau) = \frac{n - m(\tau)}{n}, \quad (2.3)$$

- інтенсивність відмов

$$\lambda(\tau) = \frac{2\Delta m(\tau)}{(n_j + n_{j+1}) \Delta \tau}, \quad (2.4)$$

– плотність розподілу імовірності стійкості

$$f(\tau) = \frac{\Delta m(\tau)}{n\Delta\tau}, \quad (2.5)$$

– середня стійкість

$$T = \frac{1}{n} \sum \tau_i, \quad (2.6)$$

- де n – об'єм вибірки, або загальна кількість періодів стійкості інструмента;
- $m(\tau)$ – кількість інструментів що відмовили за час під час дослідження;
- $\Delta(\tau)$ – кількість інструментів що відмовили за період τ проведення спостережень;
- n_j та n_{j+1} – кількість інструментів, які були працездатні відповідно на початку та в кінці j -го інтервалу часу $\Delta\tau$;
- τ_i – стійкість i -того інструмента.

Безвідмовність

Безвідмовність є основною властивістю, що визначає надійність різальних інструментів, безперервне збереження працездатності яких необхідне для завершення обробки.

Безвідмовність інструмента

Безвідмовність інструмента визначається ймовірністю його безвідмовної роботи й інтенсивністю відмов.

Ймовірність безвідмовної роботи характеризує ймовірність того, що в заданому інтервалі часу не виникне відмова інструмента. Інтенсивність відмов визначається ймовірністю відмови за одиницю часу.

Таким чином, ця характеристика дозволяє розкрити причину відмови. Додатковими показниками безвідмовності інструмента є середня частота відмов, що визначає середню кількість відмов інструмента за одиницю часу, узятя для розглянутого проміжку часу.

Довговічність інструмента

Довговічність інструмента

Властивість інструмента зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування.

Довговічність інструмента кількісно виражається тими самими характеристиками, що й безвідмовність, якщо розглядати тільки непереборні відмови, тобто всі характеристики взяті у функції сумарного часу роботи, оскільки основною характеристикою є середня довговічність інструмента, обумовлена як середній сумарний час безвідмовної роботи.

Довговічність як властивість, що визначає головним чином ефективність використання інструмента, є найбільш значущою для складних дорогих різальних інструментів, наприклад, черв'ячних фрез, долбачів, протяжок та ін.

Залежно від принципу обмеження наробітку, а також наслідків відмовлення надійність різального інструмента може оцінюватися одним або декількома показниками, що характеризує одну або декілька її властивостей.

Ремонтопридатність

Ремонтопридатність

Властивість інструмента, що полягає в його пристосованості до попередження, виявлення й усунення відмов і несправностей шляхом проведення технічного обслуговування й ремонтів.

Час на відновлення інструмента складається із часу на його заточення, заміну або поворот різального елемента (пластини), регулювання складального інструмента, його зміну й налагодження.

Ремонтопридатність інструмента оцінюється середнім часом або середнім сумарним часом відновлення його працездатного стану.

Так, наприклад, інструмент із непереточуваними пластинками має більш високу ремонтпридатність у зв'язку зі зменшенням часу на відновлення його працездатності.

2.4 Міцність інструмента

При недостатній міцності леза інструмента його руйнування (“раптова відмова”) відбувається шляхом крихкого сколювання і викришування або в результаті пластичної деформації й наступного зрізу.

Руйнування інструмента є недопустимим видом відмови і свідчить, як правило, про неправильне призначення:

- геометричних параметрів різальної частини (леза) інструмента
- умов і режимів оброблення;
- вибору марки інструментального матеріалу, що може супроводжуватися:
 - або значним підвищенням сил різання;
 - або формуванням у різальному клині напружень, більших ніж ті, які можуть ним допускатися.

2.5 Працездатність

2.5.1 Відмова інструмента

Працездатний стан різального інструмента (леза) характеризується таким станом, при якому він здатний виконувати обробку різанням при встановлених у НТД умовах із установленими вимогами.

При цьому стан різального інструмента характеризують сукупністю значень його параметрів у даний момент (наприклад, значеннями заднього і переднього кутів, зносу по задній поверхні леза й ін.).

До умов обробки відносять, наприклад, оброблюваний матеріал, технологічне устаткування, режим різання, порядок технічного обслуговування, відновлення і ремонту.

До вимог обробки відносять, наприклад, допуски розмірів, форми і розташування оброблених поверхонь, параметри шорсткості, продуктивність обробки різанням, питомі приведені витрати на обробку й ін.

Порушенням працездатного стану (непрацездатність) різального інструмента може бути:

- відхилення від установлених значень, хоча б одного з параметрів різального інструмента;
- вимог або характеристик обробки, виконуваної цим інструментом.

До характеристик обробки відносять:

- силу різання;
- температуру різання;
- рівень вібрацій;
- шорсткість поверхні;
- точність розміру і форми й ін.

Характеристиками непрацездатного стану різального інструмента (різального леза) є:

- раптова відмова різального інструмента;
- і поступова відмова різального інструмента.

Раптова відмова

Відмова різального інструмента, як правило, настає внаслідок його руйнування.

Поступова відмова

Відмова різального інструмента настає після поступового змінювання встановлених параметрів, вимог або характеристик обробки.

Критерій відмови різального інструмента (леза) визначається в залежності від вимог до обробки при виконанні конкретної технологічної операції.

Наприклад, на операціях попередньої обробки з невисокими вимогами до шорсткості поверхні і точності розмірів критеріями відмови можуть бути прийняті гранично припустимі значення зносу інструмента по задній поверхні леза, визначені за умовою його раціональної експлуатації, значення сили різання тощо.

На операціях остаточної обробки різальним інструментом, де основними вимогами до обробки є допуски розмірів, форми і розташування оброблених поверхонь, критерієм відмови може бути прийняте їхнє гранично припустиме значення.

Окремим випадком критерію відмови є критерій затуплення різального інструмента (леза) (Критерій затуплення). Це критерій відмови різального інструмента (леза), який характеризується максимально припустимим значенням зносу різального інструмента (переважно по задній поверхні леза), після досягнення якого настає його відмова.

Зауваження. Під зносом розуміють величину, що характеризує зміну форми і розмірів різального інструмента (леза) унаслідок зношування при різанні.

Після досягнення різальним інструментом (лезом) критерію затуплення настає поступова відмова. Поступова відмова різального інструмента (леза), що настає після досягнення розміром, формою або розташуванням обробленої поверхні межі поля допуску, називається точнісною відмовою різального інструмента (леза).

2.5.2 Відновлення інструмента

Приведення після відмови робочої частини різального інструмента (леза) у працездатний стан називають відновленням різального інструмента (леза).

Зауваження. Відновлення різального інструмента (леза) здійснюється заточенням, заміною леза, що відмовило, і т.п.

Періодичність відновлення інструмента (призначена періодичність відновлення різального інструмента (леза)) визначається з урахуванням його функціонального призначення, конструктивного виконання, пристосованості до відновлення, а також обмежень умов технологічної операції, наприклад, забезпеченням найбільшої продуктивності або найменших приведених витрат на обробку.

Відновлюваність різального інструмента

Властивість різального інструмента (леза), що полягає в пристосованості його робочої частини (леза), до відновлення, наприклад, шляхом заточення.

Об'єм роботи різального інструмента (наробіток різального інструмента, наробіток між відмовленнями різального інструмента, наробіток до відмовлення різального інструмента (леза)) може бути виражений інтервалом часу, масою або об'ємом знятого матеріалу, довжиною шляху різання, площею обробленої поверхні або числом оброблених заготовок.

Тимчасовий наробіток між відмовленнями різального інструмента може виражатися часом різання, машинним часом, тривалістю циклу роботи автоматичного устаткування (автоматичної лінії) і т.д.

Окремим випадком тимчасового наробітку до відмовлення і між відмовленнями, коли наробіток виражений часом різання, є період

стійкості - час різання новим або відновленим різальним інструментом (лезом) від початку різання до відмовлення.

Зауваження. Під часом різання розуміють інтервал часу, протягом якого інструмент знаходиться в безпосередньому контакті з оброблюваною поверхнею, що супроводжується зняттям зрізаної стружки.

Контроль стану інструмента

Методи які використовують для контролю стану інструмента можливо поділити на дві групи:

- безпосередні (прямі) методи;
- та непрямі методи.

Безпосередні методи передбачають безпосередній контроль стану інструмента

Безпосередній контроль

1. Радіоактивний метод.
2. Оптичний метод.
3. Пневматичний метод.
4. Електромеханічний метод.
5. Ультразвуковий метод.

Непрямі методи контролю передбачають контроль якогось параметру, який є результатом роботи інструмента

Непрямі методи контролю інструмента

Вимір заготовки	– вимірювання габаритів – вимірювання шорсткості
Теплові та електричні параметри	– вимірювання температури різання – вимірювання е.р.с. – вимірювання електричного опору
Вібраційні виміри	– вимірювання коливань технологічної системи – вимірювання звукової амплітуди
Силові виміри	– вимірювання зусиль різання – вимірювання крутного моменту – вимірювання потужності

2.6 Перспективи

У теперішній час найбільш перспективний шлях підвищення стійкості різального інструмента це – застосування зміцнювальних покриттів [8, 9].

Практикою показано, що напрямками підвищення стійкості різального інструмента є традиційні методи:

- використання раціональних режимів різання
- вибір оптимальної конструкції різальної частини інструмента
- застосування високоякісних МОТС
- використання нових інструментальних матеріалів
- та застосування способів зміцнювальної обробки, в тому числі використання зносостійких покриттів різальний інструмент.

Різальна кераміка

Різальна кераміка (рис.2.3) застосовується при більш високих швидкостях різання ніж тверді сплави. Маючи більшу твердість і зносостійкість, які дозволяють працювати з більш високими швидкостями різання, кераміка здатна витримувати високі температури. Різальна кераміка дуже добре працює при малих подачах.

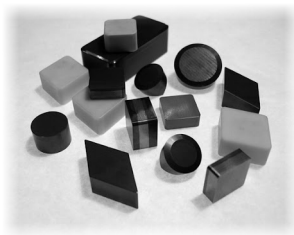


Рис. 2.3. Різальна кераміка

При середніх і високих подачах вона не має переваги, тому що дуже чутлива до теплових ударів. При створенні нових інструментальних матеріалів з метою поліпшення їх різальних властивостей, як правило, спостерігається погіршення інших параметрів. Так підвищення зносостійкості безвольфрамових твердих сплавів пов'язано із зменшенням їхньої міцності, збільшенням крихкості.

Ідеальний інструментальний матеріал для високопродуктивного оброблення важкооброблюваних матеріалів повинний мати такі властивості, як твердість і зносостійкість алмаза, хімічну стабільність мінералокераміки і питому в'язкість швидкорізальної сталі.

Поряд з цим необхідна висока стійкість, теплопровідність і низька чутливість до перепаду температур. Доки такий матеріал ще не створений, найбільш перспективним шляхом підвищення стійкості різального інструмента є застосування зміцнювальних покриттів.

Комплексне покращення

Аналіз методів покращення різальних властивостей інструмента привів до висновку необхідності впровадження таких робіт:

- поліпшення системи забезпечення різальним інструментом за рахунок розробки і впровадження технічно обґрунтованих норм;
- підвищення рівня експлуатації різального інструмента на робочих місцях за рахунок оптимальних режимів обробки;
- а також застосування конструкційних матеріалів з поліпшеною оброблюваністю;
- поліпшення роботи з переточування і відновлення різального інструмента.

Однак дотримання всіх зазначених заходів для поліпшення використання різального інструмента не забезпечить істотного зниження його витрат, оскільки цей шлях за існуючої технології може скоротити витрати різального інструмента всього лише на 25...30 %.

Тому більш перспективними шляхами підвищення стійкості різального інструмента є розробки нових інструментальних матеріалів, його конструкції, формування на робочих поверхнях зносостійкого покриття.

Зміцнювальні покриття

У промисловості більше застосування знаходять матеріали з покриттям, які є типовим композиційним матеріалом, що мають високу зносостійкість в поєднанні з досить задовільною міцністю при вигині, ударною в'язкістю, витривалістю, тріщиностійкістю.

Використання покриттів дає можливість найбільш раціонально, економічно, рентабельно використовувати фізико-механічні властивості інструментальних матеріалів, замінити дорогі сталі та сплави і, в більш випадків, підвищити працездатність і надійність різального інструмента.

Загальні експлуатаційні вимоги стосовно до покриттів: покриття повинно бути стійким проти корозії та окислювання; зберігати свої властивості при високих температурах; не мати дефектів (пор, включень); мати високу межу витривалості.

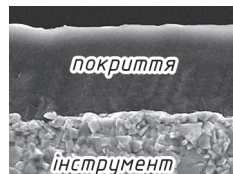


Рис. 2.4. Покриття

У зв'язку з технологічним призначенням покриття повинні мати: твердість, що в 1,5...2 рази перевищує твердість матеріалу основи; низьку схильність до адгезії з оброблюваним матеріалом; мінімальну здатність до дифузійного розчинення у оброблюваному матеріалі та мінімальну відмінність кристалічних структур покриття і матеріалу основи.

Властивості покриття і матеріалу основи повинні бути досить близькими та погодженими. У зв'язку з цим бажано мати: максимальну подібність кристалохімічних параметрів; мінімальну відмінність фізико-механічних теплофізичних властивостей; мінімальну ймовірність виникнення твердої фази дифузійних реакцій при температурі тертя.

Найбільш придатними, як матеріали покриттів, на інструментальних матеріалах є карбіди, нітриди, карбонітриди титана та оксид алюмінію.

Властивості покриття суттєво залежать від вибору методу і параметрів нанесення покриття. Найбільш істотну роль грає температура на межі роз'єднання конденсату та матеріалу основи.

Від температури формування покриття залежать структура покриття, міцність її адгезії з твердим сплавом, причому останнє визначається також можливістю дифузійної взаємодії пари "покриття – інструментальний матеріал". При цьому матеріал покриття і інструмента не повинні створювати крихких інтерметалідів при термомеханічному навантаженні яке виникає при різанні.

Взаємна дифузія підвищує міцність зчеплення покриття і твердого сплаву і, у свою чергу, залежить від кристалохімічної спорідненості покриття, що осаджується, і твердого сплаву. У формуванні міцного адгезійного зв'язку домінуючу роль мають дифузійні процеси.

Висока адгезійна міцність покриттів, визначається як молекулярними силами, так і проходженням дифузійних процесів з утворенням зон взаємної дифузії, незважаючи на чіткі поверхні розподілу основа – покриття.

Проведені дослідження по зміцненню різального інструмента нітридами, карбідами, боридами та оксидами перехідних металів показали, що вони мають високу твердість, жаростійкість, зносостійкість, хімічною стійкість. Покриття на основі окису алюмінію мають дифузійний бар'єр і високі зносостійкі властивості.

Багатошарові покриття

Високі питомі міцнісні властивості тонких покриттів пов'язані з тим, що крихкі властивості, які притаманні твердим матеріалам та проявляються при малих товщинах. Але покриття малої товщини має малу довговічність в умовах абразивного зношування. Тому принцип багатошаровості дозволяє досягати необхідних товщин покриттів без збільшення їхньої крихкості.

Багатошарові покриття (рис.2.5) в цілому багатифункціональні. Вони поєднують високу твердість, зносостійкість, опір окислюванню і адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом, мають низький коефіцієнт тертя, підвищують стійкість до абразивного зношування і до окислювання при підвищених температурах. Кожний із шарів у багатошаровому покритті може виконувати різні функції. Проміжні шари можуть монотонно змінювати коефіцієнт термічного розширення і модулі пружності від основи до поверхневого шару.

Поєднання різних способів поверхневого зміцнення різального інструмента дозволило наносити багатошарові покриття. Практика показала ефективність різального інструмента з багатошаровими покриттями, розробка яких є однією з тенденцій розвитку поверхневого зміцнення.

Використання композиційного покриття дозволяє збільшити тріщиностійкість і виключити виникнення мікротріщин, які є основною причиною низької тріщиностійкості нітридотитанового покриття при експлуатації різального інструмента.

Слід відзначити, що двошаровими покриттями в основному зміцнюють тверді сплави, а для інструментальних та швидкокорізальних сталей їх застосування обмежено.

Тришарова структура покриття в різних сполученнях тих же металів забезпечує більш широкий діапазон властивостей різального інструмента. Як правило, тришаровими покриттями зміцнюють тверді сплави.

У складі багатошарових покриттів застосовують проміжні шари з різною відносною твердістю, в яких чергуються шари твердої і м'якої фази.

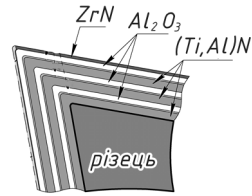


Рис. 2.5. Багатошарове покриття

Світові лідери

Для інструментальних матеріалів широко використовуються покриття на основі титану серед яких найбільше поширення одержали покриття з TiK, а також – TiC.



Шведська фірма *Sandvik Coromant AG* вперше почала випуск твердосплавних пластин з покриттям з TiC, а пізніше з TiC-Al₂O₃, також широко використовує різні композиції TiC, TiN, ZrC, ZrN, HfC, HfN і Al₂O₃ для покриття різального інструмента¹⁶.



Фірма *Metallwerke Plansee AG* для покриттів, використовує матеріали TiN, TiC, Ti(N,C) у різних сполученнях. Це дає можливість використовувати різні по, за властивостями, покриття залежно від оброблюваного матеріалу. Відомі покриття з TiN, TiC, Mo₂O₃ і т.д., які широко використовуються для нанесення як на тверді сплави, так і на інструмент зі швидкорізальних сталей¹⁷.



Покриття з матеріалу TiC-TiN, TiN і HfN, розроблені фірмою *Teledyne Firth Sterling* нанесені на твердосплавні пластини, перешкоджають утворенню крихкої фази на поверхні твердого сплаву.

Використання композиційного покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N дозволяє збільшити зносостійкість, мікротвердість, опір пластичному деформуванню зміцненої поверхні, збільшити теплостійкість інструмента з швидкорізальної сталі, і зменшити зношування при різанні інструментом з твердого сплаву.

Найбільш поширеними композиціями для зміцнюючих покриттів є карбіди та нітриди титану, цирконію, гафнію, а також оксиди алюмінію та хрому. Багатошарові покриття робочої поверхні різального інструмента.

¹⁶Sandvik Coromant – шведська компанія, що постачає різальний інструмент та послуги для металообробної промисловості. Штаб-квартира Sandvik Coromant знаходиться в місті Сандвікен, Швеція, і представлена в більш ніж 150 країнах, де працює близько 7900 працівників по всьому світу.

¹⁷Plansee групи (названий в честь озера Plansee ; фірмове найменування: Plansee Holding AG) є австрійської компанією , що базується в Ройтте , яка спеціалізується на порошкової металургії виробництва матеріалів (молібдену і вольфраму) , а також при обробці їх в інструменти і формованих деталей. [1] Plansee Group є приватною компанією і вважається лідером світового ринку.

Зносостійкі покриття на різальному інструменті складаються, як правило, із сполук, що у загальному виді дуже тверді і крихкі, тобто мають дуже низьку крихку міцність. Одним зі шляхів зниження крихкості таких покриттів є зниження їхньої товщини.

Висновок

На підставі аналізу матеріалів покриттів для зміцнення різального інструмента можна зробити висновок, що в даний час у розробці матеріалів для покриттів спостерігаються два підходи [10, 11].

Перший полягає в створенні багат шарових покриттів. Кожен шар у багат шаровому покритті виконує власну функцію і забезпечує поступовий перехід фізико-механічних властивостей покриття від поверхні до основи.

Другий підхід полягає в створенні багатокомпонентних шарів перемінного складу по товщині покриття.

Обидва методи значно підвищують вартість технології одержання зносостійкого покриття і знижують надійність покриття, тому, що брак в одному із шарів приводить до зниження якості всього покриття.

На основі великої кількості досліджень механізму впливу різних покриттів на закономірності використання різальних інструментів, можна розділити кілька взаємозалежних підходів, які є теоретичним обґрунтуванням для створення різних перспективних систем покриття:

- вибіркового структурних складових покриттів, які в процесі обробки різанням на повітрі забезпечують утворення на робочих поверхнях інструментів високотемпературних поліоксидних трибопленок, що грають роль твердої смазки, що ефективно знижує інтенсивність виношування інструментів;
- введення в склад покриття з'єднань, що є інгібіторами реакції хімічного взаємодії, що дозволяє здвинути початок активної хімічної взаємодії в зоні обробки до діапазону більш високих швидкостей різання.

Численні матеріали і способи нанесення покриттів мають свої переваги і недоліки. Тому, закономірно прагнення до розробки не “універсальних” покриттів і способів їхнього нанесення, а покриттів, призначених для конкретних матеріалів основи і визначених умов експлуатації.

Запитання для самоконтролю

1. Назвіть основні задачі інструментального господарства.
2. Назвіть основні вимоги до експлуатації інструмента.
3. У чому полягає якість різального інструмента?
4. Що таке зношування інструмента?
5. В чому полягає напрацювання інструмента до відмови?
6. В чому полягає надійність різального інструмента?
7. Що таке “продуктивність інструмента”?
8. Що таке довговічність різального інструмента?
9. Які види крихкого руйнування зазнає лезо інструмента?
10. Які види пластичного руйнування зазнає лезо інструмента?
11. Охарактеризуйте види зношування різального леза.
12. В чому полягає ремонтпридатність інструмента?
13. Перелічить параметри які характеризують працездатність інструмента?
14. Яким чином здійснюють відновлення працездатності різального інструмента?
15. Назвіть основні перспективи розвитку різального інструмента.
16. Типи та склад зміцнювальних покриттів.
17. Методи контролю робочого стану інструмента.
18. Особливість багат шарових зміцнювальних покриттів.
19. Типи безпосереднього контролю інструмента.
20. Непрямі методи контролю стану інструмента.
21. Основні галузі застосування різальної кераміки.
22. Принцип комплексного покращення різального інструмента.

Посилання

1. Вавилов А. А. Имитационное моделирование производственных систем / А. А. Вавилов. – Москва: Машиностроение, 1983. – 416 с.
2. Кукляк М. Л. Металорізальні інструменти в машинобудуванні. Частина 1 / М. Л. Кукляк. – Київ: УСДО, 1993. – 392 с.
3. Кукляк М. Л. Металорізальні інструменти в машинобудуванні. Частина 2 / М. Л. Кукляк. – Київ: УСДО, 1994. – 398 с.
4. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. – Москва: Машиностроение, 1980. – 320 с.
5. Прогрессивные конструкции режущего инструмента для ГПС и роботизированных комплексов. - Москва.: МДНТП, 1987. – 167 с.
6. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания / Под общ. ред. В.И. Баранчикова. - Москва.: Машиностроение, 1990. – 440 с.
7. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / Под общ. ред. А.И. Грабченко. - Харьков: ХГПУ, 1999. - 334 с.
8. Fatih T., Colak O, Kayacan M. Investigation of TiN coated CBN and CBN Cutting tool performance in hard milling application // Strojniški vestnik – J. Mechan. Eng. – 2011. – 57, N 5. – P. 417–424.
9. De Siqueira Galoppi G., Stipkovic Filho M., Ferreira Batalha G. Hard turning of tempered DIN 100Cr6 steel with coated and no-coated CBN inserts // J. Mater. Proc. Technol. – 2006. – 179. – P. 146–153.
10. Coelho R. T., Ng E. G., Elbestawi M. A. Tool wear when turning hardened AISI 4340 with coated PCBN tools using finishing cutting conditions // Int. J. Machine Tools Manufact. – 2007. – 47. – P. 263–272.
11. M'Saoubi R., Johansson M. P., Andersson J. M. Wear mechanisms of PVD-coated PCBN cutting tools // Wear. – 2013. – 302, N 1–2. – P. 1219–1229.

Мудрість не може бути досягнута,
якщо їй не вчитися.

Демокріт

3 КОНСТРУЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ

3.1 Мета, завдання і методи проектування

Мета проектування

Створення конструкції інструмента, оптимального за критерієм мінімуму приведених витрат на операції його використання.

Завдання проектування

Розробка конструкції складових частин (робочою, приєднувальною, напрямних) шляхом оптимальних рішень по вибору елементів цих частин.

Для кожного конкретного завдання будуть викладені два принципово різних підходи або методи проектування :

- аналоговий;
- компіляційний.

Аналоговий метод проектування

Полягає в пошуку аналогів і в створенні на їх основі кращої конструкції інструмента шляхом використання кращих рішень, закладених в цих аналогах.

Метод компіляції проектування

Припускає створення конструкції з оптимальних, загальних для усіх інструментів елементів і методів рішення конкретних завдань.

Це по суті – модульний метод проектування, де модулями є одиничні елементи конструкції (різальний елемент, форма робочої поверхні, схема різання та ін.) і способи рішення окремих завдань (розрахунок форми різального контура, спосіб відведення стружки і так далі).

Обидва методи мають право на існування. Аналоговий метод простіший, надійніший; більше упевненості в працездатності конструкції, якщо аналоги пройшли виробничу перевірку. Він найбільш прийнятний для пристосування конструкції до конкретних умов роботи.

Метод компіляції проектування дозволяє створювати принципово нові конструкції, імовірно кращі за формою і властивостям. Його недолік – відсутність повної упевненості в тому, що без доопрацювань за результатами випробувань інструмент буде цілком працездатним. Головна перевага методу компіляції полягає в тому, що він є дуже плідний відносно нетрадиційних ідей.

Алгоритм і діалектика проектування

Для зменшення можливих недоробок і спрощення проектно-конструкторських робіт завдання проектування доцільно вирішувати в певній послідовності, відповідно до приведеного нижче алгоритму.

Проектування робочої частини :

- вибір інструментального матеріалу ;
- вибір схеми різання і розробка структурної схеми інструмента;
- вибір геометричних параметрів : форми робочих поверхонь, структури різального контура (головних, допоміжних, перехідних, різальних кромки) і кутів заточування;
- вибір способів відведення стружки із зони різання;
- розрахунок зубів і тіла інструмента на міцність і жорсткість;
- оптимізація кроку, розмірів і форми зубів, а також стружкових канавок інструмента;
- визначення розмірів, форми і точність робочої частини і різальних контурів;
- вибір способів відведення теплоти із зони різання;
- остаточна оптимізація конструкції робочої частини по мінімуму приведених витрат.

Поетапну оптимізацію проводять послідовним рішенням завдань за вказаними пунктами.

Проектування приєднувальної частини :

- вибір способу приєднання інструмента до верстата (рухливість або нерухомість, швидкість зміни, можливість регулювання розмірів, точність, жорсткість);
- вибір форми базових поверхонь;
- вибір матеріалу приєднувальної частини;
- вибір способу з'єднання з робочою частиною;
- розрахунок приєднувальної частини на передачу зусилля різання, міцність, жорсткість і точність базування.

Проектування напрямної частини :

- оцінка необхідності напрямної частини;
- вибір способу напрямної інструмента в роботі;
- вибір матеріалу напрямної частини;
- вибір місця розташування напрямних частин і способу їх з'єднання з іншими частинами інструмента;
- конструктивне оформлення напрямної частини.

Розробка технічні вимог:

- твердості складових частин інструмента;
- відхилень розмірів і точності розташування складових частин, поверхонь і різальних кромок;
- шорсткості робочих, базових, напрямних і інших поверхонь;
- методів випробування в роботі (при необхідності);
- вказівок про маркування, упаковку, зберігання та ін.

Шлях проектування

Це шлях послідовного рішення вказаних завдань, шлях руху вперед і повернення при вирішенні протиріч. За кожним позитивним рішенням потрібно побачити негативні сторони, уміти правильно зважити усе “за і проти”, вирішити ці протиріччя.

Критерій оцінки правильності прийнятих рішень – мінімум приведених витрат на операції використання інструмента або інший, залежний від поставленої мети.

Створення оптимальної конструкції інструмента можливе при використанні прогресивних рішень, передових методів розрахунку і проектування. Не можна сліпо, без попередньої підготовки, без з'ясування суті використовувати наведені в літературі приклади розрахунку.

Необхідно спочатку детально вивчити або скласти технічне завдання на проектування, чітко уявити собі, що вимагається від інструмента і як цього можна досягти. Тому перед початком роботи слід:

- детально ознайомитися з об'єктом проектування по літературі;
- потім здійснити патентно-інформаційний пошук аналогів;
- проаналізувати їх з точки зору оптимальних рішень вказаних завдань проектування;
- прийняти технічно і економічно обґрунтовані рішення;
- і, нарешті, розробити план проектних робіт.

При цьому необхідно пам'ятати, що у будь-якій конструкції, навіть найоригінальнійшій, доцільно використовувати стандартні елементи, що не лише прискорює розробку і підвищує надійність інструмента, але частенько визначає саму можливість його використання. Передусім це відноситься до вибору розмірів і форми приєднувальних частин, форми різальних зубів, способів кріплення різальних елементів, технічних вимог по інструментах аналогам.

Для синтезування оптимальної конструкції різального інструмента з елементів шляхом послідовного рішення завдань по алгоритму проектування, необхідно мати уявлення про різновиди і властивості цих елементів, а також підходи до рішення вказаних завдань. Ці питання є дуже важливими, але передусім необхідно детально вивчити або розробити технічне завдання на проектування.

3.2 Технічне завдання на проектування

Детальне технічне завдання конструктор-інструментальник має у разі адресного проектування при оснащенні технологічного процесу виготовлення деталі в умовах масового і великосерійного виробництва. Його видає інженер-технолог у вигляді операційної технологічної карти за рис. 3.1

У цьому випадку робота конструктора-інструментальника спрощується. Продуктивність обробки задана режимом різання. Тому при доопрацюванні стандартної конструкції потрібного інструмента, адаптації його до конкретних умов роботи або при проектуванні оригінального інструмента, конструктору немає необхідності прагнути до максимальної продуктивності.



Рис. 3.1. Зміст технологічної карти

Порівняно легко забезпечуючи задану продуктивність вибором відповідного інструментального матеріалу, конструктор вирішує тільки питання, пов'язані з енергоємністю і економічністю процесу різання.

Одночасно необхідно перевірити, чи відповідають паспортним значенням розміри місць конкретного, наявного в цеху верстата, що поєднується з інструментом, і пов'язати конструкцію інструмента із затискним пристроєм на заданій операції. Зневага цим правилом може привести до того, що інструмент або не поєднується з верстатом, або його розміри не дозволяють підійти до місця обробки.

Проте детальне технічне завдання конструктор має не завжди. Це буває у таких випадках:

- проектування інструмента для нового методу обробки;
- проектування знеособленого інструмента масового користування, невідомо:
 - на яких верстатах використовуватиметься інструмент;
 - в яких умовах працюватиме; з яких матеріалів і з якою точністю оброблятимуться деталі.

У таких випадках конструктор розробляє технічне завдання самостійно, орієнтуючись на середні умови роботи.

3.3 Етапи конструювання

Конструювання інструмента полягає у виборі типу інструмента [3], визначенні його розмірів, складанні робочого кресленника і технічних умов, за якими інструмент може бути виготовлений. Дії конструктора зводяться до наступного [1, 2]:

- виходячи з технічного завдання на оброблювальну деталь:
 - зробити аналіз сил, що діють на інструмент,
 - визначити “оптимальні” геометричні параметри різальних зубів,
 - підібрати відповідний інструментальний матеріал,
 - вибрати форму робочої частини, що забезпечує вільне відділення стружки.
- визначити форму та профіль зубів інструмента;
- визначити доцільні габаритні розміри інструмента;
- зробити розрахунки кінематичних параметрів інструмента;
- перевірити (за розрахунками) інструмент на міцність, жорсткість, надійність;
- скласти робочий кресленник інструмента та технічні умови.

Треба розрізняти два основні варіанти проектування інструмента:

- проектування для невідомого користувача
У цьому випадку всі параметри інструмента проектують на основі загальних умов користування інструментом.
- проектування для відомого користувача
У цьому випадку всі параметри інструмента проектують для конкретних умов користування інструментом.

Сучасні підприємства не придбають інструмент для якогось верстату. Вони придбають комплекс верстатів та інструментів для виготовлення конкретної продукції.

3.4 Частини інструмента

Кожен з інструментів, незалежно від виду і призначення, має загальні частини: робочу і приєднувальну (рис.3.2).

Робоча частина

Безпосередньо зрізує стружку і для цього забезпечена однією або декількома різальними кромками.

Приєднувальна частина

Призначена для приєднування інструмента до верстату та передачі зусиль до робочої частини інструмента.

Робоча частина інструмента є основною його частиною, тому визначення її форми і розмірів складає основне завдання при розрахунку і конструюванні інструментів [5, 6]. У багатьох інструментах робочу частину можна розділити на:

- різальну, що виконує основну роботу по зрізанню стружки;
- і ту що калібрує, призначену для остаточного формування оброблюваної поверхні.

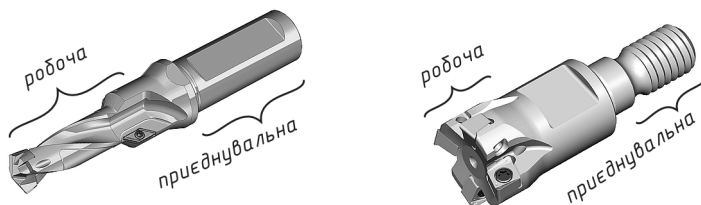


Рис. 3.2. Робоча та приєднувальна частини інструмента

Конструкції, як робочих частин, так і приєднувальних дуже різноманітні. Доцільно прагнути до скорочення цієї різноманітності. Для цього здійснюється стандартизація інструментів, яка особливо важлива для приєднувальних частин, оскільки від їх форм і розмірів залежать форми і розміри гнізд у виконавчих органах верстатів. Тому при конструюванні інструментів необхідно користуватися існуючими стандартами на різні види інструментів.

3.5 Технологічність інструмента

Конструкція інструмента має бути за можливістю простою, позбавленою яких-небудь надмірностей, що не викликаються крайньою необхідністю [4].

Конструкція інструмента має бути технологічною. Він має бути порівняно простий у виготовленні. Важливо врахувати особливості матеріалів, з яких виготовлятиметься інструмент і методи їх оброблення, технологічні і метрологічні можливості устаткування.

Зауваження. Доцільно використовувати стандартні та готові конструктивні рішення. Інколи краще купити готовий вузол на стороні ніж виготовляти самому.

У збірних інструментах необхідно передбачити особливості виготовлення кожної деталі.

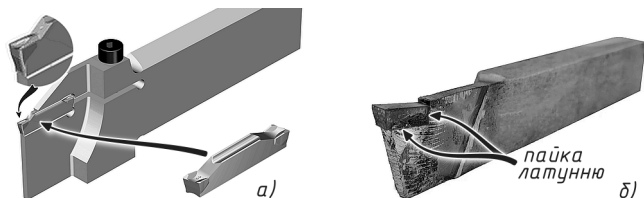


Рис. 3.3. Технологічність інструмента.

а – технологічна конструкція із змінними різальними елементами;
б – не технологічна конструкція із паяними елементами

Конструктор повинен ясно уявляти технологію виготовлення цього інструмента, у тому числі специфічні особливості інструментального виробництва, так що при конструюванні інструмента усі ці питання вирішуються комплексно.

3.6 Кріплення інструментів

Усі види з'єднання інструмента з верстатом можна розділити на три стандартні групи :

- **жорсткі з'єднання:**
 коли передавання зусилля здійснюється за допомогою шпонок, штифтів чи якими-небудь виступами.
- **фрикційні з'єднання:**
 коли передавальні зусилля здійснюється силами тертя в місцях стику між сполучними частинами інструмента і верстата.
- **комбіновані з'єднання:**
 що поєднують жорсткі і фрикційні елементи.

Важливою умовою при конструюванні приєднувальної частини є легка і швидка установка інструмента на верстаті.

3.6.1 Спосіб кріплення інструмента

Для забезпечення заданих розмірів обробки інструмент повинен займати певне положення відносно верстата або оброблюваної деталі і не змінювати цього положення під час роботи. Для цієї мети служить приєднувальна частина інструмента, що складається з базових поверхонь і елементів передачі зусиль.

У хвостових інструментів такою частиною є хвостовики, а у насадних - корпус робочої частини. У переважній більшості випадків інструменти закріплюються нерухомо відносно шпинделя або супорта верстата (різці, фрези, свердла, зенкери, протягання для зовнішнього простягання, зуборізні інструменти).

Проте є випадки, коли слід віддати перевагу рухливому з'єднанню інструмента з верстатом. Це відноситься до інструментів, які повинні самостійно зайняти потрібне положення відносно оброблюваної поверхні деталі, якщо є побоювання, що верстатом це забезпечити неможливо.

До таких інструментів відносяться чистові інструменти, такі, як:

- протяжки для обробки замкнутих контурів, наприклад, круглі;
- розвертки;
- мітчики.

Особливо це трапляється коли обробка цими інструментами здійснюється на окремих верстатах або позиціях багатопозиційних верстатів, після попередньої обробки іншими інструментами на інших верстатах або інших позиціях верстата.

Для самостійної установки служать спеціальні утримувачі інструментів або патрони (що коливаються, ті що “плавають”, швидкозмінні і так далі). Тобто ті, що сполучають інструмент із шпинделем або супортом верстата. Принципові схеми таких патронів приведені в стандартах на відповідний інструмент.

Так, наприклад, плаваючий патрон (рис.3.4) забезпечує поєдна-

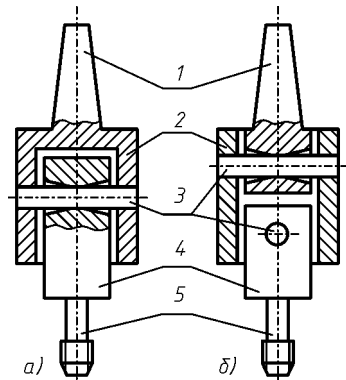


Рис. 3.4. Плаваючий патрон.

1 – хвостовик; 2 – обойма;
3 – вісі качання; 4 – корпус;
5 – інструмент

ння осей розвертки і оброблюваного отвору, якщо вісь шпинделя верстата на позиції обробки зміщена відносно осі заздалегідь обробленого отвору. Крім того, биття шпинделя верстата в принципі не передається на інструмент і розбивання отворів зменшується.

У переважній більшості інструменти закріплюють нерухомо щодо шпинделя або супорта верстата (різці, фрези, свердла, зенкери, протяжки для зовнішнього протягування, зуборізні інструменти).

Проте є випадки, коли слід віддати перевагу рухомому з'єднанню інструмента з верстатом. Це відноситься до інструментів, які мають самостійно встановитись відносно деталі.

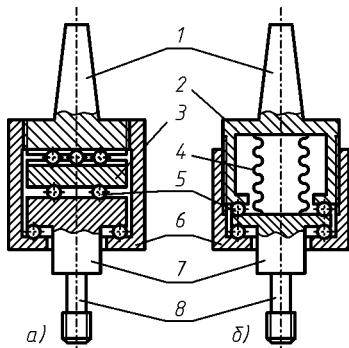


Рис. 3.5. Патрон кочення та сильфонний.

- 1 – хвостовик; 2 – обойма;
3 – поводок; 4 – сильфон;
5 – кульки; 6 – корпус патрону;
7 – патрон для інструмента;
8 – інструмент

Існує два різновиди плаваючих патронів для верстатів свердлувальної групи – з однією віссю (рис. 3.4,а) та з двома (рис. 3.4,б).

Конструкція плаваючого патрону за рис. рис. 3.4,б має більшу можливість самовстановлення за рахунок наявності двох осей.

Крім того, биття шпинделя верстата в принципі не передається на інструмент і розбивання отворів зменшується.

Однак, на початку оброблення отвору (коли інструмент “встановлюється”) діаметр отвору може бути збільшеним.

Тертя ковзання в з’єднаннях патрона слід замінювати на тертя кочення або ще краще на внутрішнє

тертя в пружних елементах приєднувальних конструкцій.

Прикладами кращих рішень може бути плаваючий патрон на базі сильфону (рис. 3.5), гофрованої металевій трубки, достатньою крутильною жорсткістю і великою радіальною податливістю або звичайний металевий стрижень-подовжувач з радіальною податливістю на кінці закріпленого в ньому інструмента замість патрона, що коливається.

Патрон кочення за рис. 3.5,а на жаль має схильність до заклинювання і тому не застосовується у випадках роботи із значним навантаженням. Патрон із сильфоном за рис. 3.5,б не має таких проблем, однак значно складніший і дорожчий.

Зауваження. Інструмент встановлений у плаваючий патрон завжди рухається вздовж осі попередньо обробленого отвору, навіть коли вона викривлена.

При виборі або розробці конструкції патрона необхідно прагнути зменшити кількість рухомих з'єднань, щодо шпинделя верстата, положенням інструмента. Наслідком цього з'явиться підвищене розбивання обробленого отвору.

3.7 Швидкозмінність інструмента

3.7.1 Швидкозмінні хвостики

Швидкозмінні кріплення дуже важливі для інструментів автоматизованих виробництв, де необхідне скорочення простоїв автоматичних ліній при заміні інструментів.

Основною конструкції швидкозмінних патронів є принцип швидкої зміни інструмента. На рис. 3.6 подано типову конструкцію хвостика інструмента, що дозволяє здійснювати заміну інструмента за малий проміжок часу. В її основу закладено так-званий штифтовий замок.

Значною перевагою таких хвостиків є простота та швидкість встановлення інструмента у шпиндель верстата.

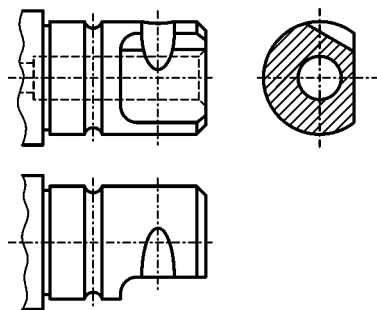


Рис. 3.6. Штифтовий хвостик

Однак штифтовим хвостикам притаманні суттєві недоліки:

- інструмент може передавати зусилля різання тільки в одному напрямку. Це змушує виготовляти хвостики ліві та праві;
- через наявність зазорів у з'єднанні інколи виникають вібрації інструмента.

Зважаючи на вказані недоліки, штифтові хвостики застосовують у випадках невисокої точності оброблення.

При виборі або розробці конструкції патрона необхідно прагнути зменшити кількість рухливих зчленувань, в яких під навантаженням під час роботи можливі заїдання і перетворення рухливого з'єднання в нерухоме зі зміщеним відносно шпинделя верстата положенням інструмента. Наслідком цього стане підвищене розбивання обробленого отвору.

Тертя ковзання в рухомих з'єднаннях патрона слід замінювати на тертя кочення або ще краще – на внутрішнє тертя в пружних елементах. Прикладами кращих рішень може бути плаваючий патрон на базі сільфону, гофрованої металевої трубки, що має достатню крутильну жорсткість і велику радіальну податливість. Або звичайний металевий стержень-подовжувач з радіальною податливістю на кінці закріпленого в ній інструмента замість патрона, що коливається.

3.7.2 Швидкозмінні різальні елементи

Швидкість зміни кріплення дуже важлива для інструментів автоматизованих виробництв, де особливо потрібне скорочення простоїв автоматичних ліній при заміні вийшовши з ладу інструментів.

Для цієї мети використовують швидкозмінні патрони для стержневих інструментів (свердел, зонкерів, мітчиків, розгортки), клямки для різців і деякі інші пристрої.

На рис.3.7 подано приклад конструкції змінного різального елемента. На картриджі з двома кріпильними отворами 2 за допомогою гвинта 4 закріплено різальний елемент 3.

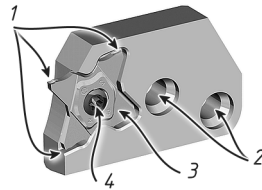


Рис. 3.7. Змінний різальний елемент

Цей елемент має чотири різальні кромки 1. Після затуплення однієї кромки пластину 3 повертають і до роботи вступає нова різальна кромка. Отже, маючи всього один картридж є можливість швидкої зміни різальних кромки декілька разів.

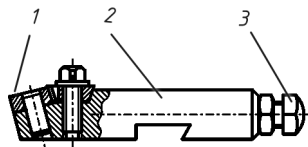


Рис. 3.8. Інструмент настроюваний на розмір

Скорочення простоїв дорогого автоматизованого устаткування досягається також використанням так званого безпідналаджувального інстру-

мента, що не вимагає наладки на розмір обробки після його установки на верстаті.

Виготовити взаємозамінний інструмент нескладно, але після переточувань його розміри змінюються. Тому вважають за краще вводити в конструкцію інструмента або в проміжні оправки та перехідники, в яких він встановлюється, рухливі елементи у вигляді гвинтів з сферичною головкою, якими можна забезпечити точне положення інструмента по одній або двох координатах відносно базових поверхонь верстата, забезпечуючи при цьому отримання заданих розмірів обробки.

Прикладом регулювання інструмента на розмір може слугувати конструкція токарного різці подана на рис.3.8. Положення вершини 1 різця 2 можна регулювати за допомогою гвинта 3, який на верстаті впирається в опорний елемент.

Точне налаштування інструмента на розміри обробки виконується в спеціальних пристосуваннях або приладах поза верстатом, верстат в цей час працює. Таке налаштування передбачають у інструментів для верстатів з ЧПУ і автоматичних ліній з агрегатних верстатів.

3.7.3 Напрямна частина

Без точного положення інструмента і напряму його руху відносно оброблюваної деталі неможливо отримати задану точність розмірів і форми оброблених поверхонь.

В процесі роботи напрям передається тому елементу технологічної системи, який забезпечує рух подачі, наприклад, деталі при фрезеруванні, різцю і свердлу при точінні і свердлінні. Такий напрям завжди забезпечується верстатом (відповідно столом фрезерного верстата, супортом токарного або шпинделем свердлувального) або самими інструментом.

На рис.3.9 наведено приклад прямої приналежної безпосередньо інструменту, а саме зенкеру.

Проте у багатьох випадках такого напряму недостатньо. Для підвищення точності оброблених поверхонь і їх положення один відносно одного або певних базових поверхонь деталі інструмента



Рис. 3.9. Напрямна інструмента

необхідно повідомити додатковий напрям в роботі по пристосуванню або оброблюваній деталі.

Це характерно для таких технологічних операцій:

- свердління точно розташованих отворів;
- розвертування ступінчастих отворів;
- зенкування поглиблень під голівки гвинтів і обробки друг їх співісних отворів зенкерами і розгортками;
- нарізування різьби мітчиками;
- протягування на горизонтально-протяжних верстатах;
- а також для деяких друг їх видів обробки.

Необхідність такого напрямку треба встановити на стадії проектування інструмента залежно від точності розмірів і точності розташування оброблених поверхонь, щоб надалі вибрати спосіб напрямку інструмента і направляючі елементи, що відповідають йому.

3.7.4 Матеріал напрямної частини

Основними вимогами до напрямної частини є:

- висока точність розмірів (не повинно бути великого проміжку між напрямною частиною інструмента і напрямною поверхнею оброблюваної деталі або пристосування) і висока точність розташування відносно робочої частини інструмента;
- висока зносостійкість, оскільки вона третяся об деталь або пристосування із швидкістю різання.

Тому напрямні частини роблять з гартованих на високу твердість інструментальних вуглецевих або легированих сталей, у тому числі зі швидкорізальних, звертаючи увагу на технологічність конструкції інструмента в цілому. Це означає, що змінні напрямні частини можна виконувати з будь-якого вказаного матеріалу.

У цілісних і складених швидкорізальних інструментів частина напрямної є природним продовженням робочої, а її матеріалом – матеріал робочої частини, а саме швидкорізальна сталь.

Якщо корпус інструмента виконаний з конструкційної сталі (зенкери, розвертки, оснащені твердими сплавами або ножами зі швидкорізальної сталі), то матеріалом напрямної частини може бути матеріал корпусу, але підданий додатковій обробці для підвищення зносостійкості (загартування після цементації, хромування).

3.8 Автоматизоване виробництва

Інструменти автоматизованих виробництв, як і будь-які інші, повинні при заданій якості обробки забезпечити мінімум приведених витрат на операціях їх використання. Проте у зв'язку з особливостями функціонування автоматизованих виробництв посилюються колишні вимоги до інструментів або пред'являються нові, такі, як:

- висока надійність роботи інструмента;
- високі і стабільні різальні властивості;
- задовільне формування і відведення стружки,
- швидкість при заміні інструмента;
- взаємозамінюваність, що забезпечується налаштуванням на розмір поза верстатом;
- універсальність застосування для типових оброблюваних поверхонь різних деталей на різних верстатах з ЧПК;
- підвищена точність інструментів для верстатів з ЧПК.

Усі ці вимоги вписуються в три основні, раніше розглянуті:

- висока продуктивність;
- мала енергоємність процесу різання;
- економічність інструмента.

Шляхи реалізації цих вимог принципово такі ж, як і для інструментів взагалі, і проектується вони по тому ж, викладеному раніше алгоритму [7, 8, 9].

Проте посилення основних вимог і задоволення нових, пов'язаних з умовами експлуатації автоматизованого устаткування, вимагають пошуку інших шляхів рішення ряду завдань. Уточнимо деякі з них.

Якщо відповідно до алгоритму проектування проаналізувати рішення колишніх завдань, то можна виявити наступні особливості. Передусім, при виборі різального матеріалу прагнуть використовувати матеріал вищої теплостійкості і міцності з метою підвищення продуктивності і надійності інструмента. Ці вимоги не завжди сумісні. Тому доводиться приймати компромісне економічно вигідне рішення. З метою підвищення універсальності інструментів різальні матеріали у вигляді багатограних непереточуваних пластин (БНП) механічно кріплять до корпусів. В результаті такий інструмент можна швидко переоснастити пластинами іншого різального матеріалу.

Геометричні параметри

Геометричні параметри інструментів з БНП забезпечуються як за рахунок параметрів самої пластини, так і за рахунок похилої установки пластини в корпусі інструмента. Що стосується вибору оптимальних значень задніх кутів і кутів нахилу різальних кромок, то немає ніяких перешкод на шляху реалізації цих вимог.

Пластини виготовляють із задніми кутами від 0 до 30° з малим кроком зміни, що цілком достатньо для точного втілення оптимальних значень задніх кутів. Крім того, при цьому підвищується універсальність інструментів : легко, без переточування і без заміни корпусу можна отримати інструменти з іншими задніми кутами, замінивши різальні пластини.

Передні кути отримують за рахунок радіусних канавок на передній поверхні пластин, що утворюються при пресуванні. Крім того, вони залежать також і від кута повороту пластини, необхідного для набуття вибраних значень задніх кутів.

Оптимізація кроку

Оптимізація кроку зубів збірних інструментів зводиться до пошуку таких способів закріплення пластин, які за усіх інших умов забезпечать мінімальне значення кроку. Переступити межу оптимуму у напрямі мінімізації кроку не вдається. При цьому слід пам'ятати, що оптимізація кроку економічно прийнятна для інструментів в масовому виробництві на жорстких автоматичних лініях з агрегатних верстатів.

Взаємозамінюваність інструментів

Взаємозамінюваність інструментів забезпечується введенням в їх конструкцію компенсаторів у вигляді гвинтів з сферичною голівкою, що дозволяють заздалегідь, поза верстатом, настроїти необхідний розмір інструмента. Після установки такого інструмента на верстат підналадку не потрібно.

Універсальність інструментів

Універсальність інструментів досягається за рахунок модульності конструкцій. Будь-який інструмент конкретного призначення можна отримати шляхом швидкої зборки з уніфікованих модулів. Таким

оригінальним способом (модульність конструкцій) вирішується протиріччя між універсальністю і спеціалізацією інструмента (рис.3.10).



Рис. 3.10. Модульна система верстатів токарної групи

При цьому уніфіковані модулі виготовляють спеціалізовані підприємства. В результаті – низька вартість модулів при високій якості оброблення деталей.

Приклад змінного розточувального модуля токарної групи наведено на рис.3.11. Модуль має змінну різальну пластину виготовлену із твердого сплаву та призначений для розточування отворів.

Єдиним недоліком модульних конструкцій є знижена жорсткість і труднощі в досягненні необхідної точності позиціювання інструмента, оскільки мною зчленувань.

Проте цей недолік обертається і позитивною стороною: вища вібростійка із-за демпфування коливань стилями модулів.

Модульна система інструмента має суттєві переваги. Насамперед це, єдина система кріплення інструмента для револьверної головки і інструментального шпинделя на багатоцільових верстатах. Наявність декількох револьверних головок на багатоцільових верстатах і токарних центрах.



Рис. 3.11. Змінний розточувальний модуль

Більш багатофункціональні інструменти для багатоцільових верстатів. Наявність приводного (обертального) інструмента в токарних центрах

Більш досконалі системи ЧПК, що дозволяють підвищити рівень автоматизації процесів. 3D-моделі інструментів та тримачів для перевірки процесу обробки.

3.9 Організація проектування

Проектування інструмента розпочинається з ретельного вивчення виданого або розробленого самим конструктором технічного завдання на проектування. Вивчаються умови роботи інструмента, по яких з'ясовують принципові особливості його конструкції,

Розглянемо наприклад, свердління наскрізного отвору діаметром понад 80 мм у сталі ст.15:

- основна особливість $\Rightarrow$ велика робота різання звичайним спіральним свердлом.
- альтернативна особливість $\Rightarrow$ конструкція свердла для кільцевого свердління, що зменшує роботу різання.

Свердлінню отворів в сталі 15 супроводить інтенсивне налипання оброблюваного металу на поверхнях тертя інструмента, особливо на бокових стрічках свердла.

В нашому прикладі необхідно зменшити тертя між інструментом та зоготовкою. Це можна зробити за рахунок скорочення ширини стрічок, підгострювання стрічечок або збільшення зворотної конусності.

Подібні принципові особливості конструкції виявляють перед початком конструювання. Іншими словами – визначають всі проблемні ситуації та формулюють можливі методи їх розв'язування.

Потім послідовно вирішуються завдання проектування за усіма розглянутими вище пунктами або по частині з них залежно від заданого або прийнятого напрямку проектування.

Загалом основних напрямів проектування (алгоритмів проектування) чотири:

- **проектування**

стандартних інструментів (розробка робочих креслень таких інструментів). *Усі параметри конструкції і технічні вимоги приймають за ДСТУ;*

– оптимізація

стандартних інструментів. *Виконується з метою підвищення ефективності їх роботи головним чином за рахунок вдосконалення схем різання, методів охолодження в роботі, способів кріплення різальних елементів, оптимізації кроку зубів.*

– доопрацювання

стандартних конструкцій з оптимізацією окремих елементів стосовно конкретних умов роботи в масовому і великосерійному виробництві. Стандартні інструменти пристосовують до конкретних умов роботи. *Можлива зміна стандартних габаритних розмірів, геометричних параметрів, схем різання, кроку зубів і деяких інших елементів для поліпшень.*

– розробка

оригінальних конструкцій, у тому числі спеціальних фасонних. Тут може бути повністю виключений аналоговий метод проектування, якщо конструкція оптимізується по мінімуму приведених витрат на операції використання інструмента. *Проте подібні конструкції із-за непередбачених прорахунків можуть виявитися непрацездатними, і їх необхідно тривалий час допрацьовувати. Тому і тут корисно використовувати деякі стандартні рішення.*

3.10 Робочий кресленник

Після необхідних розрахунків виконується робочий кресленник інструмента. Основні вимоги до креслення регламентуються стандартами на відповідний інструмент.

При викреслюванні інструмента існує ряд умовностей, що спрощують графічну роботу:

- не завжди зображають стружкові канавки коли їх форма не дуже суттєва (мітчики, розгортки, фрези);
- у багатозубих інструментів викреслюють профіль тільки 2...3 зубів;
- гвинтові лінії на кресленнях загального виду замінюють прямими (фрези, свердла, розгортки);
- профіль інструмента зазвичай викреслюється окремо у збільшеному масштабі із додаванням таблиці розмірів;

- перерізи для позначення величини передніх і задніх кутів виконують частково.

На кресленні необхідно вказати усі розміри. Якщо це однотипні інструменти (комплект мітчиків, нормалі різців і тому подібне), на кресленнику проставляють буквені позначення розмірів, а їх числові значення наводять у таблицях.

Обов'язково має бути вказана шорсткість поверхонь інструмента. Особливо важливо вказати її на найважливіших поверхнях, ними є:

- робочі поверхні різального елемента;
- опорні, настановні і контрольні поверхні.

На робочому кресленні мають бути вказані технічні вимоги до цього інструмента:

- допуски на розміри, биття основних поверхонь;
- позначення матеріалу інструмента;
- твердість окремих частин інструмента;
- опис маркування і на якому місці інструмента.

Технічні вимоги до інструментів містять в технічних умовах, які на більшість інструментів стандартизовані.

Запитання для самоконтролю

1. Перелічить основні частини різального інструмента.
2. У чому полягає алгоритм проектування інструмента?
3. Основні етапи проектування робочої частини різального інструмента.
4. Основні етапи проектування приєднувальної частини інструментів.
5. Сформулюйте технологічні вимоги до різального інструмента.
6. В чому полягає відмітність цільного інструмента від складеного з точку зору їх використання?
7. Елементи технічного завдання на проектування різального інструмента.
8. Перелічить основні типи кріплення інструмента.
9. Основні етапи конструювання інструмента?
10. Основні типи кріплення різальних елементів?
11. Види з'єднання інструментів з верстатом?
12. Етапи та послідовність проектування інструмента.
13. Перелічить основні форми передньої поверхні різальної частини інструмента.
14. Перелічить основні форми задньої поверхні різальної частини інструмента.
15. У чому полягає основне призначення стружкових канавок?
16. У чому полягає технологічність конструкції сучасного різального інструмента?
17. Охарактеризуйте різні способи кріплення інструмента.
18. Яка різниця між взаємозамінністю та універсальністю різального інструмента?
19. Зміст автоматизованого проектування різального інструмента.
20. Основні напрями та алгоритми проектування інструмента.

Посилання

1. Алексеев Г. А. Конструирование инструмента / Г. А. Алексеев, В. А. Аршинов, Р. М. Кричевская. – Москва: Машиностроение, 1979. – 384 с.
2. Жигалко И. И. Проектирование и производство режущих инструментов / И. И. Жигалко, В. В. Киселев. – Минск: Высшейшая школа, 1968. – 279 с.
3. Фельдштейн Е. Э. Металорежущие инструменты. Справочник конструктора / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
4. Шагун В. И. Режущий инструмент. Проектирование. Производство. Эксплуатация / В. И. Шагун. – Минск: Пион, 2002. - 496 с.
5. Фрумин Ю.Л. Комплексное проектирование инструментальной оснастки / Ю.Л. Фрумин. – Москва: Машиностроение, 1987. - 195 с.
6. Юлтков М.И. Проектирование и производство режущего инструмента / М.И. Юликов, Б.И. Горбунов, Н.В. Колесов. – Москва : Машиностроение, 1987. - 296 с.
7. CUTTING TOOL ENGINEERING Cutting and grinding, cover to cover. Northfield Plaza, Suite 240 Northfield,IL 60093. www.ctemag.com
8. Industrial Engineering Foundations: Bridging the Gap between Engineering and Management. Farrokh Sassani is a professor and associate head of the mechanical engineering department at University of British Columbia Mercury Learning and Information (December 29, 2016). 311 pages.
9. Bailey, J & Roy, Rajkumar & Harris, R & Tanner, A. (2001). Cutting Tool Design Knowledge Capture. 10.1007/978-1-4471-0351-6-25.

Не прагни знати усе, щоб не стати
в усьому неуком.

Демокріт

4 ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

4.1 Типи інструментальних матеріалів

Всі відомі інструментальні матеріали можна розділити на:

- металеві;
- неметалеві;
- і композиційні.

У металевих матеріалах можуть міститися невеликі домішки неметалів, обумовлені технологією отримання матеріалу, а також необхідний для утворення карбідів вуглець і оксидів – кисень. Аналогічно в структурі неметалічних інструментальних матеріалів можливі домішки металів в незначній кількості.

Сплави, спечи і багатошарові матеріали, що складаються з матеріалів різних видів, відносяться до композиційних матеріалів, при цьому можливі комбінації з металів і неметалів або ж тільки з металів.

Групи

Всі інструментальні матеріали можливо поділити на групи з погляду історичного застосування або ж пошуку нових напрямів розвитку. Деякі інструментальні матеріали мають достатньо широке застосування, а деякі, навпаки, виготовляють обмеженими серіями. (наприклад, швидкорізальні сталі марок Р9, Р18, поширені марки безвольфрамових сталей і сплавів і ін.)

Класифікація може біти здійснена за наступними групами (ознаками) групах матеріалів:

- інструментальні сталі;
- інструментальні сплави;
- синтетичні матеріали (кераміка та надтверді матеріали).

На жаль, роботи що ведуться в нашій країні і за кордоном із створення нових матеріалів, як правило, завершуються публікаціями рекламного характеру без розкриття складів, фізико-хімічних властивостей, особливостей технології виготовлення. Тому через брак інформації ряд матеріалів не включений до класифікації.

Особливо широко розвивається розробка надтвердих матеріалів. Поки не синтезовано жодного матеріалу, що перевершує за властивостями алмаз або кубічний нітрид бору.

Пошук ведеться у напрямі розширення діапазону фізико-механічних властивостей цих, і подібних до них матеріалів, за рахунок введення легуючих і армуючих добавок з окису алюмінію, карбиду бору, вольфраму, молібдену, нікелю. Виходять композиційні надтверді матеріали (СТМ).

Перспективні спроби підвищення якості полікристалів шляхом попередньої обробки початкових матеріалів високотемпературним нагрівом, органічними розчинниками, воднем, поверхнево-активними речовинами, бомбардуванням у вакуумі позитивними іонами. Успішні розробки по збільшенню розмірів полікристалів.

Позначення

На жаль, в світовій практиці немає загальноприйнятої розшифровки (позначення) інструментальних матеріалів, що утрудняє пошук відповідних аналогів матеріалів у нас в країні і за кордоном. Так, один і той же матеріал на основі кубічного нітриду бору має різні назви і позначення: КНБ, боразон, кубоніт, зльбор (за першої літери колишнього російського міста Ленінграда).

Але і вітчизняні позначення матеріалів також розрізняються великою "різноманітністю", не мають внутрішньої єдності, особливо останніми роками.

З метою збереження "ноу-хау" в складі і технології матеріалів, різні фірми дають їм специфічні назви, що виключають іноді будь-яку порівняльну оцінку різальних можливостей без вивчення рекламних матеріалів або консультації з виробником.

З цієї причини до приведених нижче класифікацій не увійшли деякі різновиди нових матеріалів. Не увійшли до класифікацій і сумнівних по своїй ефективності матеріали.

На теперішній час поширеними є такі позначення інструментальних матеріалів (рис. 4.1)

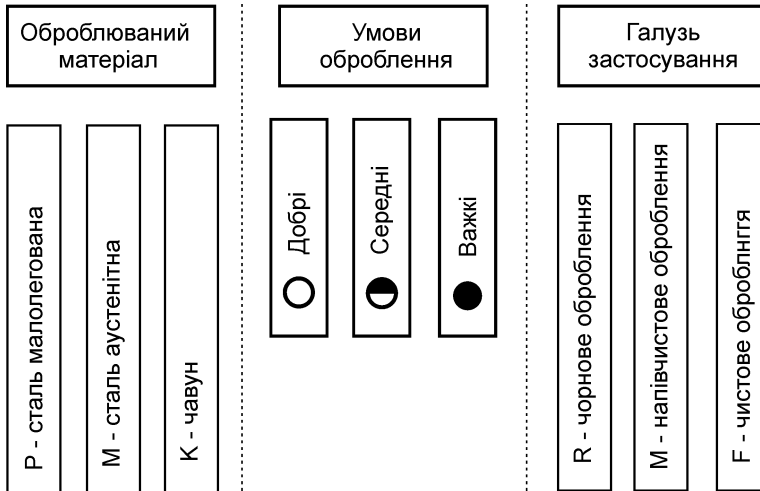


Рис. 4.1. Позначення умов оброблення

4.2 Вимоги до інструментальних матеріалів

Ріжучі властивості, тобто здатність інструментів обробляти матеріали різанням протягом заданого часу з обумовленою точністю і якістю, залежать від властивостей інструментальних матеріалів, що утворюють різальне лезо.

Здатність інструментів зрізувати стружку залежить від властивостей інструментальних матеріалів різального леза, тому вони повинні володіти двома основними властивостями [1, 2]:

- міцністю;
- та зносостійкістю.

Міцність

Руйнування леза може бути крихким, а при високих температурах нагріву і пластичним. У першому випадку мають місце обсіпання, викришування і сколи, в другому – пластична течія з подальшим зрізом малих об'ємів інструментального матеріалу.

Міцність матеріалу

Міцність забезпечує збереження форми леза при силовому навантаженні в процесі різання.

Оскільки руйнування можуть залежати від циклічної зміни навантаження на лезі за напрямом і знаком, то слід підвищувати межу втоми інструментальних матеріалів.

Наприклад, термічні удари при переривистому різанні, нерівномірному охолодженні леза приводять до розтріскування інструментального матеріалу. Тому важливо мати уявлення про опір матеріалу термодинамічним навантаженням.

Крихка і пластична міцність залежать від комплексу фізико-механічних властивостей інструментальних матеріалів. Найважливіші з них:

- твердість,
- межа міцності при розтягуванні, стисненні і вигині,
- ударна в'язкість, модуль пружності.

Для матеріалів, що отримуються пресуванням, необхідно контролювати щільність. Фізико-механічні характеристики бажано знати не тільки в холодному стані, але і при нагріві.

Руйнування леза може бути крихким, а при високих температурах, що супроводжують процес різання, і пластичним:

- у першому випадку мають місце осипання, викришування і сколи,
- в другому – пластична течія з подальшим зрізом малих об'ємів інструментального матеріалу.

Інтенсивність руйнування залежить від наявності циклічної зміни навантаження на лезі. Термічні удари (наприклад, при переривистому різанні, нерівномірному охолодженні) леза приводять до розтріскування інструментального матеріалу.

Зносостійкість

Зносостійкість характеризує опір інструментального матеріалу абразивному зношуванню лез. Абразивне зношування полягає в руйнівній дії твердих частинок при відносному переміщенні контактних поверхонь заготовки і інструмента, а також в сколюванні мікронерівностей, що утворюються при зносі інструмента.

Зношуванню сприяють структурні зміни інструментального матеріалу з зниження твердості при нагріві в процесі різання. Структурні перетворення можуть бути пов'язані з утворенням нових фаз у

приконтakтному шарі металів, з окисленням матеріалу, з розпадом карбідів унаслідок дифузії вуглецю.

Можливі і хімічні перетворення, наприклад, при взаємодії інструментального матеріалу з хімічно активними змашувальними та охолоджувальними технологічними засобами, які прискорюють абразивний знос.

Оцінюють зносостійкість по відношенню роботи сил тертя до маси продуктів зносу або ж по інтенсивності зношування, тобто відношенню маси продуктів зносу до шляху різання.

Руйнування і абразивне зношування залежать від ряду, зокрема вищезазначених, властивостей, що взаємодіють при різанні матеріалів. Одне з них - спорідненість інструментального і оброблюваного матеріалів.

Слід розрізняти злипаємість, адгезійну взаємодію і хімічну реактивність матеріалів.

Злипаємість

Це здатність матеріалів утворювати нарости і утримувати їх на інструменті. Міцний зв'язок наросту з інструментом веде до руйнувань на лезі при сколи наросту.

Адгезійна взаємодія

Проявляється у вигляді схоплювання при відносному переміщенні матеріалів деталі та інструмента. Таке руйнування супроводжується викиданням частинок інструментального матеріалу в зоні контакту зі стружкою.

Хімічна реактивність

Це здатність елементів інструментального матеріалу вступати в хімічну взаємодію з елементами оброблюваного матеріалу.

Температура та твердість

Важливою властивістю інструментального матеріалу є теплостійкість тобто здатність опиратись нагріванню.

Теплостійкість

Властивість матеріалу опиратись зниженню твердості при нагріві, утворенням вторинної твердості при охолоджуванні після нагріву, опором термічним ударам, дифузійною стійкістю і окалиностійкістю.

Падіння твердості при нагріві пов'язане з порушенням міжатомних зв'язків в інструментальному матеріалі. Відновлення таких зв'язків при охолоджуванні веде до утворення вторинної твердості на рівні твердості до нагріву.

Опір термічним ударам обумовлений достатньою пластичністю і малим термічним розширенням інструментального матеріалу, що перешкоджають розвитку внутрішніх тріщин, які є концентраторами напружень.

Дифузійна стійкість

Це стійкість пов'язана з особливостями кристалічної структури і хімічної будови інструментального матеріалу, що перешкоджають переміщенням атомів, що додають твердість, в оброблюваний матеріал.

Окалиностійкість

Це нездатність інструментального матеріалу окислюватися при нагріві.

Зниженню тепловий напружень леза сприяє така властивість, як теплопровідність інструментального матеріалу, що забезпечує відтік теплоти із зони різання через інструмент.

Тепловиділення при різанні залежить не тільки від роботи утворення стружки, але і від тертя по контактних поверхнях. Тому розглядають таку характеристику як коефіцієнт тертя на передній і задній поверхнях інструмента, що впливає до того ж на завантаженість леза. Його величина залежить від фізико-механічних властивостей, спорідненості матеріалів, температури різання, шорсткості поверхонь інструмента та властивості охолоджувальної рідини.

Загал

Отже, основним параметром який визначає якість інструмента є його зносостійкість. практика експлуатації різального інструмента показала, що найчастіше головною причиною заміни інструмента є зношення різальних елементів.

Розрізняють декілька процесів взаємодії між матеріалом інструмента і деталі при їх взаємному контакті, які впливають на здатність інструмента зрізувати стружку. Практично це будь-які фізичні процеси що відбуваються у середовищі де утворюється поверхня деталі. Головними з них є такі, найбільш впливові, процеси.

Абразивне зношування

Абразивне зношування полягає в руйнівальній дії твердих частинок при відносному переміщенні контактних поверхонь заготовки і інструмента.

Зношуванню сприяють структурні зміни інструментального матеріалу і зниження твердості при нагріві в процесі різання.

Адгезійне зношування

Адгезійне зношування проявляється у вигляді мікрозварювання інструмента і деталі при їх взаємному терті.

Адгезійне зношування супроводжується викиданням частинок інструментального матеріалу. Міцний зв'язок наросту з інструментом веде до руйнування леза у разі руйнування наросту.

Хімічна реактивність

Хімічна реактивність – це схильність хімічних елементів інструментального матеріалу вступати в хімічну взаємодію з елементами оброблюваного матеріалу.

Теплостійкість

Теплостійкість характеризується здатністю інструмента працювати при підвищеній температурі.

Падіння твердості при нагріванні пов'язане з порушенням міжатомних зв'язків в інструментальному матеріалі.

Дифузійна стійкість

Дифузійна стійкість пов'язана з особливостями кристалічної структури і хімічної будови інструментального матеріалу, що перешкоджають переміщенням атомів між інструментом і деталлю.

4.3 Вуглецеві інструментальні сталі

Сталь – це сплав заліза з вуглецем [1]. Якщо сталь містить більше 0,65 % вуглецю, то вона відноситься до інструментальних (табл. 4.1). Із зростанням змісту вуглецю до 1 % збільшується твердість сталі, але одночасно падає міцність, підвищується небезпека утворення тріщин при термообробці (гарту).

Табл. 4.1. Вуглецеві сталі

Матеріал	Різновид	Позначення	Розшифровка
Вуглецева сталь	Якісна сталь	У7...У13	У – вуглецева; цифра означає десяти долі відсотка вуглецю
	Високо якісна сталь	У7А...У13А	А – сталь чистіша по змісту сірі, фосфору, залишкових домішок і неметалічних включень, більш звужені межі змісту марганцю і кремнію

Особливість вуглецевих інструментальних сталей в тому, що при високій твердості поверхневого шару серцевина інструментів залишається в'язкою. Це добре, оскільки при відносно добрій зносостійкості лез одночасно забезпечується міцність самого інструмента.

Твердість різальних елементів інструмента виготовленого з вуглецевої сталі після гарту і відпустки становить 56...58 одиниць по шкалі HRC.

Для довідки. Відносно добрий мисливський ніж має твердість близько 50...52 одиниць за шкалою HRC.

Температура різання для неї, навіть при короткочасному нагріві, не повинна перевищувати 250 °С. В протилежному випадку вона втрачає різальні властивості (твердість).

Швидкість різання для вуглецевих інструментальних сталей не дуже висока і не перевищує 4...7 м/хв.

Через малу товщину загартованого шару, вуглецеву сталь не застосовують для інструментів великих розмірів (завтовшки понад 30 мм). До переваг сталі слід віднести здібність до пластичного деформування та низькі температури гарту.

Підвищення вмісту вуглецю понад 1,2 % веде до зниження міцності через виникнення неоднорідності структури. Кращу міцність мають сталі із змістом вуглецю 1,1...1,2 %, що зберігають дрібнозернисту будову і мало схильні до розвитку тріщин при гарті.

Інструменти з вуглецевої сталі при гартування змінюють свій об'єм на 0,8...1,1 %, деформуються і втрачають форму. Тому повинні мати невелику довжину і простий профіль.

При високому нагріві вуглець вигоряє з поверхні інструмента, що знижує твердість і різальні властивості інструмента. Отже, шліфування такої сталі повинне здійснюватись із застосуванням заходів охолодження.

Маркування вуглецевої сталі (табл. 4.2) складається з літери “У” та цифр. Наприклад сталь У7, розшифровується так:

- літера “У” – від російського “углерод”;
- цифри – вуглець у десятих долях відсотка ($7 \times 0,1 = 0,7 \%$).

Табл. 4.2. Хімічний склад вуглецевих сталей

Марка сталі	C, %	Mn, %	Примітки
У7, У7А	0,65...0,74	0,3...0,4	Літера “А” означає, що сталь має зменшений відсоток домішок. Застосовується на верстатах-автоматах.
У8, У8А	0,75...0,84		
У9, У9А	0,85...0,94		
У10, У10А	0,95...1,04		
У11, У11А	1,05...1,14		
У12, У12А	1,15...1,24		
У13, У13А	1,25...1,35		

Вуглецева інструментальна сталь знаходила широке застосування до 80-х років ХХ століття. Низька вартість і відсутність дефіцитних елементів обумовила її використання і в сучасному виробництві, але тільки для виготовлення ручних інструментів.

Сталь У7, У7А

Інструментальні сталі марок У7 та У7А застосовують для виготовлення наступних інструментів:

- інструментів, що обробляють дереву:
 - сокири, колун, стамески, долота;
- пневматичних інструментів невеликих розмірів :
 - зубила, оправки, бойки;
- ковальські штампи;
- голковий дріт;
- ремонтно-монтажні інструменти:
 - молотків, кувалд, викруток, комбінованих ручних слюсарних інструментів;
- риболовецьких гачків та ін.

Сталь У8, У8А, У9, У9А

- для виготовлення інструментів, які працюють в умовах, що не викликають розігрівання різальної кромки;
 - обробка дерева :
 - * фрез, зенкерів, сокир, стамесок, доліт, пил подовжніх і дискових;
- накатних роликів, плит і стержнів для форм литва під тиском олов'яно-свинцевих сплавів.
- для слюсарно-монтажних інструментів:
 - оправок для заклепок, кернерів.
- для калібрів простої форми і знижених класів точності;
- холоднокатаної термічно обробленої стрічки завтовшки від 2,5 до 0,02 мм, призначеною для виготовлення:
 - плоских і витих пружин складної конфігурації,
 - клапанів,
 - щупів,
 - конструкційних дрібних деталей, у тому числі для годинника і т. ін.

Сталь У10, У10А, У11, У11А

- для виготовлення інструментів, які працюють в умовах, що не викликають розігрівання різальної кромки:
 - обробки дерева :
 - * пил ручних поперечних і столярних,
 - * пил машинних столярних, свердел спіральних;
- штампів холодного штампування (витяжних, обрізів і вирубних) невеликих розмірів і без різких переходів по перерізу;
- калібрів простої форми і знижених класів точності; накатних роликів, напилків, шаберів слюсарних та ін.
- для напилків, шаберів;
- холоднокатаної термічно обробленої стрічки завтовшки від 2,5 до 0,02 мм, призначеною для виготовлення плоских і витих пружин і пружних деталей складної конфігурації;
- клапанів, щупів, конструкційних дрібних деталей, у тому числі для годинника і т. д.

Сталь У12, У12А

- для мітчиків ручних, напилків, шаберів слюсарних;
- штампів для холодного штампування обрізів і вирубних невеликих розмірів і без переходів по перерізу;
- пуансонів холодного висаджування і штемпелів дрібних розмірів;
- калібрів простої форми і знижених класів точності.

Сталь У13, У13А

- для інструментів з підвищеною зносостійкістю при помірних і значних питомих тисках (без розігрівання різальної кромки);
 - напилків,
 - бритвених лез і ножів,
 - гострих хірургічних інструментів,
 - шаберів,
 - інструментів гравіювань.

У табл.4.3 наведено перелік інструментів які виготовляють із вуглецевих сталей.

Табл. 4.3. Інструмент з вуглецевої сталі

Інструмент	Сталь	Твердість
Ножиці	У8А – У12А	52...60
Ножовочні полотна	У10 – У12	58...61
Свердла для оброблення матеріалів не високої твердості	У10 – У12	59...63
Розвертки	У10 – У12	60...64
Фрези насадні, пазові, кутові	У10 – У12	61...64
Фрези напівкруглі чорнові	У10 – У12	61...64
Мітчики ручні	У10А – У12А	58...61

4.4 Леговані сталі

Легованою називається сталь [1, 2], що містить один або декілька спеціальних легуючих елементів (хром, ванадій, молібден табл.4.4) в різних комбінаціях і в кількості, що помітно змінює її властивості, або що містить підвищену кількість марганцю і кремнію. У табл.4.5 наведено основні марки інструментальних малолегкоєлементованих сталей.

Табл. 4.4. Позначення легуючих елементів

Х – хром	М – молібден	Б – ніобій	Р – бор
Н – нікель	Т – титан	Д – мідь	С – кремній
К – кобальт	В – вольфрам	Г – марганець	Ф – ванадій

Хром

Хром зменшує зростання зерна, підвищує прожарювання і дозволяє обходитися при гарті без різких охолоджувальних засобів.

Табл. 4.5. Малолеговані сталі

Матеріал	Різновид	Позначення	Розшифровка
Сталь мало легована	Хромова сталь	Х, ХГ	Х – хром Г – марганець
	Хромо- кремніста сталь	9ХС	С – кремній, цифра означає десяти відсотка вуглецю
	Вольфрамова сталь	В1	В – вольфрам, цифра означає процентний зміст вольфраму
	Хромо- вольфрамова сталь	ХВ5	
	Хромо- вольфрамо- марганцева сталь	ХВГ	
	Хромо- вольфрамо- кремнієво- марганцевіста сталь	ХВСГ	
	Хромо- вольфрамо- ванадієва сталь	Х6ВФ	Ф – ванадій

Вольфрам

Вольфрам підвищують різальні властивості сталі. Вольфрам утворює різальні тверді карбіди, що зменшують зерно і що підвищують твердість сталі.

Ванадій

Ванадій діє як і вольфрам, але зменшує прожарювання і гарт.

Марганець

Марганець знижує об'ємні деформації в інструменті.

Кремній

Кремній забезпечує стійкість сталі проти перегріву. Зберігаючи високу твердість при заточуванні, робить розподіл карбідів рівномірним, але погіршує оброблюваність сталі різанням.

Малолеговані сталі застосовують для виготовлення конкретних типів інструмента. Це відносно недорогі матеріали. Склад основних малолегованих сталей наведено у табл. 4.6

Табл. 4.6. Склад малолегованих сталей

Марка	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	W, %
ХВГ	0,9...1,05	0,8...1,1	0,15...0,35	0,9...1,2	1,2...1,6
9ХС	0,85...0,95	0,3...0,6	1,2...1,6	0,95...1,25	–
Х	0,95...1,1	< 0,4	< 0,35	1,3...1,6	–

Загалом кожна з марок малолегованої сталі має обмежене застосування. Їх використовують для виготовлення конкретного типу інструмента.

Твердість різальних елементів інструмента виготовленого з малолегованої сталі після гарту і відпустки становить 63...65 одиниць по шкалі HRC.

Для довідки. Відносно добрий ручний напилек має твердість біля 63...64 одиниць по шкалі HRC

Температура різання для інструмента з малолегованої сталі не повинна перевищувати 300 °С.

Швидкість різання зазвичай лежить в межах
10...15 м/хв.

У низьколегованих сталях Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ
основний легуючий елемент - хром.

Сталь Х

Сталь Х легована тільки хромом. Підвищений вміст хрому значно збільшує її глибину проникнення гарту. Сталь Х прожарюється в олії повністю в перерізі до 25 мм, а сталь У10 – тільки в перерізі до 5 мм.

Застосовують сталь Х для виготовлення токарних, стругальних і довбальних різців. Сталь Х використовують для дешевого ручного інструмента у тих випадках коли важлива мала зміна форми інструмента після термічної обробки.

Сталь 9ХС

Сталь 9ХС окрім хрому легована кремнієм. В порівнянні із сталлю Х вона має велику глибину проникнення гарту - до 35 мм; підвищену теплостійкість – до 250...260 °С (сталь Х до 200...210 °С) і кращі різальні властивості.

Із сталі 9ХС виготовляють свердла, розвертки, фрези, мітчики, плашки. Сталь 9ХС використовується як і сталь ХВГ, але менш схильна до утворенні тріщин.

Сталь ХВГ

Сталь ХВГ легована хромом, вольфрамом і марганцем; має проникнення гарту на глибину до 45 мм. Сталь ХВГ використовують для виробництва великих і довгих протяжок, довгих мітчиків, довгих розверток і т. п.

Сталь ХВГ через мале викривлення при термообробці і задовільній здатності до правки кривизни в гарячому і холодному стані хороша для довгих інструментів.

Недоліки сталі ХВГ – схильність до утворення тріщин при заточуванні, нерівномірний розподіл карбідів у вигляді сітки, що підсилює крихкість при різанні.

Сталь ХВСГ

Сталь ХВСГ складно-легована сталь і в порівнянні із сталями 9ХС і ХВГ гартується краще і на більшу глибину. При охолодженні в олії вона прожарюється повністю в перерізі до 80 мм. Вона менше чутлива до перегрівання. Теплостійкість її така ж, як у сталі 9ХС.

Сталь ХВСГ застосовують для виготовлення круглих плашок, розверток, великих протяжок і іншого різального інструмента.

4.5 Швидкорізальні сталі

Високолеговані інструментальні сталі [1, 2] високої твердості називаються швидкорізальними. Висока твердість швидкорізальних сталей отримується в результаті термічної обробки. Основні марки швидкорізальних інструментальних сталей наведені у табл.4.7

Історія виникнення

Історія швидкорізальної сталі досить “романтична”. Хімічний склад сталі був відомий ще на початку XIX століття. Її загартовували при температурі 900...950 °С отримуючи інструментальну сталь, яка мало чим відрізнялась від інших.

У 1898 році американський інженер F.W. Taylor загартовував різці з “швидкорізальної” сталі. Однак щось його відволікло і він забув про піч в якій лежали різці. Коли ж згадав, то різці вже розжарились до 1400 °С. Таким чином і була “відкрита” швидкорізальна сталь.

Хімічний склад

Хімічний склад швидкорізальної сталі дуже різний. У теперішній час існує більш ніж сотня марок швидкорізальної сталі. Кожна з яких призначена для застосування у конкретних технологічних процесах.

Швидкорізальні сталі загального використання мають наступні легуючі елементи.

Хром Cr

Обов’язковий елемент швидкорізальної сталі, він забезпечує підвищену схильність до гарту.

Вольфрам W

Підвищує твердість і зносостійкість інструментального матеріалу, знижує міцність і в’язкість, а також теплопровідність сталі.

Табл. 4.7. Швидкорізальні сталі

Матеріал	Різновид	Позначення	Розшифровка
Швидко різальна сталь	Нормальної теплостійкості	P9, P12 P18, P6M5	P – вольфрам M - молібден, цифри означають процент-ний зміст металу
	Підвищеної теплостійкості	P9K5 P9K10 P18Φ2 P14Φ4 P12Φ3 P9Φ5 P10Φ5K5 P18Φ2K5 P8M3K6C P9M4K8 P12Φ4K5 P12M3Φ2K8 P6M5K5 10P8M3 10P6M5	K – кобальт
	Порошкова	P9П, P18П, P6M5П, P6M5K5П	П – порошковий матеріал
	Мало- вольфрамова	P2M5	
	Безвольфрамові	11M5Φ 11P3AM3Φ2 15M5X5Φ5C	Експериментальна
	Лита	Рл-1, Рл-2, Рл-3, Рл-4	Рл – лита

Молібден Mo

Підвищує міцність і в'язкість швидкорізальної сталі завдяки поліпшенню розподілу і зменшення розмірів карбідів. Проте при вмісті молібдену більш ніж 3 % сталь стає чутливою до прижогов.

Молібденові і вольфрамо-молібденові сталі при різанні з підвищеною подачею і помірною швидкістю різання стійкіші, ніж вольфрамові, внаслідок більшої міцності і в'язкості.

Ванадій V

При одночасному збільшенні вуглецю підвищує твердість, опір пластичній деформації і теплостійкість.

Кобальт Co

Підвищує теплостійкість, твердість, придатність до шліфування і теплопровідність сталі. Однак, разом з тим, знижує її міцність і в'язкість.

Титан Ti, ніобій Nb, цирконій Zr, тантал Ta

Утворюють дуже стійкі карбіди, які затримують зростання зерна при гарті.

Нікель і марганець

Знижують теплостійкість сталі і не покращують її різальних властивостей.

Вплив легуючих елементів на властивості сталі залежить від її співвідношення, оскільки між елементами можливий взаємовплив. Хімічний склад найбільш поширених марок швидкорізальних сталей приведений в табл. 4.8.

Табл. 4.8. Склад швидкорізальних сталей

Марка	C, %	W, %	Cr, %	V, %	Mo, %
P6M5	0,8...0,9	5,5...6,5	3,8...4,4	1,7...2,1	1,0
P18	0,7...0,8	17...18,5	3,8...4,4	1,0...1,4	1,0

По своїх властивостях найбільш універсальною є сталь P18. Вона придатна для будь-яких різальних інструментів, добре шліфується

та технологічна. Однак, внаслідок великого вмісту дефіцитного вольфраму, вона має обмежене застосування.

Основною маркою для широкого використання є сталь Р6М5, близька за різальними властивостям до сталі Р18, але дешевша. Всі швидкорізальні сталі (а їх більше сотні) мають знижені властивості до шліфування.

Твердість швидкорізальної сталі після гарту і відпуски зазвичай складає 63...66 одиниць за шкалою HRC.

Теплостійкість більшості марок швидкорізальної інструментальної сталі знаходиться в межах 620...640 °С.

4.5.1 Структура швидкорізальних сталей

Структура швидкорізальних сталей у відпаленому стані складається з фериту, в якому розчинена частина хрому, наявного в сталі, і карбідів легуючих компонентів. Це карбіди на основі вольфраму і молібдену.

Крім атомів основного карбідо-утворюючого компонента, в них присутні в певних кількостях атоми заліза та інших легуючих компонентів. Зміцнювальна термічна обробка швидкорізальних сталей, що включає загартування і відпуск, повинна забезпечити високі значення твердості і теплостійкості. Це може бути досягнуто за рахунок високого легування твердого розчину, одержуваного при загартуванні, і інтенсивного дисперсійного твердіння в процесі відпуски.

Загартування

Нагрівання під загартування швидкорізальних сталей повинно забезпечити розчинення в аустеніті великої кількості карбідів. Карбід на основі хрому повністю розчиняється в аустеніті при 1100 °С.

Таким чином, для забезпечення високого легування твердого розчину, температура гарту швидкорізальних сталей повинна бути вище 1200 °С, тобто перевищувати температуру розчинення основного карбіду.

Відпуск

При відпустці швидкорізальних сталей повинно бути реалізовано: дисперсійне твердіння, зняття гартівних напружень, тобто перетворення мартенситу гарту в мартенсит відпустки, а також перетворення залишкового аустеніту в мартенсит. Ці завдання вирішуються, по-перше, вибором температури ізотермічної витримки при відпустці і, по-друге, за рахунок того, що відпустка здійснюється багато разів.

Відпустка загартованої сталі при температурі 150...200 °С викликає виділення з мартенситу карбідів цементитного типу, при цьому концентрація легуючих компонентів у твердому розчині мало змінюється. Твердість сталей при цьому практично постійна. Її значення падають при підвищенні температури відпустки до 300 °С.

При більш високих температурах відпуску відбувається виділення з твердого розчину великої кількості дисперсних карбідів на основі легуючих компонентів, тобто дисперсійне твердіння. У результаті цього твердість зростає і досягає максимуму при 550...570 °С.

Твердість, що отримується в результаті високотемпературного відпуски, називається вторинною (на відміну від високої твердості після гарту - первинної). Для відпустки призначається саме ця температура, що забезпечує отримання максимального твердості.

Характерно, що провал твердості в результаті відпуски при 300 °С спостерігається тільки для загартованої сталі. У тому випадку, якщо проводиться нагрів сталі, раніше відпущеної на максимальну твердість цього провалу немає.

4.5.2 Технологія термічної обробки

Класична термічна обробка інструмента з швидкорізальних сталей складається з операцій гарту і триразового (дворазового) відпустки при 550...570 °С з ізотермічною витримкою протягом 1 години.

Нагрівання

Нагрівання під загартування здійснюється з попереднім підігрівом при температурах, що перевищують температуру близько 850 °С в печі і 1050 °С в розправлених солях. Це уповільнює нагрівання до температур гартування та запобігає появі термічних напружень внаслідок швидкого нагрівання.

Витримування

Витримування здійснюють при підігріві 15...20 секунд на 1 мм товщини, при остаточному нагріванні близько 10 секунд на 1 мм.

Для попередження знеуглецювання поверхневих шарів інструмента, що веде до втрати твердості, нагрівання під загартовування здійснюють у розплавлених солях. Високе легування аустеніту дозволяє виконувати охолодження при гартуванні з невисокими швидкостями (масло або гарячі середовища).

Підвищення температури загартовування понад оптимальної (перегрів) призводить до зростання твердості і теплостійкості, але міцність і в'язкість при цьому знижуються через зростання зерна.

Гарт від температур нижче оптимальних (недогрів) призводить до протилежного ефекту.

Отже, гарт швидкорізальної сталі іде у такій послідовності:

- попередній підігрів до 850 °C;
- витримка 1 годину;
- підігрів до 1050 °C;
- витримка 10...15 секунд на 1 мм товщини деталі;
- гартування;
- тричі відпуск при температурі 550 °C з витримкою 1 годину.

4.5.3 Типи швидкорізальних сталей

В основу класифікації швидкорізальних сталей за властивостями покладена теплостійкість, яка визначає допустимі швидкості різання, тобто продуктивність обробки. Теплостійкість є стандартною характеристикою швидкорізальних сталей.

Сталі нормальної продуктивності

До них відносяться вольфрамові (P18, P12, P9) і вольфрамомолібденові (P6M5). Твердість цих сталей 63...65 HRC.

Ці сталі призначені для обробки конструкційних матеріалів (800...1000 МПа), чавунів (твердістю до 255...280 HB) і кольорових металів і сплавів, що мають добру оброблюваність.

Властивості сталей цієї групи близькі. Вольфрамові мають дещо більшу теплостійкість у порівнянні з вольфрамо-молібденовими, але їх механічні властивості нижче. При використовуваних режимах різання відмінності у властивостях сталей мало позначаються на стійкості інструмента (до 40 м/хв при обробці чорних і до 80 м/хв при обробці кольорових металів).

За технологічними властивостями сталі мають певні відмінності. Сталь Р6М5 має більшу пластичність в порівнянні з вольфрамовими сталями, але менш технологічна при термічній обробці. Вона має більшу схильність до знеуглецювання при нагріванні, для неї характерний більш вузький інтервал гартівних температур.

Оброблюваність різанням при лезовій обробці всіх сталей близька, їх твердість у не загартованому стані відповідно до ДСТУ не повинна перевищувати 255 НВ. Оброблюваність шліфуванням сталей Р18, Р12 і Р6М5 за ДСТУ оцінюється як задовільна, тоді як стали Р9 – як знижена. Це пов'язано з великим вмістом ванадію в цій сталі, що утворює карбід VC високої твердості.

Сталі підвищеної продуктивності

Більш висока продуктивність сталей цієї групи досягається за рахунок підвищення вмісту вуглецю до 1 %, ванадію до 3...4 % і введення кобальту. Це такі сталі як Р18Ф2, Р9К5, Р9К10, Р14Ф4, Р10К5Ф5. Але у виготовленні металорізального інструмента їх застосовують край рідко – дорого.

Висновки

Найбільш поширеною швидкорізальною сталлю є сталь Р6М5. Її основна перевага – відносна дешевизна та підвищена твердість 65...66 HRC. Рационально застосовувати цю сталь для виготовлення інструмента, стійкість якого лімітує розмірний знос (розвертки, мітки, зенкери), а також для обробки поліпшених сталей підвищеної твердості – 260...300 НВ.

4.6 Тверді сплави

Тверді, або так звані металокерамічні інструментальні сплави – це матеріали, що складаються з карбідів вольфраму, титану і танталу, зв'язаних кобальтом [4]. Це не сталі, оскільки в них немає заліза.

Свою назву "твердий сплав" вони отримали через високу твердість карбідів і матеріалу в цілому, і за первинною технологією отримання на основі розплавлення компонентів з подальшим відливанням. Надалі технологію замінили на іншу (порошкову металургію), але назва "сплав" збереглась.

Загальна кількість різального інструмента з твердого сплаву не перевищує 25 %, але через високі швидкості різання (у 2,5...3 рази вище в порівнянні зі швидкорізальним інструментом) вони знімають до 65 % усієї стружки (з усього об'єму стружки, що знімається інструментами з усіх інструментальних матеріалів). Стандартні тверді сплави складаються з:

- тугоплавких з'єднань (карбіду вольфраму, карбіду титану і карбіду танталу)
- та єднальної фази (кобальт) що поєднує між собою карбіди.

Історія

Історія виникнення твердого сплаву складна. Вперше "твердий сплав" отримали у 1924 році напилюванням суміші порошків через газове полум'я. Ніякого вольфраму у складі порошку не було. Десять у 30-ті роки, із порошку, отримали щось схоже на сучасний твердий сплав. Після 1945 року його назвали "Победіт". Сучасна назва та хімічний склад поширились наприкінці 60-х років.

Вітчизняний твердий сплав "Победіт" був винайдений і запатентований в 1929 році. Дещо раніше, в 1926 р., подібний сплав був створений фірмою "Крупп" у Німеччині.

Обидва сплави за складом були з порошків карбіду вольфраму, але в різних пропорціях. Головна відмінність полягала лише в технології виготовлення пластин. У німців суміш порошків засипалася у форму і розплавлялася в ній, радянські фахівці заздалегідь пресували подрібнену в пил суміш компонентів.

Німецька технологія не показала практичних результатів, тому вони перші після публікації придбали радянський патент на "победіт". У літературі можна зустріти такі назви твердих сплавів, як "Відія" (Widia, Німеччина), "Карболой" (Carbology Inc., США) - це компанії, які придбали радянський патент.

Тверді матеріали і тверді сплави спочатку знайшли застосування не в якості різальних матеріалів, а матеріалів для виготовлення волок для волочіння дроту замість алмазних.

На практиці "победіт" не показав високих результатів при точінні сталей, тому він був рекомендований для обробки чавунів. Роботи по вдосконаленню тривали. В середині 30-х років був розроблений новий твердий сплав з суміші карбідів вольфраму і титану (вольфрамо-титанова група ВТК), який показав задовільні результати при обробці сталей, але був малоефективний при обробці чавуну.

Сплави групи ВТК позначалися "a15" (сучасний Т15К6) і "a21". Сплави рекомендувалися для обробки вуглецевих сталей. Швидкість різання сплавами ВК і ВТК була підвищена в 2...3 рази.

Сучасна форма різального елемента виготовленого із твердого сплаву подана на рис.4.2 (це лише одна із кількох сотень форм).

Світовими центрами виробництва твердих сплавів для обробки металів різанням сьогодні є Німеччина, Австрія і США. У Європі власниками найважливіших патентів на виробництво вольфрамових твердих сплавів є німецька фірма "Крупп Відіа" (м. Ессен), на виробництво титано-вольфрамових сплавів - фірма ДЭВ (м. Крефельд). Декілька важливих патентів на виробництво твердих сплавів має австрійська фірма "Белер". Усі інші фірми виробництва твердих сплавів в Європі працюють на основі ліцензій фірм "Крупп Відіа" і "ДЭВ".

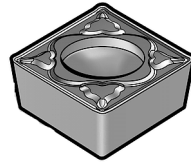


Рис. 4.2. Пластина твердого сплаву

У 1936 році усі німецькі заводи, що виробляють тверді сплави, об'єдналися в "Концерн твердих сплавів". Пізніше до цього Концерну приєдналися австрійські фірми. В результаті встановлення єдиного складу основних марок твердих сплавів, технології виготовлення, централізації виробництва порошків на західних фірмах і постачань дочірнім підприємствам, Концерн забезпечив високу якість твердих сплавів в Європі.

Тверді сплави застосовуються у вигляді пластинок різної форми, отриманих методами порошкової металургії спіканням карбідів вольфраму, титану і танталу, з кобальтом або нікелем і молібденом.

4.6.1 Групи сплаву

Існують чотири групи твердих сплавів, які дозволяють обробляти всі матеріали, що використовують у машинобудуванні.

Група ВК

Вольфрамові сплави – група ВК. Ці сплави застосовують для оброблення чавуну, пластмас, кольорових металів і сплавів.

Вони містять: карбід вольфраму WC + металевий кобальт Co. Наприклад сплав ВК2 містить – 98 % карбіду вольфраму WC та 2 % кобальту Co.

Група ТК

Титано-вольфрамові сплави – група ТК. Ці сплави застосовують для оброблення сталі.

Вони містять: карбід вольфраму WC + карбід титану TiC + металевий кобальт Co.

Наприклад, сплав Т5К12 містить – 5 % карбіду титану TiC + 83 % карбіду вольфраму WC + 12 % металевий кобальт Co.

Група ТТК

Титано-тантало-вольфрамові сплави – група ТТК. Ці сплави застосовують для оброблення надміцної сталі.

Вони містять: карбід титану TiC + карбід танталу TaC + карбід вольфраму WC + металевий кобальт Co. Наприклад сплав ТТ7К12 містить: 12 % металевий кобальт + 7 % карбіди титану TiC та танталу TaC (в сумі) + все інше 81 % це карбід вольфраму WC.

Безвольфрамові сплави

Безвольфрамові сплави – це група сплавів які не містять карбід вольфраму. І через це значно дешевші за інші сплави. Однак, через недосконалість властивостей широкого вжитку не набули.

4.6.2 Міжнародна практика

Провідні світові фірми використовують міжнародну систему маркування твердих сплавів, зв'язуючи її з рекомендаціями по обробленню конкретних матеріалів. Прийняті наступні позначення:

- Р – (синій колір) - для оброблення сталі;
- М – (жовтий колір) - для оброблення нержавіючої сталі;
- К – (червоний колір) - для оброблення чавуну;

- N** – (зелений колір) - для оброблення алюмінію і кольорових металів;
- S** – (коричневий колір) - для оброблення надміцних сплавів;
- H** – (сірий колір) - для оброблення матеріалів високої твердості.

Особливістю закордонного машинобудування є сервісне обслуговування фірмою конкретних замовників по комплексному забезпеченню оптимальних умов оброблення різанням.

Практично це виглядає так:

- фірма виробник звертається до фірми постачальника інструмента з проханням підібрати інструмент для оброблення конкретної деталі;
- інструментальна фірма постачає повний набір інструмента плюс устаткування;
- далі всі роботи по обслуговуванню устаткування виконує інструментальна фірма;
- фірма виробник тільки забезпечує матеріал та робочу силу.

Висновки

Загальні галузі застосування твердого сплаву наведено у табл.4.9. Основними характеристиками твердого сплаву як інструментального матеріалу є такі параметри.

Твердість

Твердість твердого сплаву становить 88...92 одиниці за шкалою HRA.

Температура

Температура при якій твердий сплав сучасного складу здатний працювати досягає 750...1000 °С.

Швидкість

Швидкість різання, залежно від марки сплаву, коливається у досить значних межах і становить 150...350 м/хв.

Табл. 4.9. Застосування твердого сплаву

Вид оброблення	Сталь кон-струкційна	Сталь легована	Чавун
Точіння			
Чорнове переривчасте	T5K10, BK8	T5K10	BK8
Чорнове безперервне	—	T14K8, T15K6	BK6
Напів чистове та чистове	—	T14K8, T15K6	BK6
Чистове тонке	—	T30K4	—
Чистове але переривчасте	—	T60K6	BK2, BK3
Фасонне	—	T5K10	—
Відрізка токарним різцем	T5KĖ10	T5K10	—
Фрезерування			
Чорнове переривчасте	T5K10, BK8	T5K10, BK8	BK8
Чорнове безперервне	—	T14K6, BK8	BK8
Чистове	—	T15K10	BK6
Свердлування			
Насвердлювання та розсвердлювання	T5K10	T5K10, BK8	BK8
Розсвердлення отвору	—	T15K5	BK6
Свердлення литих деталей	T14K8	—	—

4.7 Мінералокераміка

Створення мінералокерамічних інструментальних матеріалів [4] обумовлене необхідністю скоротити або повністю виключити використання в інструментах дефіцитних металів, зберігши досягнутий рівень працездатності інструментів, оснащених твердим сплавам.

Свою назву ця група матеріалів отримала у зв'язку з тим, що початковою сировиною для них були глинозем і кремній. З метою підвищення міцності почали створювати композиційні матеріали з добавками карбідів вольфраму, титану, молібдену, нітридів титану, двоокису цирконію.

Такі матеріали називаються керметами (кераміка-метал). Останніми роками розповсюджується ще один вид кераміки – нітридно-кремнієвий. Разом з тим, ускладнення складу кераміки, утворення багатокомпонентних композицій робить всі ці назви умовними.

Промислове виробництво різальної оксидної кераміки з Al_2O_3 почалося ще у 40-ві роки тому, а в 50-ті роки минулого століття були створені сплав ЦМ332 (Al_2O_3 і до 1 % оксиду інших металів):

- в нашій країні – керамічний матеріал "кермет" (2...10 % Мо або Сг, решта Al_2O_3)
- за кордоном – оксидно-карбідна кераміка (20...40 % простих або складних карбідів перехідних металів IV - VI груп Періодичної системи Д.И. Менделєєва – титану, молібдену, вольфраму та ін., решта Al_2O_3) .

До середини 70-х років доля різальної кераміки в металообробці в цілому склала 2 % (у ФРН 6 %, в США 5 %), причому на неї припадає 4 % об'єми стружки, що знімається інструментальними матеріалами.

Початковим матеріалом для виробництва практично усіх марок різальної мінералокераміки є технічний глинозем Al_2O_3 чистотою 98,5...99,5 %.

Такий глинозем обпалюють при 1400...1600 °С та розмелюють до зернистості 1...3 мкм. Розмолотий корунд піддають обробці кислотами, промивають водою і висушують. Після цього підготовлений порошок формують, пресують, а потім спікають при температурі 1750...1900 °С.

Біла/чорна та інша

Мінералокерамічні матеріали виготовляються у вигляді пластин, що істотно полегшує умови їх експлуатації. Ці пластинки приєднуються до корпусів інструментів механічним шляхом, приклеюванням або припаюванням. Розширення споживання різальних керамічних матеріалів пов'язане з дефіцитом вольфраму.

Мінералокераміку на основі Al_2O_3 можна розділити на три групи:

- чисто оксидна ("біла") кераміка, основу якої складає Al_2O_3 (до 99,7 %) з незначними добавками ;
- змішана кераміка, Al_2O_3 , що є, з додаванням тугоплавких металів (Ti, Nb та ін.);
- оксидна ("чорна") кераміка – Al_2O_3 з додаванням карбідів тугоплавких металів (TiC, WC, MoC) для підвищення її міцності та твердості.

Пластини з "білої" кераміки отримують холодним пресуванням з подальшим спіканням. Процес економічний, вартість таких пластин мінімальна. Основний недолік цих пластин відносно невелика міцність, але твердість достатня – 91...93 HRA. Наприклад ЦМ332 ($\sigma_{\text{в}} + 1 \% \text{MgO}$).

"Біла" кераміка застосовується для чистової і напівчистової обробки не оброблених термічно сталей, сірих чавунів. Пластини з "змішаної" і "чорної" кераміки отримують гарячим пресуванням, процес більше трудомісткий. Вітчизняна кераміка - ВОК ($\sigma_{\text{в}}$ 60 %, TiC 40 % та ін.), К090 ($\sigma_{\text{в}}$).

Забезпечуючи високу продуктивність при обробці різних матеріалів різанням, мінералокераміка через специфічність її фізичних і механічних властивостей не може виключити необхідність застосування традиційних твердих сплавів. Вона лише розширює діапазон використовуваних порошкових різальних матеріалів в тій області, де може грати роль проміжної ланки між твердими сплавами, алмазними і іншими надтвердими композиційними матеріалами. Різальна кераміка – цінне доповнення до твердих сплавів з хорошими перспективами подальшого збільшення її споживання.

Переваги та недоліки

Твердість

Висока твердість мінералокераміки, теплостійкість до 1200 °С, хімічна інертність до металу, опір окисленню багато в чому перевершують ці ж параметри твердих сплавів.

Теплопровідність

Мінералокераміка поступається твердим сплавам за теплопровідністю, має нижчу межу міцності на вигин.

Твердість мінералокераміки становить 90 HRA, допустима величина σ_b при вигині всього 295 МПа (твердий сплав має σ_b на вигін до 1700 МПа).

Висновки з мінералокераміки

Нині мінералокераміку застосовують для напівчистового і чистового безперервного обточування, а також розточування деталей з сірих, ковких, високоміцних, вибілених чавунів, загартованих і поліпшених сталей, деяких марок кольорових металів і сплавів, а також неметалічних матеріалів (графіту та ін.) при високих швидкостях різання (до 600...800 м/хв) без застосування мастильної охолоджувальної рідини.

Порівняно з твердим сплавом мінералокераміка має такі переваги та недоліки.

Переваги

Теплостійкість

Теплостійкість мінералокераміки значно вище за теплостійкість твердих сплавів і складає, за різними дослідями 1100...1500 °С.

Твердість

Твердість мінералокераміки дуже висока і дорівнює 91...95 одиниць за шкалою HRA.

Дешевизна

За вартістю мінералокераміка у декілька разів дешевша за твердий сплав.

Недоліки

Мала міцність

Недолік мінералокераміки – знижена міцність та висока крихкість. Це значно обмежує застосування мінералокераміки.

Малий опір циклічним навантаженням

Істотним недоліком мінералокераміки є її край низький опір циклічній зміні температури.

Внаслідок цього навіть при невеликій кількості перерв в роботі на контактних поверхнях інструмента з'являються мікротріщини, які призводять до його руйнування навіть при невеликих зусиллях різання. Ця обставина обмежує практичне застосування мінералокерамічного інструмента.

Мінералокераміку застосовують у вигляді пластин, основу яких складає технічний глинозем Al_2O_3 . В якості добавок до кераміки використовують карбіди титану, вольфраму, молібдену. Такі матеріали дістали назву - керметы.

4.8 Алмази

Алмазні інструменти застосовуються в металообробці для чистового оброблення кольорових металів і сплавів. Також використовують алмазні порошки для абразивних інструментів.

Алмаз - найтвердіший інструментальний матеріал (у 4...5 разів твердіше за твердий сплав), проте він крихкий і дуже-дуже дорогий. Натуральні (природні) алмази застосовуються для металообробки вкрай рідко – дуже дорого.

Найбільш поширені нині інструменти з синтетичного алмазу, отриманого з графіту в умовах високих температур (до 2000 °C) і тиску (30...40 тисяч атмосфер).

Замість однокристалічних алмазів лезовий різальний інструмент оснащують полікристалічними алмазами – спечений дрібний алмазний порошок у вигляді блоку (циліндр діаметром 3...5 мм і завдовжки 5...8 мм).

4.9 Синтетичні матеріали

До цієї групи відносяться алмази, матеріали на основі нітриду бору і композиційні матеріали, що містять алмаз, нітрид бору, карбіди металів і тверді оксиди. Умовно прийнято, що їх мікротвердість, зміряна за допомогою діамантової піраміди (за Віккерсом) при кімнатній температурі, повинна перевищувати 35 ГПа.

Кубічний нітрид бору

Кубічний нітрид бору (КНБ, кубоніт) – штучний інструментальний матеріал, що не має природного аналога, є хімічною сполукою бору (43,6 %) і азоту (56,4 %) з кубічною кристалічною решіткою майже з такою ж будовою і параметрами, як і алмаз, де кожен атом бору сполучений з чотирма атомами азоту.

Кубоніт використовують як матеріал для абразивного інструмента який заточує твердосплавний інструмент.

Ельбор

Ельбор використовують у вигляді порошку для виготовлення абразивного інструмента і доводочних паст, а також у вигляді полікристалічних блоків (циліндр діаметром 3...5 мм і завдовжки 5...8 мм) для оснащення лезового інструмента (різці, фрези та ін.). Високі фізико-механічні властивості дозволяють обробляти ельборовими різцями високоміцні сталі (з HRC 48...64), металокераміку, склопластик.

4.10 Порівняння матеріалів

З розглянутих інструментальних матеріалів найбільш поширені в металообробній промисловості швидкорізальні сталі, тверді сплави і мінералокераміка.

Відсоток застосування інструментів виготовлених з різних матеріалів приблизно такий:

- швидкорізальні сталі 66 %;
- тверді сплави 32 %;
- мінералокераміка 2 %.

За об'ємом металу, що зрізується, співвідношення між інструментальними матеріалами виглядає так:

- тверді сплави 68 %.
- швидкорізальні сталі 28 %;
- мінералокераміка 4 %.

Тенденції застосування інструментальних матеріалів наступні:

Інструментальні сталі

- перехід на вольфрамо-молібденові марки;
- підвищення вмісту вуглецю;
- вдосконалення теорії легування сталей;
- поліпшення структури за рахунок порошкової металургії.

Тверді сплави

- тенденції їх розвитку та використання;
- створення нових сплавів за рахунок поліпшення структури;
- розробка нових марок безвольфрамових твердих сплавів;
- розробка марок твердих сплавів для переривчастого різання;
- вдосконалення методів зносостійкого покриття.

Рациональний вибір інструментального матеріалу при конструюванні металорізального інструмента дозволяє підвищити ефективність оброблення і продуктивність праці.

У табл. 4.10 подано порівняння параметрів інструментальних матеріалів.

Табл. 4.10. Інструментальні матеріали

Матеріал	Температура, °C	Зносо- стійкість	Твердість	Швидкість різання, м/хв
Вуглецева сталь	200...250	слабка	HRC 56	3...5
Легована сталь	250...300	добра	HRC 65	10...15
Швидкорізальна сталь	до 650	висока	HRC 65	30...40
Твердий сплав	до 1000	висока	HRA 90	150...300
Кераміка	до 1200	висока	HRA 92	200...500
Алмаз	850	дуже висока		до 3000
Синтетичні матеріали	до 1500	дуже висока		до 5000

Запитання до самоконтролю

1. Основні типи інструментальних матеріалів?
2. Основні параметри вуглецевих інструментальних сталей?
3. Основні параметри малолегованих сталей?
4. Хімічний склад твердого сплаву?
5. Групи твердого сплаву та їх призначення?
6. Галузь застосування металокераміки у металообробленні?
7. Міжнародне кодування оброблюваних матеріалів за складом.
8. Міжнародне кодування технологічних умов оброблення (добре, середнє, важке).
9. Міжнародне кодування галузі застосування різального інструмента (чорновий, напівчорновий, чистовий).
10. Маркування різальних елементів виготовлених із твердого сплаву за вітчизняною та міжнародною системами..
11. Максимальна робоча температура швидкорізальної сталі?
12. Допустимі швидкості різання для різних інструментальних матеріалів?
13. Яку твердість має твердий сплав?
14. Перелічить вимоги до інструментальних матеріалів.
15. Загальна характеристика галузі застосування вуглецевих інструментальних сталей.
16. Леговані інструментальні сталі та галузь їх застосування.
17. Твердість інструментальних сталей різних марок?
18. Основні хімічні елементи що застосовують для добавки в інструментальні сталі.
19. Швидкорізальні інструментальні сталі нормальної та підвищеної продуктивності.
20. Синтетичні інструментальні матеріали. Їх характеристика та галузь застосування.

Посилання

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – Москва: Металлургия, 1983. – 280 с.
2. Залога В. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога. – Суми: СумДУ, 2013. – 371 с.
3. Инструментальные материалы / [Г. А. Воробьева, Е. Е. Складнова, А. Ф. Деонов та ін.]. – СПб: Политехника, 2005. – 268 с.
4. Кабалдин Ю. Г. Принципы конструирования композиционных и инструментальных материалов с повышенной работоспособностью / Ю. Г. Кабалдин. – Владивосток: Изд. ин-та машиновед. и металлургии, 1990. – 58 с.

Суть справи не в повноті знання,
а в повноті розуміння.

Демокріт

5 ТОКАРНІ РІЗЦІ

Різці – найбільш поширені однолезові інструменти, призначені для обробки деталей з обертальним або поступальним головним рухом. Токарні різці застосовують на токарних (рис.5.1), револьверних, карусельних, розточувальних верстатах, автоматах і напівавтоматах, верстатах з ЧПК [1, 2].

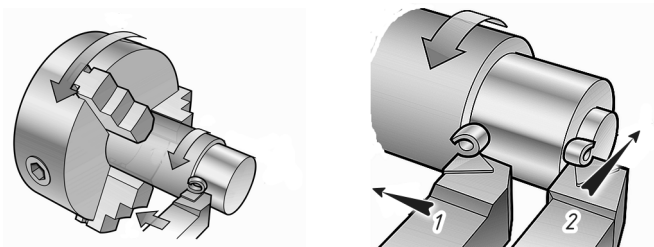


Рис. 5.1. Токарна обробка.

1 – поздовжнє точіння циліндричної поверхні;
2 – торцеве точіння торцевої поверхні

Найпростіші токарні різці, це цільні (рис.5.2), але у сучасному виробництві більше поширення здобули різці складеної конструкції (найпростіша конструкція на рис.5.3).

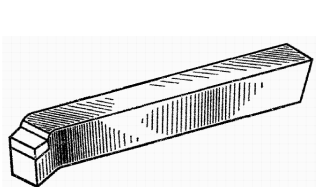


Рис. 5.2. Різець цільний
(Різець виготовлено з цільного шматка металу.)

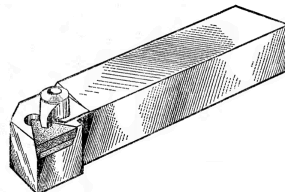


Рис. 5.3. Різець складений
(Різець виготовлено з декількох складових.)

Різець є одним з найпоширеніших металорізальних інструментів. Він широко застосовується для утворення різьб, обробки площин, циліндричних і фасонних поверхонь, а також при стругальних і довбальних роботах.

Різець (рис. 5.4) складається з робочої частини, званої головкою, і тіла - державки. Основними елементами робочої частини є головна різальна кромка K , допоміжна різальна кромка K' і вершина B – точка перетину двох кромок. Зрізування шару металу здійснюється головною кромкою K , що має пряму або фасонну форму. Стружка, яка утворюється в процесі роботи сходиться по передній поверхні A_γ різця.

Поверхня A_α – це головна задня поверхня різця, а поверхня A'_α – це допоміжна задня поверхня різця.

Державка служить для закріплення інструменту в утримувачі верстата і зазвичай має квадратну або прямокутну форму поперечного перетину.

За направленням подачі різці поділяються на два типи: праві і ліві (рис. 5.5).

Якщо при накладенні долоні правої руки зверху на інструмент великий палець правої руки збігається з напрямом подачі, то різець називається правим.

Якщо при накладенні долоні лівої руки зверху на інструмент великий палець лівої руки збігається з напрямом подачі, то різець називається лівим.

Форма головки та її положення щодо стрижня також можуть бути різними (рис. 5.6).

Різці застосовуються для токарних, стругальних і довбальних робіт і мають відповідні назви. Зараз ми більш детально торкнемося різців, що використовуються на токарних верстатах, і розповімо про їх різновидах.

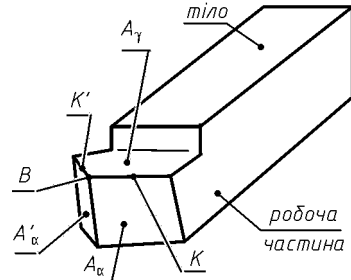


Рис. 5.4. Різець токарний

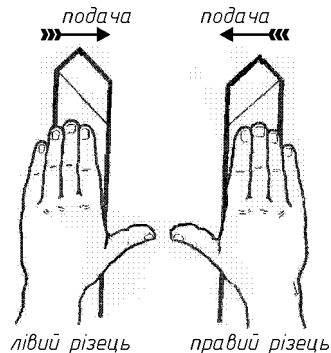


Рис. 5.5. Різець лівий та правий

Токарні різці підрозділяються на прохідні, підрізні, відрізні, розточувальні, фаскові і фасонні.

Прохідні токарські різці

Прохідні токарські різці (рис.5.6,*а*) служать для оброблення “на прохід” циліндричних поверхонь значної довжини.

Прохідні токарні різці бувають прямими (рис.5.6,*а*) та відігнутими (рис.5.6,*б*). У свою чергу відігнуті токарні різці можуть обробляти, як бокові циліндричні поверхні деталей, так і торцеві (напрямок подачі D_s є перпендикулярним до осі обертання деталі).

Підрізні токарські різці

Підрізні токарські різці (рис.5.6,*в*) служать для підрізання уступів під прямим або гострим кутом до основного напрямку обточування.

Торцеві (торцювальні) токарні різці

Торцеві (торцювальні) токарні різці (рис. 5.6,*г*) виконують обробку торця деталі. Зазвичай цей інструмент має поперечну подачу.

При поперечному точінні (підрізування торця) умови роботи для різця більш сприятливі, ніж при поздовжньому точінні, оскільки різець при подачі від периферії до центру знаходиться під впливом максимальної швидкості різання невеликий проміжок часу.

У міру переміщення різця до центру заготовки ця швидкість зменшується і в центрі вона дорівнює нулю. Тому в порівнянні з різцем для зовнішнього поздовжнього точіння, який знаходиться під впливом постійної, максимальної для поперечного точіння швидкості різання вздовж усієї довжини обробки, різець для поперечного точіння буде зношуватися менш інтенсивно.

Швидкість різання для торцювального різця можна призначити більш високою (на 5...10%), однак необхідно враховувати, що при занадто великій швидкості різання різець може пошкодитись ще на початку роботи.

Відрізні різці

Відрізні різці (рис.5.6,*з*) призначені для відрізання матеріалу від прутків невеликого діаметру. Як правило, для цих цілей застосовуються інструмент з відтягнути голівкою.

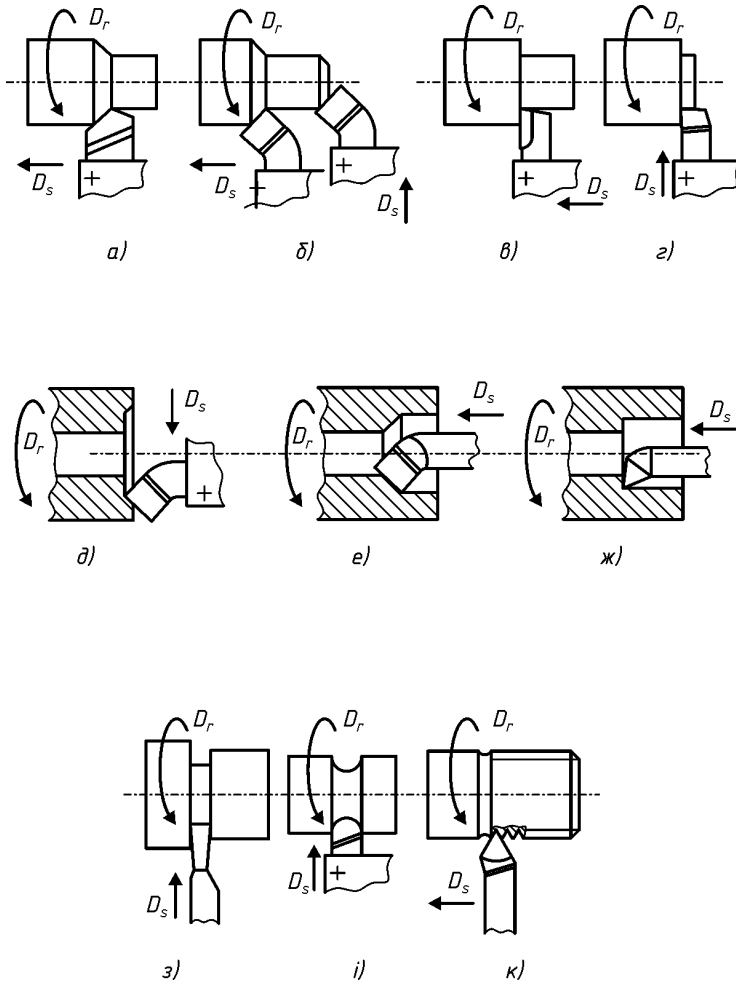


Рис. 5.6. Різновиди точіння

Відрізні (прорізні) різці працюють у важких умовах так як процес стружкоутворення протікає у більш жорстких умовах. Малі кути при вершині в плані та незначні розміри перерізу головки відрізних різців обумовлюють погане тепловідведення.

Особливо навантаженими в температурному відношенні виявляються куточки різця, що призводить до їх сильного зносу і, отже, зменшення продуктивності різання в порівнянні з різцями для зовнішнього поздовжнього точіння. Для зміцнення куточків відрізного різця вони роблять перехідна кромка (рис.5.7) шириною $f = 0,5 \dots 1,5 \text{ мм}$ та під кутом $\varphi = 60 \dots 70^\circ$.

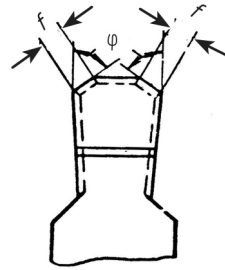


Рис. 5.7. Різець відрізний

При такому (фасонному) профілі різальної кромки відрізного різця, полегшується відхід стружки з прорізаного паза і зменшується можливість заклинювання різця стружкою. Внаслідок специфічності умов різання при відрізання рекомендується обов'язково застосовувати змащувальну охолоджувальну рідину, що сприяє як підвищенню стійкості різців і полегшенню виходу стружки з канавки, так і зниженню сил різання (що особливо важливо для маломіцних і маложорстких відрізних різців).

У зв'язку з тим, що робота ведеться з великим зусиллям, а відведення стружки із зони різання утруднений, нерідко відбуваються викришування або сколи різальної частини інструмента, а іноді і відрив різального елемента від державки.

Розточувальні різці

Розточувальні різці (рис.5.6, *д, е, ж*) виконують "розточування" вже обробленого отвору збільшуючи його діаметр.

Вони мають менші поперечні розміри, ніж обробляється отвір, і досить велику довжину. У силу своєї малої жорсткості, розточувальні різці не дозволяють знімати стружку великого перерізу.

Для обробки довгих отворів або отворів великого діаметру застосовуються вставні різці круглого або квадратного перетину, які використовуються разом з державка. Державки дозволяють виробляти розточування за допомогою, як одностороннього, так і двостороннього різця.

При внутрішньому розточуванні різець знаходиться у важчих умовах, ніж при зовнішньому поздовжньому точінні.

Поряд з тим, що вершина розточувального різця знаходиться на максимальному діаметрі, тобто працює на найбільшій швидкості¹⁸, негативним моментом є і те, що розточувальним різцям, що мають менший переріз державки і великий виліт, доводиться працювати в менш жорстких умовах.

Це викликає прогин різця та вібрації, а тому при розточуванні знімають зазвичай менший переріз зрізу та знижують швидкість, різання. При цьому чим менше діаметр отвору, що розточується, тим більше поверхня зіткнення різця з заготовкою, тим більше знос по задній поверхні за один і той же час, тим меншу швидкість різання буде допускати розточувальний різець в порівнянні з різцем для зовнішнього поздовжнього точіння

Коефіцієнт k_v зменшення швидкості різання залежно від діаметру D оброблюваного отвору (у порівнянні із зовнішнім точінням) можна розрахувати як

$$k_v = 0,26 + 0,125 \ln D. \quad (5.1)$$

Зменшенні швидкості різання необхідно враховувати при проектуванні інструмента.

Приклад 5.1 (Швидкість при розточуванні).

За нормативами різання задано швидкість різання v при зовнішньому точінні. Розрахувати швидкість різання при розточуванні отвору діаметром D .

Вихідні дані:

$v = 35 \text{ м/хв}$ – швидкість різання при зовнішньому точінні;

$D = 75 \text{ мм}$ – діаметр отвору, що підлягає розточуванню.

Рішення:

1. За формулою (5.1) маємо поправочний коефіцієнт

$$\begin{aligned} k_v &= 0,26 + 0,125 \ln D = k_v = 0,26 + 0,125 \ln 75 = \\ &= k_v = 0,26 + 0,125 \cdot 4,317 = 0,799 = 0,8. \end{aligned}$$

2. Враховуючи отриманий коефіцієнт маємо скореговану швидкість різання для розточування отвору

$$v_{\text{роз}} = v k_v = 35 \cdot 0,8 = 28 \text{ м/хв.}$$

¹⁸Що в даному випадку призводить до утруднення підведення охолоджувальної рідини і гірше відведення тепла виділеного під час роботи інструмента.

3. Отже, швидкість різання при розточуванні отвору має становити не 35 м/хв, як рекомендовано за нормативами, а тільки 28 м/хв.

Фаскові різці

Фаскові різці (рис.5.6,д) призначені для зняття зовнішніх і внутрішніх фасок.

Фасонні різці

Фасонні різці (рис.5.6,к) використовуються для отримання деталі складної форми. Наприклад точіння різьбових поверхонь.

Залежно від виду верстата і виконуваної роботи використовуються різні різці, які класифікуються за наступними ознаками :

- за видом обробки (прохідні, підрізні, розточувальні, відрізні, фасонні)
- за характером оброблення (чорнові, чистові);
- за установкою відносно деталі (радіальні, кутові, тангенціальні);
- за напрямом подачі (праві, ліві)
- за конструкцією голівки (прямі, відігнуті, зігнуті, відтягнуті);
- за перерізом оправки корпусу (прямокутні, квадратні, круглі);
- за конструкцією (цілісні, складені, збірні);
- за матеріалом робочої частини (з інструментальної сталі, з твердого сплаву, з керамічних матеріалів, алмазні, з надтвердих синтетичних матеріалів).

Процес різання здійснюється при обертанні оброблюваної заготовки (головний рух, позначається символом v) і переміщенні різця (рух подачі, позначається символом s).

Обточенням виконують наступні основні операції:

- **обточування :**
обробка зовнішніх циліндричних гладких, циліндричних ступінчастих, конічних (рис. 5.6,а,б), фасонних (рис. 5.6,д) поверхонь;
- **розточування :**
обробка внутрішніх поверхонь (рис. 5.6,е);

– підрізування :

обробка торцевих поверхонь (рис. 5.6,в);

– різьбонарізування :

нарізування різьби різцем зовнішньої (рис. 5.6,ж) або внутрішньої (рис. 5.6,з).

- у першому випадку різьбу нарізують з подовжньою подачею різця. Форма різальної кромки визначається профілем і розмірами поперечного перерізу нарізуваної різьби.
- у другому випадку в заготовці спочатку свердлиться отвір певного діаметру;

– відрізка :

розрізання заготовки на частини (рис. 5.6,г). Виконується відрізними різцями з поперечною подачею.

Залежно від виду токарної обробки (зовнішнє точіння, внутрішнє розточування, підрізання торця, відрізка) змінюються умови, в яких знаходиться різець у процесі стружкоутворення.

5.1 Конструкція та геометрія

Різець складається з робочої частини (яка зрізує матеріал заготовки) і державки (яка призначена для закріплення інструмента).

Габаритні розміри різця визначаються довжиною державки, яка вибирається залежно від надійності закріплення, і її перерізом, який стандартизовано і може бути:

- квадратної форми;
- прямокутною форми;
- і круглою діаметром від 10 до 40 мм.

Найбільш поширеною є прямокутна форма перерізу державки різця. Різці з квадратним перерізом застосовують на верстатах-автоматах. Різці з круглою державкою застосовують відносно рідко, у окремих випадках.

Площа перерізу державки залежить від:

- зусилля різання P_z що діє на різець;
- величини відстані від вершини різця до опорної частини верстата (виліт інструменту);
- кута φ у плані.

Пояснимо чому переріз державки різця залежить саме від цих параметрів. Отже:

– **зусилля різання :**

зрозуміло, що чим більші зусилля різання – тим більшою має бути площа державки.

– **виліт інструменту :**

під дією зусиль різання різець трохи вигинається. Отже, чим більшим є виліт різці – тим більшою має бути площа поперечного перерізу. В протилежному випадку різець може просто зігнути.

– **кут у плані :**

величина кута у плані впливає на напрям дії усіх складових зусиль різання. Це призводить до того, що чим більшим є кут у плані – тим більшою є складова що вигинає державку різця у бік. Щоб компенсувати боковий вигін треба збільшити площу перерізу державки.

Висота державки визначається за відповідним розміром верстата або може бути орієнтовно розрахована на міцність під дією сили P_z .

Співвідношення висоти H до ширини B різця залежить від виду оброблення і має такі значення

- чорнове оброблення $H = 1.6 B$
- напів чистове $H = 1.25 B$
- чистове $H = B$

Державним стандартом рекомендовано такі співвідношення сторін державки токарного різця:

- прямокутні різці
 - 10×16 ; 12×20 ; 16×20 ; 16×25 ; 20×25 ; 20×32 ; 25×32 ;
 25×46 ; 32×46 ; 32×58 ; 40×50 ; 50×63 ;
- квадратні різці
 - 4×4 ; 6×6 ; 10×10 ; 12×12 ; 16×16 ; 20×20 ; 25×25 ; 32×32 ;
 40×40 .

Загалом різці зі швидкорізальної сталі можуть бути цілісними або з привареною робочою частиною (головка або пластина). Але в теперішній час час токарні різці цільної конструкції в галузевому машинобудуванні майже не застосовують. Зварні різці трапляються тільки у випадках коли різець має малі розміри і через це застосовувати зварювання буде складно.

5.2 Форма передньої поверхні

Залежно від умов обробки форми передньої поверхні роблять різними. Найбільш простий є плоска поверхня. При такій формі не забезпечується досить висока міцність різальної кромки різця, а тому вона рекомендується (табл.5.1):

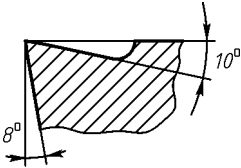
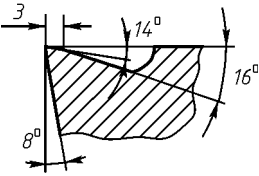
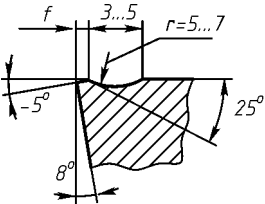
- для різців всіх типів (як із пластинками із швидкорізальних сталей, так і з пластинками із твердих сплавів) при обробці чавуну;
- для різців зі швидкорізальної сталі при обробці ними сталей з подачами до 0,2 мм/об;
- для фасонних різців зі складним контуром різальної кромки (через простоту виготовлення).

Для полегшення заточування і доведення різця по передній поверхні кут робиться не на всій передній поверхні пластинки, а на ділянці шириною приблизно 3 мм.

Форма передньої поверхні різців і геометричні параметри призначаються залежно від властивостей оброблюваного матеріалу [3]. Існує три основні (і декілька комбінацій) форми передньої поверхні токарного різця (табл. 5.1 на наступній сторінці):

- **проста :**
коли передня поверхня є площиною котра нахилена під кутом γ до опорної частини різця.
- **з фаскою :**
коли вздовж кромки виконують невелику фаску під кутом $\gamma_{\text{фас}}$ трохи меншим за прийнятий передній кут.
- **з від'ємною фаскою :**
коли вздовж кромки виконують невелику фаску з від'ємним переднім кутом $\gamma_{\text{фас}}$ у межах від мінус 3 до мінус 5°.
- **з канавкою :**
коли на передній поверхні виконують канавку паралельно різальній кромці.

Табл. 5.1. Форми заточування різців

Ескіз	Пояснення
	Проста форма передньої поверхні. Застосовується при обробленні звичайних конструкційних матеріалів
	Передня поверхні із канавкою. Застосовується у випадку коли необхідно подрібнити стружку.
	Передня поверхня з фаскою та канавкою. Фаска на передній поверхні має від'ємний кут, що зміцнює кромку. Застосовують для оброблення твердих матеріалів.

У промисловості найбільш поширені різці оснащені твердим сплавом, оскільки вони забезпечують збільшення швидкості і продуктивності обробки. Можуть бути:

- цільними;
- з припаяними стандартними пластинами
- або з механічним кріпленням пластин, в цьому випадку пластини зазвичай багатогранні.

Конструктивне оформлення змінних різальних твердосплавних пластин (рис.5.8) і їх геометричні параметри залежать від форми оброблюваної деталі.

На відміну від сталевих різців передня поверхня різців (точніше змінних пластин твердого сплаву) значно складніша. На рис.5.9 наведено фото змінних пластин різної форми.

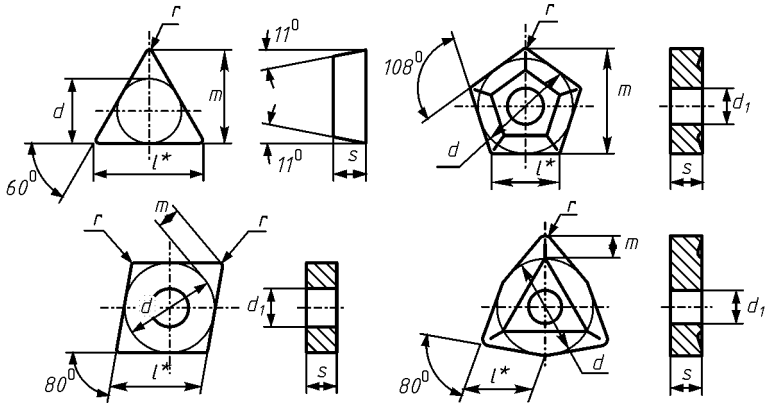


Рис. 5.8. Змінна пластина

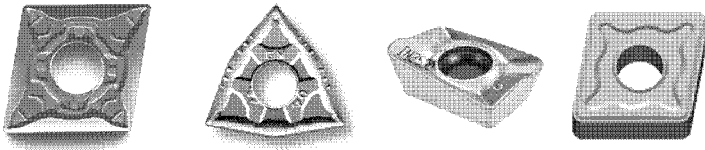


Рис. 5.9. Передня поверхня змінних пластин

При обробці різцями, оснащеними пластинками твердих сплавів, більш міцних сталей, коли на різець будуть діяти великі сили, застосовуються плоска від'ємна форма передньої поверхні. Ця форма застосовується також при обробці сталей з ударом і нерівномірним припуском по кірці.

Для полегшення відведення стружки необхідно застосовувати спеціальні стружколоми або створювати комбінацію кутів при якій забезпечується хороше подрібнення стружки на дрібні частини.

Через високі швидкості різання, особливо при обробленні різцями оснащеними твердим сплавом, необхідно передбачити пристрої для подрібнення стружки. Існують різні способи для подрібнення стружки розглянуті далі.

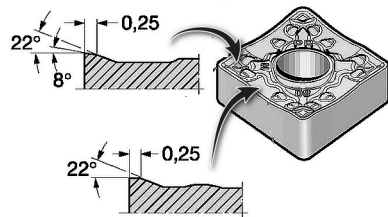
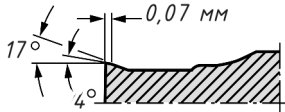


Рис. 5.10. Передня поверхня змінної пластини

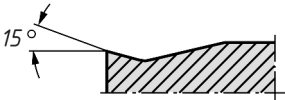
Передня поверхня змінних пластин

Передня поверхні (рис.5.10) має регулярно розташовані виступи та западини. Зрізана стружка переміщується по ним і безперервно деформується потрапляючи по чергово то на виступ то на западину. В результаті багатократного перегину вона сама подрібнюється.

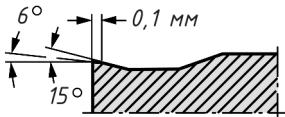
Нижче наведені форми праведної поверхні змінних різальних елементів залежно від оброблюваного матеріалу.



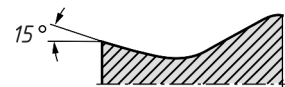
Чистова обробка конструкційної сталі. Матеріали, що утворюють стружку зливного типу.



Чистова обробка нержавіючої сталі. Матеріали, що утворюють стружку суставчатого типу.



Чистова обробка чавуну. Матеріали, що утворюють стружку надлому.



Чистова обробка жароміцних сталей. Матеріали, що утворюють зливну стружку з одночасним підвищенням температури різання.

Накладний стружколом

На передній поверхні встановлено накладний упор (рис.5.11). Стружка сходить по поверхні, впирається в упор і ламається.

Ця конструкція не дуже вдала, так як призводить до зайвої витрати енергії на подрібнення стружки і що саме гірше – не гарантує подрібнення. Навпаки, є імовірність пакетування стружки на різці з усіма наслідками.

Загалом накладні стружколоми, це винахід середини минулого століття. У

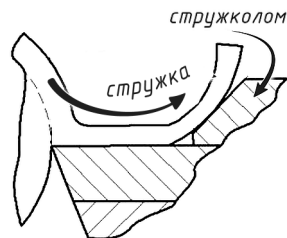


Рис. 5.11. Стружколом накладний

теперішній час їх застосовують вкрай рідко, зазвичай під час обробки великогабаритних деталей.

Подача рідини з високим тиском

Це відносно нове “*pow-haw*”. Охолоджувальну рідину під великим тиском подають в зону різання. Але не зверху на стружку (як звичайно), а навпаки, під стружку в щілину між стружкою та передньою поверхнею (рис.5.12).

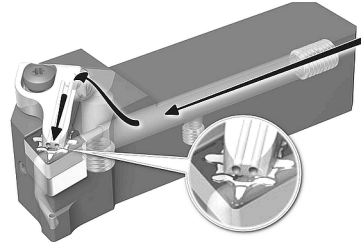


Рис. 5.12. Охолодження під тиском

В результаті стружку “відриває” від інструмента і видаляє із зони різання. Але такий спосіб подрібнення стружки вимагає наявності захисного обладнання від рідини, що розлітається навкруги під великим тиском.

5.3 Геометричні параметри

Геометричні елементи різальної частини, що мають великий вплив на процес стружкоутворення, тепловиділення та розподіл теплоти, впливають і на швидкість різання, що допускається різцем. Чим більша величина кута різання, тим більша деформація, тепловиділення та сили, що діють на різець, тим інтенсивніше знос різця і нижча його стійкість.

Головними критеріями під час вибору геометричних параметрів різця є:

- технологічна стійкість інструмента (час допустимої величини майданчики зносу);
- розмірна стійкість інструмента (максимально допустима зміна його настроювальних розмірів);
- підтримка заданої шорсткості обробленої поверхні.

При виборі різця слід враховувати такі параметри, як його кут. Вони вимірюються в січних площинах і позначаються літерами грецької абетки (рис.5.13).

Основна площина різання P_v

Це координатна площина, проведена через задану точку різальної кромки перпендикулярно до напрямку швидкості головного або результатного руху різання в цій точці.

У токарних різців за основну площину може бути прийнята опорна поверхня різця. Але треба мати на увазі – основна площина проходить через досліджувану точку різальної кромки різця.

Площина різання P_n

Це площина, дотична до різальної кромки в заданій точці і перпендикулярна до основної площини. Вона збігається з напрямком швидкості різання v .

Головна січна площина P_τ

Це площина, перпендикулярна до лінії перетину основної площини P_v і площини різання P_n .

Головна січна площина перпендикулярна до проекції різальної кромки на основну площину P_v . Не треба плутати головну січну площину з площиною перпендикулярною до різальної кромки.

Робоча площина P_s

Це площина, в якій розташовані напрями (вектори) швидкості головного руху та руху подачі.

Головний передній кут γ

Це кут у головній січній площині P_τ , між передньою поверхнею леза A_γ і основною площиною P_v .

Призначення переднього кута – зменшити деформаційні процеси під час зрізування шару і полегшити сходження стружки.

Збільшення кута полегшує процес різання і дозволяє знизити зусилля подачі різця, але міцність різального клина знижується. Відхилення величини переднього кута всього на 5 градусів від рекомендованих оптимальних значень може викликати зниження стійкості різців майже в три рази. Зменшення переднього кута підвищує стійкість різців.

Рекомендовані значення головного переднього кута залежать від матеріалу деталі

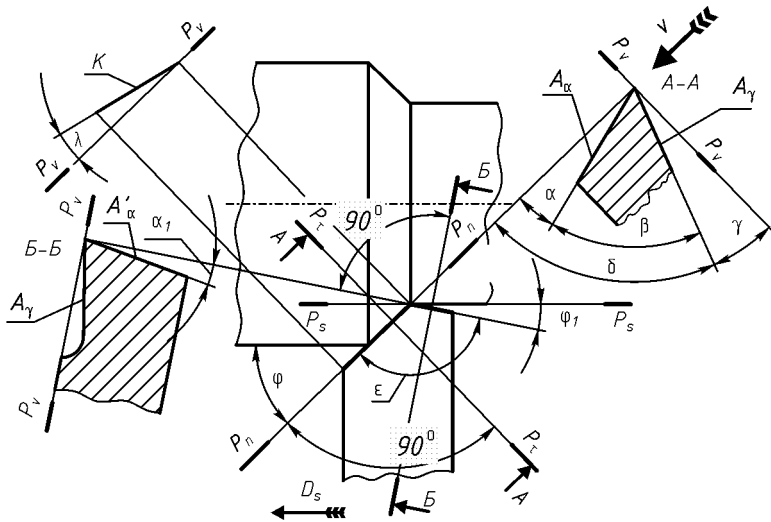


Рис. 5.13. Геометричні параметри токарного різця

- K – різальна кромка;
- λ – кут нахилу різальної кромки;
- v – швидкість різання;
- A_α – головна задня поверхня леза;
- A'_α – допоміжна задня поверхня леза;
- A_γ – головна передня поверхня леза;
- α – головний задній кут у головній січній площині P_t ;
- α_1 – допоміжний задній кут;
- γ – головний передній кут у головній січній площині P_t ;
- φ – головний кут у плані;
- φ_1 – допоміжний кут у плані;
- ε – кут при вершині різця;
- P_v – основна площина;
- P_n – площина різання;
- P_t – головна січна площина;
- P_s – робоча площина;
- D_s – напрям подачі (руху інструмента).

Матеріал	Алюміній, мідь	Латунь	Бронза	Сталь	Чавун
γ°	25...30	20...25	12...25	14...18	12...25

Для полегшення процесу стружкоутворення різець заточують під кутом γ . але що більше значення переднього кута γ , тим менше кут загострення β , що робить різальну кромку різця недостатньо міцної. Тому з метою зміцнення різальної кромки передній кут доводиться зменшувати при обробці:

- твердих металів, коли в процесі різання на різець будуть діяти значні сили;
- при обробці переривчастих поверхонь, коли має місце удар;
- а також при обробці крихких металів (сірі чавуни), коли внаслідок “сипучої” стружки надлому навантаження на різець зосереджено на ділянці, біля різальної кромки.

Чим м'якше оброблюваний метал, тим менші сили діятимуть на різець, тим, отже, більшим може бути взятий передній кут γ .

Внаслідок крихкості твердих сплавів передній кут для них береться меншим, ніж для різців зі швидкорізальної сталі, а в окремих випадках (при обробці міцних та твердих металів) від'ємним. Від'ємний передній кут не тільки змінює характер деформації пластинки¹⁹, але сприяє також і віддаленню центру тиску стружки від різальної кромки, що особливо важливо при ударному навантаженні.

При додатному передньому куті γ у разі переривчастого різання удар припадає на саму різальну кромку. При від'ємному значенні переднього кута удар у момент зіткнення з заготовкою припадає не на саму різальну кромку, а на деякій відстані від неї, внаслідок чого вона менше зазнаватиме руйнування.

Дослідження показують, що головним фактором, який впливає на величину оптимального значення переднього кута твердосплавного інструмента, є межа міцності при обробленні сталі або твердість при обробленні чавуну.

Головний задній кут α

Це кут у головній січній площині P_τ між задньою поверхнею A_α і площиною різання P_n .

Головне призначення заднього кута – зменшення тертя задньої поверхні різця по заготовці.

¹⁹При від'ємному куті γ пластинка сплаву працює менше на вигин і більше на стиск

Збільшення заднього кута викликає зменшення кута загострення, що тягне за собою зниження міцності леза і збільшення шорсткості оброблюваної поверхні.

Зменшення заднього кута, в свою чергу, підвищує тертя, що прискорює знос різця і знижує якість обробки.

Чим більший задній кут різця, тим менше тертя різця по поверхні заготовки, тим менше його знос і вища стійкість. Однак із збільшенням заднього кута зменшується кут загострення β та різець стає менш міцним. З деякого значення заднього кута різальна кромка (особливо у твердих сплавах) починає викришуватись і стійкість різко падає. Тому для кожного оброблюваного металу, матеріалу різця та умов обробки встановлюється своє оптимальне значення заднього кута, при якому стійкість, а отже, і швидкість різання (при одній стійкості) буде найбільшою.

Як показують дослідження, оптимальні значення задніх кутів лежать у вузькій межі ($6 \dots 15^\circ$) та їх величина визначається головним чином подачею (товщиною зрізу), так як чим більше подача, тим більше сила, що діє на різальну кромку, тим меншим, щоб уникнути викришування має бути задній кут.

Крім того, при роботі з малими подачами (товщинами) радіус округлення різальної кромки повинен бути меншим, що і досягається при більшому значенні заднього кута α .

При обробці твердих матеріалів величини задніх кутів знижуються, а при роботі з більш м'якими – збільшуються. Рекомендовані значення головного заднього кута залежать від матеріалу деталі

Матеріал	Алюміній, мідь	Латунь	Бронза	Сталь	Чавун
α°	10...15	8...12	8...12	10...14	8...10

Кут різання δ

Цей кут вимірюють у головній січній площині P_T між передньою поверхнею леза A_γ і площиною різання P_n .

При зменшенні кута різання (збільшення додатного значення переднього кута) деформації, сили різання та тепловиділення знижуються і стійкість спочатку підвищується. Але разом із збільшенням переднього кута γ зменшується кут загострення β та об'єм головки різця, внаслідок чого тепловідведення від поверхонь тертя різця та міцність різального леза зменшуються та починаючи з деякого значення кута різання, зношування підвищується (можливе і викришування різальної кромки), а загальна стійкість інструмента знижується.

Тому для кожного матеріалу заготовки, матеріалу різця та інших умов обробки є своє оптимальне значення кута різання (переднього кута), при якому стійкість, а отже (при однакових стійкостях), швидкість різання будуть найбільшими. При цьому чим вище міцність або твердість металу, що обробляється, тим менше додатне значення оптимального переднього кута.

Головний кут загострення β

Це кут у головній січній площині P_τ між передньою A_γ і задньою A_α площинами леза різця.

Кут у плані φ

Це кут, у основній площині P_v між площиною різання P_n і робочою площиною P_s .

Його призначення – змінювати співвідношення між шириною і товщиною зрізу при постійних глибині різання і подачі.

При зменшенні кута підвищується міцність вершини різця, але чинність, додаток доводиться збільшувати. При цьому підвищується тертя про оброблювану поверхню і виникають вібрації.

Чим більший кут у плані, тим більше (при однакових подачі та глибині різання) товщина зрізу, тим менша довжина активної частини різальної кромки і активний об'єм головки різця²⁰, тим вище термодинамічна навантаження на одиницю довжини леза, інтенсивніше зношування різця і менше його стійкість.

Тому різці з малими кутами в плані допускають (за інших однакових умов) більшу швидкість різання. Нижче наведені поправочні коефіцієнти k_v на швидкість різання, що допускається різцем, оснащеним твердим сплавом залежно від головного кута в плані φ , якщо прийняти швидкість різання при $\varphi = 45^\circ$ за одиницю

φ°	10	20	30	45	60	70	90
k_v	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7

Необхідно мати на увазі, що кути в плані φ , що допускають більш високі швидкості різання і тим самим забезпечують більш високу

²⁰Об'єм головки різця, який сприймає та передає тепло виділене під час роботи інструмента.

продуктивність різців, підвищують у процесі різання значення радіальної сили P_y . Тому різці з малими кутами у плані рекомендується застосовувати за значної жорсткості деталі

$$\frac{\text{довжина деталі}}{\text{діаметр деталі}} \leq 6,$$

щоб уникнути виникнення вібрацій, що погіршують якість обробленої поверхні і сприяють викришуванню різальної кромки (особливо у різців з пластинками з твердих сплавів і кераміки).

Вибір величини головного кута в плані φ залежить від умов обробки, конструкції різців та особливостей кріплення пластин.

Різці з малими кутами φ від 10 до 20° застосовуються при обробці масивних деталей на важких верстатах.

Нежорсткі вироби обробляють під кутами $\varphi = 60...70^\circ$, а кут $\varphi = 90^\circ$ застосовую за наявності на заготовці ступенів з торцями.

У загальному випадку для різців залежно від типу обробки застосовують такі кути φ у плані

- для прохідних різців $\varphi = 45^\circ$;
- для прохідних різців які встановлені на верстатах-автоматах $\varphi = 60...70^\circ$;
- для відрізних різців що формують прямокутний ступень або торець деталі $\varphi = 90^\circ$.

Прохідні різці

У прохідних різців головний кут у плані φ приймають рівним $\varphi = 10...30^\circ$ у разі обробки в умовах особливо жорсткої системи верстат-заготовка-різець-пристрій.

У разі обробки на верстатах середньої жорсткості кут у плані φ приймають рівним 45° , як найбільш оптимальний.

В умовах недостатньої жорсткості кут у плані φ приймають рівним $60...75^\circ$.

Прорізні та відрізні різці

У прорізних та відрізних різців кут φ у плані приймають рівним 90° . Але при такому куті при відрізанні правої частини від лівої вона може відламатися в той момент, коли різець не дійшов ще до центру, і на відрізній частині залишиться “бобищечка”, яку потім необхідно якось видалити (наприклад, сточуванням на шліфувальному крузі).

Допоміжний кут у плані φ_1

Це менший кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину і робочою площиною P_s .

Допоміжний кут у плані також впливає знос різця, отже, і його стійкість. При малому допоміжному куті в плані $\varphi_1 < 5^\circ$ допоміжна різальна кромка бере велику участь у побічному різанні, що викликає великі тепловиділення та зношування різця, а отже, знижується його стійкість.

У міру збільшення допоміжного кута φ робота різання від допоміжної різальної кромки зменшується, що призводить до деякого підвищення стійкості і, внаслідок цього, підвищення швидкості, що допускається різцем при однаковій стійкості.

Однак, починаючи з $\varphi_1 = 5 \dots 10^\circ$, більшою мірою позначається зменшення обсягу головки різця, що призводить до погіршення тепловідведення і більшої температурної концентрації на поверхнях тертя різця, що знижує допустиму швидкість різання.

Головний та допоміжний кути у плані мають значний вплив на стійкість різця. Чим менший головний і допоміжний кути в плані, тим масивнішою буде головка різця, тим тонше стружка і довша активна частина різальної кромки, тим менше термодинамічне навантаження відчуватиме одиниця довжини різального леза, тим менш інтенсивно буде зношуватися різець і вище його стійкість.

Але зі зменшенням кутів φ та φ_1 збільшується віджимання різця від заготовки і при недостатній жорсткості системи верстат-заготовка-різець-присрій знижується точність обробки і можуть виникнути вібрації, при яких робота практично може бути неможливою. Тому за умов обробки, що не забезпечують достатньо жорстких умов, необхідно призначати більші значення кута φ у плані.

Кут при вершині у плані ϵ

Це кут між проекціями головної і допоміжної різальних кромки на основну площину.

Кут нахилу кромки λ

Це кут у площині різання P_n між різальною кромкою і основною площиною P_v .

Кут λ нахилу головної різальної вважається додатнім, коли вершина різця є нижчою точкою різальної кромки і від'ємним, коли вершина різця є найвищою точкою різальної кромки.

Зміна цього кута дозволяє управляти напрямком сходу стружки і умов контакту різця із заготовкою. Значення $12...15^\circ$ слід застосовувати при чорновій обробці і переривистому різанні з ударами.

При точінні загартованої сталі значення кута λ слід прийняти від 25 до 35° . При чистовому обробленні деталі використовуються різці, кут нахилу ріжучої кромки яких менше або дорівнює нулю.

Додатне значення кута λ нахилу головної різальної кромки дуже впливає на зміцнення різальної кромки різця, що особливо важливо при ударному (переривистому) різанні, при роботі по кірці і при роботі з нерівномірним припуском. У зв'язку з цим у міру переходу від від'ємного значення кута λ до позитивного (від мінус 15° до плюс 40°) стійкість різця підвищується. У діапазоні $\lambda = 0...10^\circ$ зміна стійкості незначна і нею можна знехтувати.

Для прохідного різця з кутом $\lambda = 0$, встановленого вершиною по центру заготовки, внаслідок різної швидкості зрізання стружки на периферії $v_{\text{пер}}$ і у обробленій поверхні $V_{\text{обр}}$ стружка відхилиться у бік обробленої поверхні і відходить у напрямку, зворотному напрямі подачі.

При цьому внаслідок різних швидкостей $v_{\text{пер}}$ і $V_{\text{обр}}$ та наявності гвинтової поверхні різання вектор істинної швидкості зрізання стружки не збігається з вектором швидкості обертання заготовки і стружка ковзає по різцю не тільки в головному напрямі її руху, але і вздовж різального леза. Тому напрям відходу стружки по різцю не буде нормальним до різального леза, а становитиме з нормаллю певний кут.

У різця з від'ємним кутом λ нахилу головної різальної кромки стружка буде відходити у зворотному напрямку, тобто від обробленої поверхні до оброблюваної.

Радіус округлення вершини

Це радіус кола, яке поєднує між собою головну та допоміжну різальні кромки.

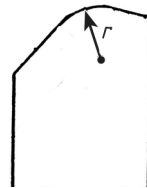


Рис. 5.14.
Округлення
вершини

Зі збільшенням значення r (рис.5.14) підвищується міцність різальної кромки у вершини, стійкість різця і покращується чистота обробленої поверхні.

Однак збільшення радіуса призводить до різкого зростання сили віджимання різця від заготовки і виникнення вібрацій, а тому для прохідних різців з пластинками твердих сплавів радіус закруглення $r = 0,5 \dots 2$ мм вибирається він в залежності від перерізу державки різця $B \times H$ (B – ширина державки; H – висота).

5.4 Проектування різців

5.4.1 Переріз оправки

Розміри перерізу різця впливають на швидкість різання, що допускається різцем, оскільки, чим більше площа перерізу тіла різця, тим інтенсивніше тепловідведення від поверхонь тертя (зносу) різця і нижче температурна концентрація.

Одночасно підвищується і жорсткість різця, тому різець, який має великі розміри перерізу державки, допускає і вищі швидкості різання. Так, якщо для різця з швидкорізальної сталі з перетином державки $20 \times 30 \text{ мм}^2$ швидкість різання прийняти за одиницю $v_{20 \times 30} = 1$, то для перерізу $16 \times 25 \text{ мм}^2$ допустиму швидкість різання необхідно зменшити до $v_{16 \times 25} = 0,97$ від нормативної, а для перерізу $25 \times 40 \text{ мм}^2$ навпаки збільшити до $v_{25 \times 40} = 1,04$ (при обробці сталей).

Загальні принципові вимоги до конструкції різця зводяться до забезпечення наступних показників:

- високою продуктивності обробки;
- стійкої безпечної форми стружки при заданих умовах обробки;
- економічності у виготовленні й експлуатації різців.

У розвитку зазначених загальних вимог визначаються “основні вимоги” до різця:

- у міру підвищення ступеня автоматизації верстатів, більш доцільним є механічне закріплення різальних пластинок у різцях, що виключає їх напайку та переточування;
- у конструкції різців слід застосовувати більш прогресивні різальні матеріали, що допускають обробку з підвищеною швидкістю різання;
- для отримання сприятливої форми стружки слід використовувати оптимальну геометрію канавок різальних пластинок;

- під різальною пластиною потрібно передбачати опорну пластинку, яка захищає державку від пошкодження при руйнуванні різальної пластини. Різець повинен бути економічним:
- за витратою твердого сплаву на одну різальну кромку; – за терміном служби й вартості державки для збірних різців;
- за кількістю можливих переточувань для різців з напаяними пластинами і можливістю використання двох сторін для переточуваних різальних пластин;
- середня стійкість для напаяних пластин різців повинна становити 20...30 хвилин, для змінних пластин – 15...20 хвилин;
- геометрія різця повинна захищати різальну кромку від відколів і викришування, у тому числі і при ударному навантаженні на різець.

Робоча частина токарного різця у більшості випадків це пластина твердого сплаву яка прикріплена до різцетримача (державки). Спосіб кріплення різальної пластини може бути достатньо різним:

- напаявання безпосередньо до корпусу різця;
- механічне кріплення різними конструкціями;
- за допомогою сил що виникають під час роботи інструменту;
- та інші.

Однак основним при конструюванні різців є розрахунок державки на міцність який виконують у такій послідовності.

1. Зусилля різання P_z у кілограмах

$$P_z = 30 t s^{0,75} HB^{0,35}, \quad (5.2)$$

де t – товщина матеріалу що зрізується, мм;

s – подача мм/об;

HB – твердість матеріалу деталі за шкалою Брінеля.

2. Допустимі напруження σ_d у матеріалі державки. Їх величина залежить від кута φ у плані

φ°	30	45	60	75	90
σ_d , МПа	240	200	160	130	110

3. Ширина B прямокутної державки, мм

$$B = \sqrt{\frac{6P_z l}{0,256 \sigma_d}}, \quad (5.3)$$

де l – виліт різця, то б то відстань від вершини різця до опорної частини різцетримача, мм;

4. Висота H прямокутної державки

$$H = 1,6 B. \quad (5.4)$$

5. Розміри H та B державки стандартизовані

H	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80
B	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50

Розміри державок доцільно приймати за стандартами (з наведеними вище рядами), це дозволить використовувати стандартні пристрої верстатів.

Змашувально-охолоджувальні рідини, що полегшують стружкоутворення, зменшують коефіцієнт тертя і знижують температуру різання. Це суттєво впливає на швидкість різання, що допускається різцем.

Кращою в цьому відношенні буде та рідина, яка поряд з високими охолоджувальними властивостями матиме і хорошу маслянистість, тобто здатність зберігати міцну адсорбційну плівку на поверхнях ковзання, при високих тисках між ними.

При проектуванні токарних різців необхідно враховувати, що при рясному охолодженні (8...12 л/хв) методом поливу зверху місця відділення стружки при обдирних роботах швидкорізальними різцями швидкість різання підвищується на 20...30%, а при чистових роботах (тонких стружках, коли тепловиділення менше) на 8...10% порівняно з обробкою “всуху”.

Залежності та визначення для точіння

Корпорація Sandvik Coromant рекомендує використовувати для розрахунків токарних різців наступні математичні залежності отримані емпіричним методом.

Прийняті умовні позначення:

v	– швидкість різання, м/хв;
n	– частота обертання шпинделя, об/хв;
l	– довжина точіння, мм;
s	– подача, мм/об;
γ	– передній кут, градуси;
a	– товщина зрізаного шару, мм;
t	– глибина різання, мм.

Швидкість різання

$$v = \frac{\pi D n}{1000} . \quad (5.5)$$

Частота обертання шпинделя

$$n = \frac{v 1000}{\pi D} . \quad (5.6)$$

Час роботи (час різання)

$$T_{\text{різ}} = \frac{l}{s n} . \quad (5.7)$$

Швидкість видалення металу

$$Q = v t s . \quad (5.8)$$

Питома сила різання:

– для сталі залежно від твердості

$$k_{\text{різ HB}=100} = 1706 s^{-0,219} \left(1 - \frac{\gamma^\circ}{100} \right) , \quad (5.9)$$

$$k_{\text{різ HB}=170} = 2063 s^{-0,223} \left(1 - \frac{\gamma^\circ}{100} \right) , \quad (5.10)$$

$$k_{\text{різ HB}=230} = 2400 s^{-0,222} \left(1 - \frac{\gamma^\circ}{100} \right) , \quad (5.11)$$

$$k_{\text{різ HB}=300} = 2649 s^{-0,221} \left(1 - \frac{\gamma^\circ}{100} \right) , \quad (5.12)$$

$$k_{\text{різ HRC}=56} = 4106 s^{-0,222} \left(1 - \frac{\gamma^\circ}{100} \right) , \quad (5.13)$$

– для алюмінієвих сплавів

$$k_{\text{різ НВ}} = 595 s^{-0,220} \left(1 - \frac{\gamma^\circ}{100} \right). \quad (5.14)$$

Товщина стружки

$$a = s \sin \varphi. \quad (5.15)$$

Потужність різання витрачена

$$P = \frac{v t s k_{\text{різ}}}{60 \times 10^3}. \quad (5.16)$$

5.4.2 Кріплення різальної пластини

Згідно до міжнародної системи передбачено чотири схеми закріплення різальних пластин у різцетримачі, які відповідають ISO 5609-2015. Загалом існує досить багато різних конструкцій кріплення різальних елементів, але ті що розглядаються далі є базовими.

Кріплення зверху

Конструкція різця за схемою закріплення прихватом і різальної пластинки. Ця конструкція запропонована у двох виконаннях. У першому виконанні (рис. 5.15) різець призначений для роботи з від'ємним робочим переднім кутом. Формування стружки здійснюється за допомогою спеціальних пластин – стружколомів 4.

Різальна пластина 3 опирається на спеціальну підкладку 2, яка закріплена гвинтом 1. Безпосередньо різальний елемент притиснутий важелем 5, який затискається гвинтом 6.

Змінна різальна пластина притискається на оправку у напрямку за стрілкою А. Важіль 5 опирається на корпус оправки в напрямку стрілки В.

Прямокутний переріз пластини з кутом $\alpha_{\text{пл}} = 0^\circ$ дозволяє застосовувати підвищену швидкість різання, збільшує механічну міцність і робить можливим її двостороннє використання.

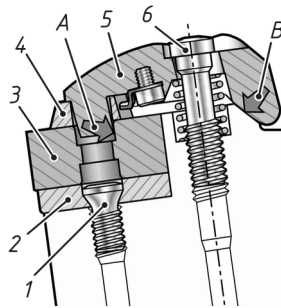


Рис. 5.15. Кріплення зверху

Стружколам має найпростішу плоску форму й входить до комплекту збірного різця у вигляді набору різних розмірів з тим, щоб забезпечити оптимальну величину виступу при обробці різних матеріалів у широкому діапазоні режимів різання. Глухий паз для пластин у державці створює їх надійне закріплення, а також підвищену точність позиціонування. Диференціальний кріпильний гвинт сприяє швидкому повороту й заміні різальної пластини.

При від'ємному передньому куті γ зусилля різання збігається із зусиллям закріплення, що сприяє більшій надійності закріплення пластин. У конструкції використовуються різальні пластини, що мають 3 і 4 грані, а також ромбічного типу з кутами $\epsilon = 80$ або 55° .

Різці такої конструкції прості, надійні по формуванню стружки і можуть застосовуватися у середньому і масовому виробництві.

Кріплення важелем

Конструкція різця за схемою закріплення різальної пластини з отвором за допомогою кутового важеля (L -подібного вигляду). Конструкція різця показана на рис. 5.16 і служить, в основному, для роботи з від'ємним переднім кутом γ .

У різця в глухому пазі державки розташовуються опорна пластина 2 і різальна пластина 3. Кріплення різальної пластини здійснюється за допомогою кутового важеля 1 спеціальної форми. На одне плече важеля передається зусилля від диференціального гвинта 4. Іншим плечем важіль входить в отвір різальної пластини і притискає її до нерухомого упору уступу корпусу різця.

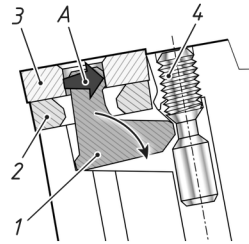


Рис. 5.16. Кріплення важелем

Регулювання форми стружки, в даній конструкції, виконується підбором різальних пластин з найбільш сприятливою, для заданих технологічних умов, формою канавки. Для звільнення різальної пластинки, при її повороті або зміні, досить невеликого повороту кріпильного гвинта.

При від'ємному передньому куті γ – зусилля різання збігається за напрямком A і зусиллям закріплення, що сприяє підвищенню надійності закріплення. При використанні різця з від'ємним переднім кутом можливо двостороннє застосування різальної пластини.

Незважаючи на збільшену складність різця за рахунок державки і кутового важеля, конструкція набула широкого поширення у середньому і великосерійному виробництві, як у вітчизняному, так і в закордонному (“Krupp Vidia”, “Sandvik Coromant”), що пояснюється її загальною стабільністю в роботі, відсутністю експлуатаційних перешкод через складності форми, швидкою зміною різальної крайки.

Масове виготовлення таких різців на Харківському інструментальному заводі сприяло підвищенню точності й економічності їх виготовлення, а також розширенню застосування у виробництві. Компактність конструкції сприяє використанню різців у автоматизованих виробництвах у вигляді різцевих блоків.

Кріплення гвинтом з ексцентриситетом

На рис. 5.17 подана конструкція різця з гвинтовим закріпленням різальної пластини. Різальна пластина 3 спирається на підкладку 2, яка закріплена на оправці різбовою втулкою 1. Безпосередньо різальна пластина притиснута гвинтом 4.

Завдяки тому, що вісь отвору у різальній пластині зсіщена відносно осі головки гвинта 4 вся різальна пластина притискається до оправки у напрямку зусиль *A*, *B* та *C*.

Головною особливістю конструкції є кріпильний гвинт з конічною головкою, а також різальна пластина з конічним (тороїдним) отвором. Таке конструктивне рішення призвело до гранично малої кількості деталей різця, його компактності й малих габаритів. Ось нарізного отвору кріпильного гвинта зміщена в бік нерухомого упору у вигляді стінок паза державки на відстань близько 0,15 мм. Внаслідок цього, при закручуванні гвинта різальна пластина переміщається до нерухомого упору, притискається до нього і до основи паза державки.

Різець призначений, головним чином, для розточування отворів діаметром 12...40 мм. При малих діаметрах отворів опорна пластинка може бути відсутня, хоча вона захищає державку різця при руйнуванні різальної пластини. Відведення і формування стружки в різці

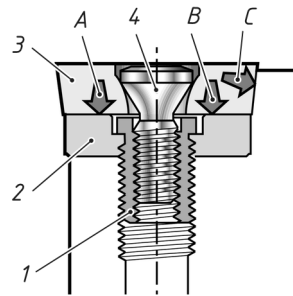


Рис. 5.17. Гвинт з ексцентриситетом

здійснюється вибором оптимальної форми канавок з урахуванням умов обробки. Пластини з плоскою передньою поверхнею без канавок застосовуються для обробки чавуну й інших аналогічних матеріалів, котрі утворюють стружку надлому.

Конструкція може використовувати всі форми пластин. Різець призначений, головним чином, для роботи з додатним переднім кутом.

Незважаючи на простоту і компактність конструкції, вона має ряд обмежень у своєму застосуванні. Так, зусилля закріплення, створюване кріпильним гвинтом обмеженого діаметра, притискає різальну пластину до паза державки; у той же час, значно більше за величиною зусилля різання P_z при додатньому куті γ пластинки, намагається відсунути пластинку від паза державки, що послаблює надійність закріплення пластинки. Конструкцію слід розцінювати як більш придатну для невеликих зусиль різання.

Конструкція має збільшену втрату часу при повороті або зміні різальної пластинки. Якщо в першому випадку необхідно вивернути кріпильний гвинт на висоту пластинки, то в другому випадку кріпильний гвинт повинен бути вивернутий повністю. Різьба гвинта і втулки (або державки різця) має при цьому збільшений знос. Слід враховувати і спеціальну форму отвору.

Кріплення на конус

Конструкція кріплення на конус (рис.5.18) передбачає базування змінного різального елемента по конічному виступу.

Змінна різальна пластина 2 притиснута до оправки 1 звичайним гвинтом. Навколо різбового отвору на оправці є конічний виступ, який центрує різальний елемент.

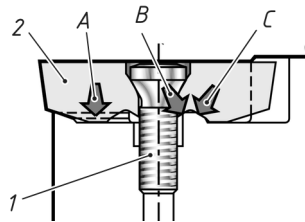


Рис. 5.18. Кріплення на конусі

Така конструкція не є міцною адже всі зусилля різання приймає тільки головка гвинта, однак конструкція має свою галузь застосування для закріплення малих за розмірами елементів при фасонному чистовому точінні.

Нестандартизовані конструкції кріплення

На рис.5.19 наведено декілька поширених не стандартних конструкцій кріплення змінного різального елемента.

Конструкція за рис.5.19,а має накладний стружколом і дуже проста. Змінна різальна пластина 2, яка має отвір притиснута до опорної пластини 1 накладним стружколомом 3.

Конструкція досить проста, але має ту перевагу, що накладний стружколом можна переміщувати, регулюючи тим самим відстань від нього до різальної кромки. Це дає можливість підбирати таке його положення при якому подрібнення стружки буде відбуватись гарантовано.

Конструкція за рис.5.19,б теж має накладний стружколом, але закріплення різального елемента здійснюється не гвинтом, циліндричною пружиною.

Така конструкція має ту перевагу, що для зміни різального елемента немає потреби нічого відкручувати. Але надійність такого кріплення не дуже висока. Тому така конструкція використовується у випадку не значних зусиль різання.

Конструкція за рис.5.19,в не має ніякого стружколому, тому подрібнення стружки здійснюється виключно за рахунок геометричних параметрів різального леза та режимів різання.

У той же час змінна пластина 5 надійно притискається клином 6. Тому всі зусилля різання передаються на оправку саме через клин 6. Таку конструкцію доцільно використовувати під час чорнової обробки із значними глибинами різання (сходу стружки нічого не перешкоджає).

Конструкції за рис.5.19,г демонструють застосування оправки одного і того ж принципу для отримання різців з різними кутами у плані та з різними за формою пластинами.

5.5 Перспективи різців

Велике поширення різців з багатограними пластинами пов'язане з їх перевагами:

- міцність леза, неушкодженого нападаванням;
- довговічність корпусу (державки) різця;
- економія матеріалу державки і витрат на її виготовлення;

- відсутність витрат на переточування різців;
- наявність на пластині елементів примусового подрібнення утвореної стружки;

Для кріплення багатограних пластини до державки різця існують численні конструкції. Вдосконалення токарських різців іде за рахунок застосування пластин твердого сплаву нової конструкції та хімічного складу [4, 5, 6, 7]. На рис.5.20 наведено токарні різці.

Сучасний різальний інструмент за матеріалами, що використовуються при виробництві, можна розділити на чотири основні групи. Це інструмент із швидкорізальної сталі, твердосплавний інструмент, різальна кераміка та надтверді полікристалічні синтетичні інструментальні матеріали.

У цьому експлуатаційні властивості матеріалів всіх цих груп повністю залежить від якісного і кількісного хімічного складу інструмента. Тут можна виділити три основні вектори розвитку.

Міцність-пластичність

Розробка нових матеріалів з одночасно високими комплексом властивостей “міцність – пластичність”. Як відомо, характеристики пластичності (міцність при згинанні, ударна в’язкість) знаходяться у зворотній залежності від характеристик міцності. Тобто чим більша межа міцності, твердість (відповідно зносостійкість), тим менша ударна в’язкість і пластичність.

На сьогоднішній день виробники інструмента не знайшли ідеального хімічного складу, який мав би твердість кубічного нітриду бору (КНБ), пластичність швидкорізальної сталі типу Р6М5 і дешевизну вуглецевої сталі У10. Тому в сучасному виробництві використовується велика кількість інструментальних матеріалів призначених для певних умов роботи.

Оптимізація інструмента

Цей напрямок ґрунтується на збільшенні ступеня відтворюваності процесів та якості інструмента, а також на посиленні нормативної документації на хімічний склад, властивості та структуру матеріалів.

Доцільно існування в межах однієї марки матеріалу, можливих варіацій хімічного складу інструменту може бути величезна кількість. В результаті може змінюватися теплостійкість, швидкість зношування, схильність до утворення та розвитку тріщини і т. д. Така анізотропія

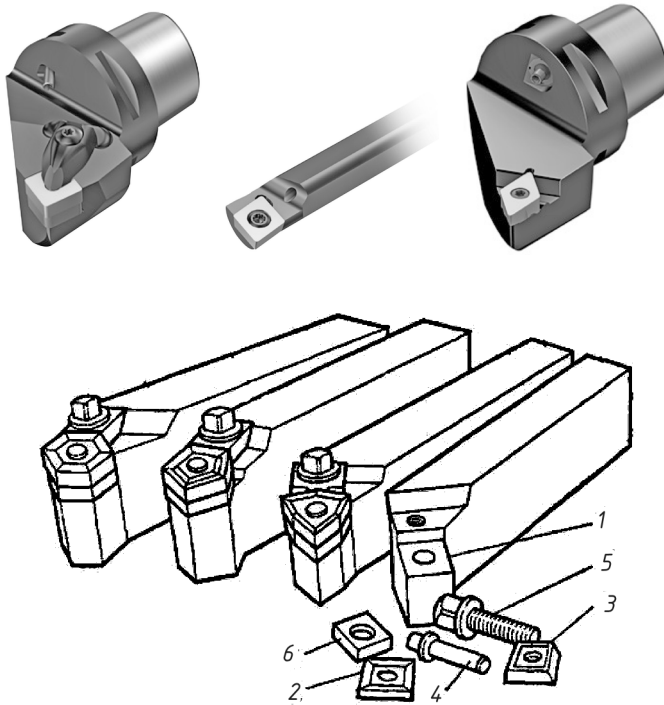


Рис. 5.20. Складені токарські різці

- 1 – місце під пластину;
 2 та 3 – різні змінні пластини;
 4 – штифт на якому закріплено пластину;
 5 – гвинт що кріпить пластину;
 6 – підкладка під пластину.

властивостей не критична, тому що має мізерні відхилення від усереднених значень необхідних властивостей, але все ж таки необхідно прагнути знаходити один оптимальний хімічний склад інструментального матеріалу та посилювати вимоги нормативної документації під ці значення.

Це дозволить знизити дисперсію показників якості в межах однієї марки матеріалу та виробляти інструмент з відхиленнями $\pm 0,5$ HRC за механічними властивостями та $\pm 0,1$ нм за розміром структурних складових.

Більшою мірою, посилення вимог за властивостями, формою та розміром структури позитивно позначиться на стійкості твердих сплавів, тому що ці фактори є лімітуючими при формуванні їх механічних та експлуатаційних властивостей.

Нові покриття

Як правило, різальний інструмент рідко експлуатується без покриття, яке суттєво знижує температурне навантаження, ймовірність “схоплювання” з матеріалом, що обробляється, збільшує зносостійкість і поверхневу твердість. На сьогоднішній день, як такі покриття, широко використовуються газове і плазмове азотування, фізико-хімічні способи нанесення нітридів і карбонітридів титану, алюмінію та ін.

Розробка нових способів покриття інструмента, як і розробка нових інструментальних матеріалів, вимагає великих капіталовкладень. Рушійною силою досліджень та нових наукових розробок є висока конкуренція на світовому ринку та бажання зробити виріб з нижчою собівартістю та вищим комплексом тих самих властивостей “міцність — пластичність”. Тому постійно з’являються нові інструментальні сплави, нові конструкції інструмента та нові технології поверхневого хіміко-термічного зміцнення.

Запитання для самоконтролю

1. На верстатах якого типу застосовують токарні різці?
2. Що таке різальна та робоча частини токарного різця?
3. Які існують різновиди точіння?
4. З якою метою на відрізнному токарному різці застосовують фаску на бічній стороні різальної кромки?
5. Вкажіть основні перспективи розвитку токарного інструменту.
6. Методи подрібнення стружки в сучасному виробництві?
7. Чому під час розточування отворів необхідно зменшувати розрахункову величину швидкості різання?
8. Охарактеризуйте різні форми передньої поверхні інструменту.
9. З якою метою на передній поверхні токарного різця роблять канавку?
10. Опишіть форму передньої поверхні багатогранної пластини.
11. Наведіть основну класифікацію токарних різців.
12. Вкажіть розташування основної поверхні для токарного різця.
13. Основні елементи складеного складеного різця?
14. Яке основне призначення фасонного токарного різця?
15. Які форми може мати державка токарного різця?
16. Які розміри змінної багатогранної пластини підлягають нормуванню?
17. Охарактеризуйте форму передньої поверхні змінних різальних елементів.
18. Яке призначення має накладний стружколом?
19. Який результат має подача охолоджувальної рідини в зону різання під високим тиском?
20. Охарактеризуйте основні напрями перспективного розвитку токарних різців.

Посилання

1. Молодкин В.П. Справочник молодого токаря / В.П. Молодкин. Москва : “Московский рабочий”, 2007. – 260 с.
2. Оглоблин А.Н. Справочник токаря / А.Н. Оглоблин. Москва: Машиностроение, 2001, – 510 с.
3. Ящерицин П.И. Основы проектирования режущих инструментов с применением ЗВМ / П.И. Ящерицин, Б.И. Жигалко. - Минск: Высш. шк., 1999. – 304 с.
4. Types of Lathe Cutting Tools [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.theengineerspost.com/lathe-cutting-tools/>.
5. TURNING TOOLS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://gesac.com.ua/wp>
6. In metal turning, effect of various parameters on cutting tool [Електронний ресурс] // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/azipq>
7. TURNING TOOLS [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/azipf>

Повне неучтвo – не найбільше
зло. Накопичення погано
засвоєних знань ще гірше.

Платон

6 ФАСОННІ РІЗЦІ

6.1 Призначення та класифікація

Фасонний різець

Це спеціальний інструмент, форма різальних кромок якого визначається формою профілю деталі [1].

Застосовують фасонні різці для обробки фасонних деталей типу тіл обертання на токарних верстатах

Перед звичайними різцями фасонні мають такі переваги :

- висока продуктивність оброблення;
- тривалість експлуатації (велика кількість переточувань);
- не вимагають високої кваліфікації робітника для оброблення фасонних поверхонь.

Фасонні різці широко використовуються у багатосерійному і масовому виробництвах. Фасонні різці можна класифікувати таким чином:

- радіальні:
 - круглі та призматичні;
 - * звичайні;
 - * з нахилоною віссю;
 - * з подвійним нахилом передньої поверхні²¹.
- тангенціальні призматичні.

Окрім цих основних конструкцій, ще існують фасонні різці з циліндричною гвинтовою поверхнею, з конічною гвинтовою, торцеві та інші. Але в машинобудування найпоширенішими є саме такі, що були перелічені (рис.6.1).

²¹Інша назва цих різців – різці з базовою ділянкою.

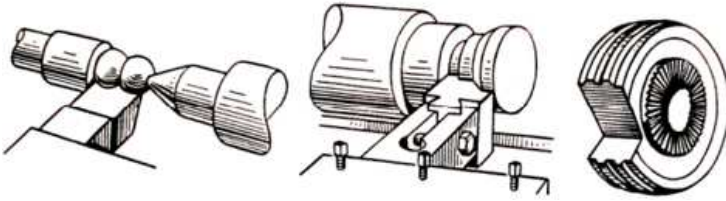


Рис. 6.1. Фасонні токарні різці

Круглі звичайні фасонні різці

Ці різці застосовують для оброблення “звичайних” фасонних поверхонь обертання. Форма оброблюваної деталі має не дуже складний профіль. Як привали, це комбінація канавок та конусних поверхонь, які мають незначний перепад діаметрів 3...7 мм. Вісі деталі та різця паралельні між собою.

Круглі фасонні різці з нахилоною віссю

Ці різці застосовують при обробленні деталей що мають уступи або значний перепад діаметрів 7...15 мм. Основна і єдина перевага цих різців перед звичайними – вони забезпечують додатні задні кути на всіх ділянках кромки різця. Назва різців обумовлена тим що вісь різця розташована під кутом до осі деталі (нахилена).

Різці з подвійним нахилом передньої поверхні призначені виключно для оброблення деталей, які мають конічну поверхню.

Недоліком всіх вище згаданих різців є те що вони не можуть утворити точну конічну поверхню²². На відміну від них, різці з подвійним нахилом передньої поверхні можуть утворити точну конічну поверхню.

Тангенціальні фасонні різці

Тангенціальні фасонні різці призначені для оброблення фасонних деталей значної довжини, із співвідношенням діаметр/довжина до значення 1/12. Усі інші фасонні різці можуть обробити деталі що має довжину трохи більшу ніж її діаметр.

²²Можуть. Але для цього потрібна досить складна технологія їх виготовлення, що не економічно.

6.2 Геометрія фасонних різців

6.2.1 Радіальні різці

Передній кут фасонного різця вибирається залежно від оброблюваного матеріалу в межах від $8...25^\circ$. Чим менше твердість оброблюваного матеріалу, тим більший передній кут.

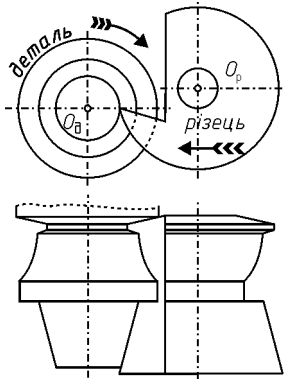


Рис. 6.2. Круглий фасонний різець

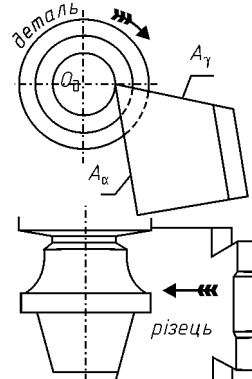


Рис. 6.3. Призматичний фасонний різець

Передній кут радіального фасонного різця забезпечують за рахунок відповідного заточування передньої поверхні у процесі його виготовлення.

Геометрія радіальних різців має деякі особливості що значно відрізняють їх від звичайних токарних різців.

Особливістю круглих (рис.6.4,а) фасонних різців є те, що задній кут в процесі різання утворюється за рахунок спеціальної установки на верстаті. Різець (його вісь, адже він круглий) встановлена вище осі деталі на відповідну величину h .

Особливістю призматичного (рис.6.4,б) різця є те що, як передній γ так і задній α кути отримують за рахунок нахилу різця на верстаті, на величину заднього кута. Тобто призматичний різець сам по собі ніякого заднього кута не має. Цей кут утворюється тільки за рахунок повороту різця.

Задній кут залежить від форми фасонного різця і його типу. Збільшення заднього кута може привести до послаблення різальної кромки, що найнебезпечніше для круглого різця. Тому задній кут

для круглих різців вибирається в межах $10...15^\circ$, а для призматичних в межах $12...17^\circ$.

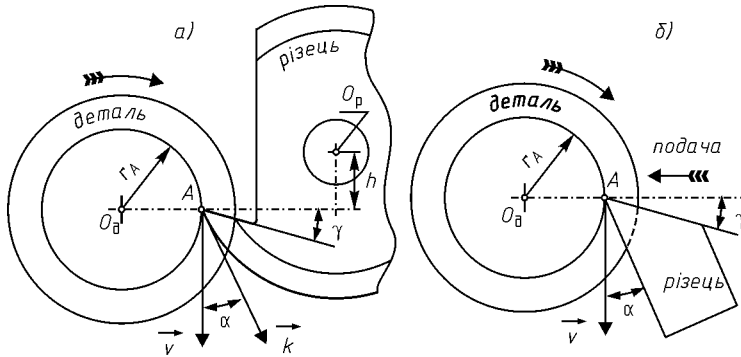


Рис. 6.4. Геометричні параметри радіальних різців

Вказані значення переднього і заднього кутів відносяться тільки до, так званої, базової точки. Базова точка A , це точка профілю деталі для якої призначають геометричні параметри. У всіх інших точках кромки різця геометричні параметри будуть іншими²³.

6.2.2 Тангенціальні різці

У тангенціальних різців (рис.6.5) все навпаки ніж у всіх інших:

- деталь обертається в протилежному напрямку ніж зазвичай;
- передні кути розташовані знизу різця;
- задні кути розташовані зверху різця;
- у процесі роботи різці його геометричні параметри (кути різання) змінюються у межах $\pm 20...30^\circ$.

Передній кут тангенціального різця приймають найбільшим із рекомендованих. У процесі роботи різця (врізанні в

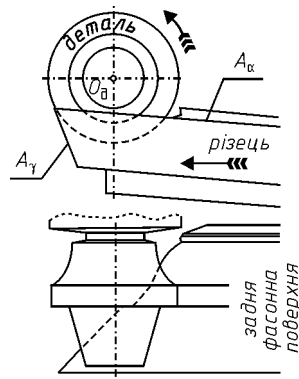


Рис. 6.5. Тангенціальний фасонний різець

²³Як правило, ця різниця не перевищує кількох градусів. Вона тим більша, чим більша глибина профілю деталі.

деталь) – передній кут буде значно збільшуватись і в кінці процесу оброблення деталі прийме найбільше зайчення (на $20...30^\circ$ більше ніж на початку роботи різця).

Задній кут для тангенціального різця, навпаки, приймають найменшим із можливих, зазвичай $2,5...3^\circ$. У початковий момент візання різця в деталі він буде на $20...30^\circ$ більше ніж прийнятий.

6.3 Конструктивні елементи

Різні типи фасонних різців мають різні основні параметри що викликано різними умовами роботи та різними значеннями кутових величин.

Однак, кожен тип має свої спільні ознаки та параметри серед яких найбільш загальними є конструктивні параметри, наприклад способи кріплення інструмента на верстаті.

Призматичні різці (радіальні та тангенціальні) мають такі основні параметри за рис. 6.6:

- ширина різця;
- товщина різці;
- висота різця;
- вузол кріплення – зазвичай це “ластівчаний” хвіст.

Круглі фасонні різці мають такі основні параметри за рис. 6.7:

- діаметр різця;
- товщина різця;
- діаметр отвору під оправку;
- вузол кріплення – це кругла оправка на якій закріплено різець.

Усі конструктивні елементи фасонних різців, за винятком елементів профілю, вибирають конструктивно з довідкових матеріалів залежно від максимальної висоти фасонного профілю деталі [1, 2].

У той же час профіль фасонного різця не збігається з профілем деталі і тому потребує окремого визначення.

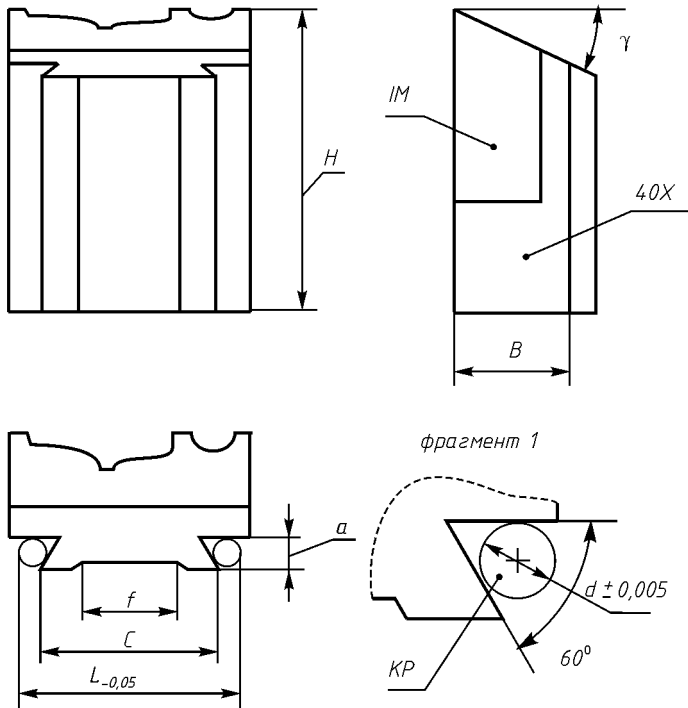


Рис. 6.6. Конструктивні параметри призматичних різців

- H – загальна висота різця;
- B – товщина різця;
- a – висота ластівчаного хвосту;
- IM – інструментальний матеріал;
- L – ширина різця (залежить від довжини деталі);
- C – ширина ластівчаного хвосту;
- KP – контрольний ролик.

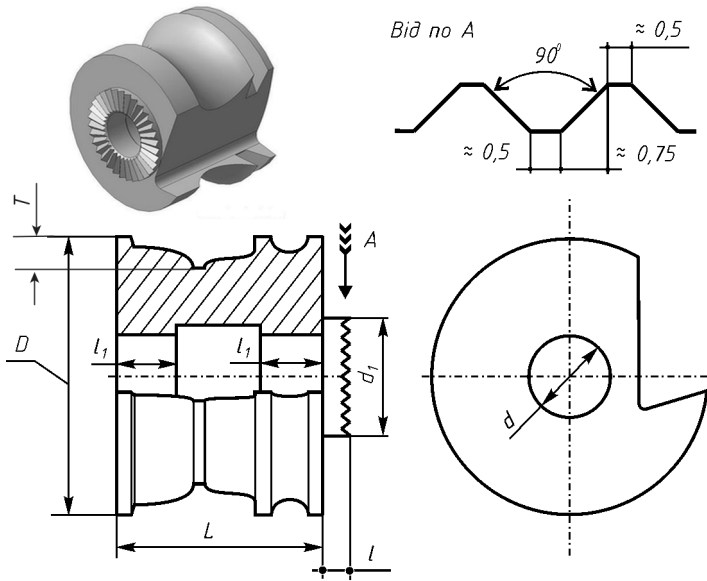


Рис. 6.7. Конструктивні параметри круглих різців

- D – зовнішній діаметр різця;
- L – ширина різця (залежить від довжини деталі);
- l – висота бортику;
- d – діаметр посадкового отвору;
- d_1 – діаметр фіксатора;
- l_1 – довжина посадкових поверхонь;
- T – найбільша глибина профілю деталі.

6.4 Проектування фасонних різців

6.4.1 Круглі фасонні різці

1. Найбільший (зовнішній) радіус R_o круглого фасонного різця визначають як

$$R_o = 1,75d_1 + T + (3 \dots 6), \quad (6.1)$$

де d_1 – діаметр круглої оправки на яку встановлено круглий різець, мм;

T – найбільша глибина профілю деталі, мм.

Треба враховувати, що при обробленні фасонних отворів діаметр D різця не повинна перевищувати 0,75 від діаметру отвору деталі.

2. Найбільша ширина B круглого фасонного різця залежить від діаметру $d_{\text{дет}}$ деталі і не може перевищувати допустимих значень

$d_{\text{дет}}, \text{ мм}$	3...4,5	4,5...7	7...10	10...15	15...22	22...32
$B, \text{ мм}$	3,5	6,0	10,0	18,0	32,0	55,0

3. Задній кут α приймають у межах 10...12°.

4. Передній кут γ залежить від матеріалу деталі

Деталь	Алюміній	Сталь м'яка	Сталь тверда	Чавун
γ°	25...30	20	15	5...10

5. Перевірка величини заднього кута α_x у довільній точці різальної кромки різця²⁴

$$\text{tg } \alpha_x = \text{tg } \alpha \cos \varphi_x, \quad (6.2)$$

де α – прийнята величина заднього кута;

φ_x – кут між дотичною до профілю деталі та її віссю .

Задній кут α_x визначений за наведеною формулою не повинен бути меншим за 3°. У протилежному випадку, різець буде непрацездатний.

6. Визначення профілю (профілювання інструмента) круглого фасонного різця можливо здійснити за розрахунковою схемою наведеною на рис. 6.8

²⁴Перевірку виконують до початку профілювання різця. Це дозволить, в разі негативного результату, уникнути зайвих розрахунків та витрат часу.

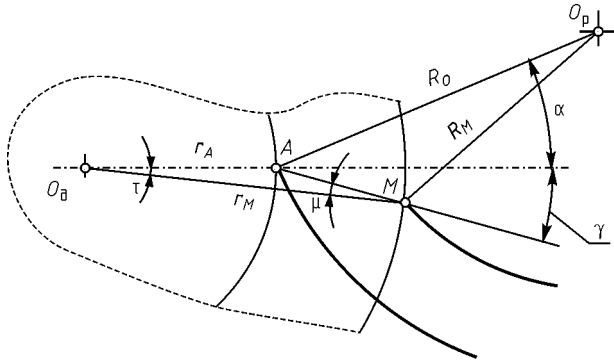


Рис. 6.8. Визначення профілю круглого фасонного різця

6.1. Спочатку з трикутника O_dAM за теоремою синусів визначають відрізок AM .

$$\frac{\sin \mu}{r_A} = \frac{\sin (\pi - \gamma)}{r_M} \Rightarrow \text{звідки} \quad \mu = ?$$

$$\tau = \pi - \mu - (\pi - \gamma), \quad (6.3)$$

$$\frac{\sin \tau}{AM} = \frac{\sin (\pi - \gamma)}{r_M} \Rightarrow \text{звідки} \quad \overline{AM} = ?$$

6.2. Потім з трикутника AMO_P за теоремою косинусів визначають радіус R_M , який і є радіусом різця в точці профілювання

$$R_M = \sqrt{R_o^2 + t^2 - 2R_o t \cos (\alpha + \gamma)}, \quad (6.4)$$

$$t = \overline{AM}.$$

6.4.2 Призматичний різець

1. Допустима ширина B фасонного профілю призматичного різця залежить від діаметру $d_{\text{дет}}$ деталі

$d_{\text{дет}}, \text{ мм}$	3...4,5	4,5...7	7...10	10...15	15...22	22...32
$B, \text{ мм}$	3,5	6,0	10,0	18,0	32,0	55,0

2. Товщина A різця може бути визначена за формулою

$$A = T + c + a \quad (6.5)$$

- де T – найбільша глибина профілю деталі, мм;
 c – товщина тіла різця, яка може становити від 0,25 до 0,5 від ширини B різця, мм;
 a – висота ластівчаного хвостовика, що служить для закріплення різця на верстаті.

Висота a ластівчаного хвостовика залежить від ширини B різця

B , мм	10...14	14...20	20...28	28...40	40...56
a , мм	2	3	4	6	8

3. Визначення профілю (профілювання інструмента) призматичного фасонного різця можливо здійснити за розрахунковою схемою наведеною на рис. 6.9

3.1. Спочатку з трикутника O_dAM за теоремою синусів визначають відрізок AM (математичні залежності 6.3).

3.2. Потім визначаємо глибину профілю t_p призматичного різця, як проекцію відрізка AM як проекцію на напрям нормальний до задньої поверхні в точці профілювання

$$t_p = \overline{AM} \cos (\alpha + \gamma) . \quad (6.6)$$

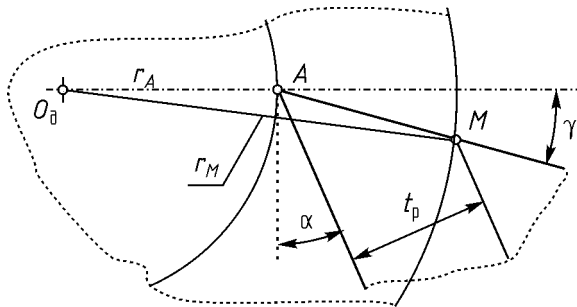


Рис. 6.9. Визначення профілю призматичного фасонного різця

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягає різниця між радіальними та тангенціальними фасонними різцями?
2. За яким принципом працюють радіальні фасонні різці?
3. За яким принципом працюють тангенціальні фасонні різці?
4. Перелічить типи фасонних різців.
5. Типи радіальних фасонних різців?
6. Типи призматичних фасонних різців?
7. Форма задньої поверхні круглого радіального фасонного різця?
8. Форма передньої поверхні фасонних токарних різців?
9. Чим відрізняються радіальні різці від тангенціальних?
10. Конструктивні елементи призматичного різця?
11. Конструктивні елементи круглого різця?
12. Конструктивні елементи тангенціального різця?
13. Методи профілювання фасонних інструментів?
14. Покажіть передній кут на радіальному та тангенціальному фасонному різці.
15. Покажіть задній кут різання на радіальному та тангенціальному різцях.
16. Яке призначення має ластівковий хвіст токарного різця?
17. Як контролюють розміри та положення ластівкового хвостовика призматичного фасонного різця?
18. Чому профіль деталі не збігається з профілем різальної кромки?
19. Опишіть методику профілювання круглого фасонного різця.
20. Опишіть послідовність визначення профілю різальної кромки призматичного фасонного різця.

Посилання

1. Грановский И. И. Фасонные резцы / И. И. Грановский, К. П. Панченко. – М: Машиностроение, 1975. – 309 с.
2. Справочник инструментальщика конструктора / [В. И. Климов, А. С. Лернер, М. Д. Пекарский и др.]. – Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1958. – 608 с.

Найгірше те, що хто з молоду
погано навчений, той до старості в
цьому не зізнається.

Петроній

7 ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ

Для оброблення отворів використовуються різні види інструментів [3, 4, 5]. Найбільш поширеними є:

- свердла;
- зенкери;
- і розвертки.

Свердло

Осьовий різальний інструмент (рис.7.1) для утворення отворів у суцільному матеріалі заготовки та/або збільшення діаметру наявного отвору.

Свердління є одним із найпоширеніших методів отримання отвору різанням. Різальним інструментом тут служить свердло, яке дає можливість одержувати отвори як у суцільному матеріалі, так і збільшувати діаметр просвердленого отвору (розсвердлювання).

Головний рух при свердлінні – обертальний, рух подачі – поступальний. На звичайних свердлильних верстатах обидва ці рухи має свердло: воно обертається, будучи закріпленим у шпинделі верстата, і одночасно переміщається в глибину заготовки, що обробляється, яка нерухомо закріплена на столі верстата.

При свердлінні на токарному верстаті обертання матиме заготовка, закріплена в патроні верстата, а свердло,

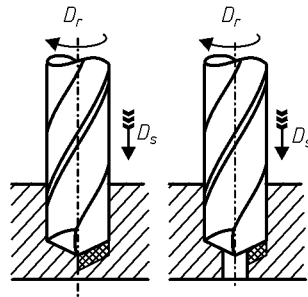


Рис. 7.1. Свердління

закріплене в пінолі задньої бабки, отримує рівномірний поступальний рух (від руки оператора).

Практика показує, що коли заготовка обертається, а свердло переміщується, точність обробленого отвору виходить вище. Тому при свердлінні глибоких отворів на спеціальних верстатах для глибокого свердління, свердло має лише поступальний рух, а заготовка – обертальний

Використовують свердла для отримання як наскрізних, так і глухих отворів. В процесі роботи свердло здійснює два рухи: обертальний (головний рух) D_r і поступальний (рух подачі) D_s . Для отримання отворів в суцільному матеріалі найбільшого поширення отримали спіральні свердла.

Зенкери

Застосовують для подальшої обробки отворів після свердління (рис.7.2) з метою отримання вищої точності і чистоти або наданні отвору спеціальної форми (конічної, ступеневої).

Розвертки

Застосовують для фінішного оброблення отворів (рис.7.3) у тих випадках коли внутрішнє шліфування є не технологічним і встановити деталь на верстат складно (наприклад корпусна деталь).

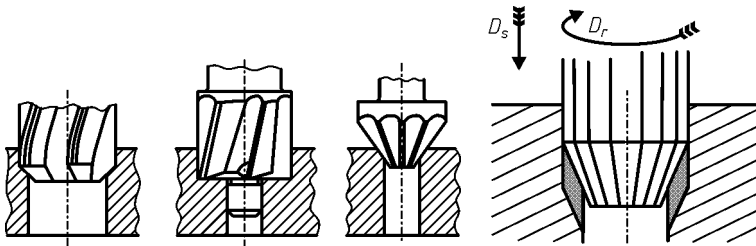


Рис. 7.2. Зенкерування

Рис. 7.3. Розвертування

Треба мати на увазі, що на поданих рисунках зображена тільки основні (стандартизовані) типи кожного інструменту. Історія виникнення кожного з цих інструментів досить цікава.

Свердло, яке є найбільш поширеним у сучасному машинобудуванні і яке називають стандартним спіральним свердлом, було винайдено в Америці. Застосовували його під час виготовлення зброї.

Розвертку винайшли десь у середні віки. Її застосовували для розвертування рушничних столів.

Одночасно розвертка з'явилась при виготовленні годинників – з її допомогою підганяло розмір отворів під розмір камінців, котрими рясно оздоблювали годинник. Називали її – калізвар (не плутати з узваром).

7.1 Свердла

Основним інструментом для утворення отворів є свердло. Ще в палеоліті і, особливо, в неоліті зародилася і розвинулася техніка свердління за допомогою дерев'яних або кам'яних свердел. Спочатку отвори просто вискоблювали.

Потім додумалися кам'яне свердло прив'язати до держака і тоді його можна було обертати двома руками, затиснувши держак між долонями.

Потім з'явилася ідея обмотати тятиву лука навколо держака і рухати лук від себе і до себе, а іншою рукою притримувати держак згори і притискати його до оброблюваної деталі, тобто створювати осьове зусилля (рис.7.4). Таке лучкове свердління виявилось майже в 20 разів більш продуктивне ніж ручне.

Свердління за допомогою дерев'яних стержнів або трубчастих кісток відбувалось з обов'язковим підсиленням абразивного піску, наприклад кварцового. Це стало великим кроком вперед, оскільки при цьому досягалася економія сил і підвищувалася продуктивність праці.

Цікавий метод “свердлування” зовсім нещодавно знайшли на островах Меланезії, де первісні племена спочатку нагрівали камінь, а потім в одно і теж саме місце час від часу опускали краплі холодної води, викликаючи тим самим мікроскопічні сколи, які в результаті багатократного повторення призводили до утворення поглиблення і навіть отвору.

Ще більшим проривом у розвитку свердління було створення свердлувального “верстату” (рис.7.5).

При застосуванні трубчастих кісток 70 % матеріалу в зоні отвору не руйнувалася, а залишалася у вигляді кам'яних стовпчиків. Слід зауважити, що ефективність такого процесу свердління з абразив-

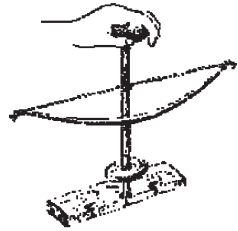


Рис. 7.4. Свердло лучкове

ними частинками і мастилом водою була дуже висока і з успіхом застосовувалася з часів неоліту і у бронзовому столітті, особливо при обробці кам'яних знарядь.

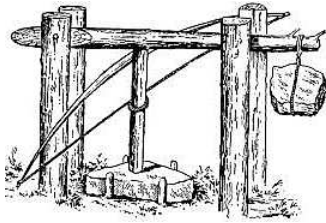


Рис. 7.5. Свердлувальний "верстат"

Технологія отримання свердел була простою. Гвинтові канавки на буравах вибивалися за допомогою молотка і зубила із закругленим лезом. На залізну основу "наварювали" сталеве вістря, яке потім піддавалося загартуванню і заточуванню. Іноді наконечники перових свердел робили багатощаровими таким чином, щоб на вістря виходила сталева пластинка дуже високої твердості.

Металографічний аналіз показує, що сталеве вістря мало підвищений вміст вуглецю, який в сталі досягав 1,2 %. Для цього інструмент покривали салом, обмотували смужками з цапиної шкіри (звичайний козел), потім обмазували глиною і поміщали в ковальський горн і тримали в горні до згорання шкіри.

У XVI ст. з'явився свердлувальний верстат з водяним приводом. У 1713 р. швейцарець Жан Мориц старший створив вертикальний свердлувальний верстат, а дещо пізніше Мориц молодший вдосконалив горизонтальний.

Тільки у 1822 р. з'явилося усім відоме свердло з гвинтовими канавками (рис.7.6). Та конструкція, яку ми називаємо стандартним спіральним свердлом була винайдена в Америці і тому довгий час спіральне свердло називали "американським".

Звичайне спіральне свердло складається з двох зубів, згорнутих по спіралі і утворюють так звану робочу частину. Основну роботу різання здійснює тільки невелика ділянка. Її називають різальною частиною свердла. Це і є розташовані під кутом один до одного головні різальні кромки. Як і належить, вони утворюються при перетині передніх і задніх поверхонь зубів.

У сучасній промисловості операції утворення отворів складають 30 % від всіх операцій оброблення деталі.

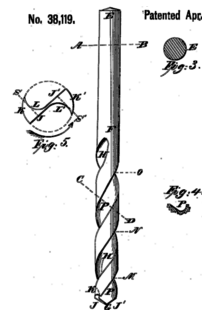


Рис. 7.6. Оригінал патенту на свердло

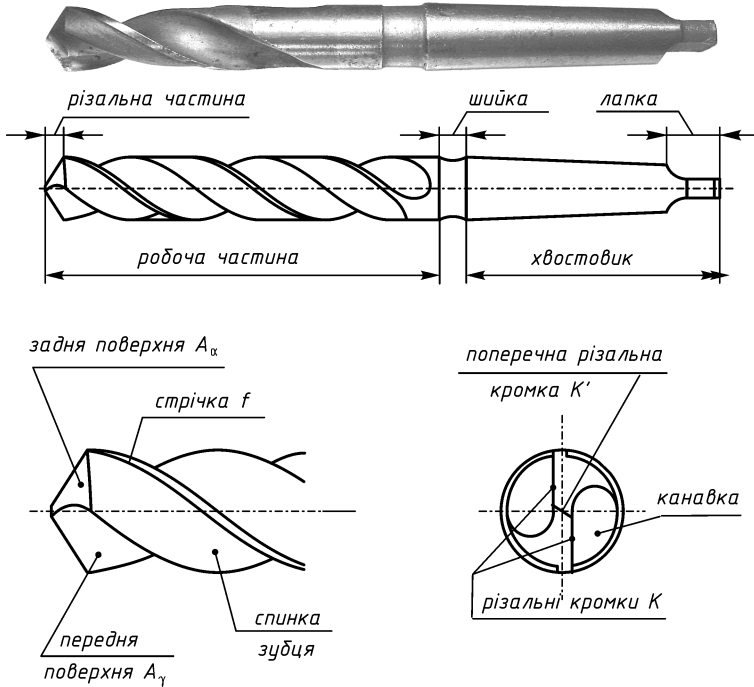


Рис. 7.7. Стандартне спіральне свердло

7.1.1 Конструктивні елементи свердла

Спіральне свердло стандартної конструкції складається з наступних елементів (рис.7.7).

Передні поверхні

Дві передні поверхні, що є гвинтовими поверхнями.

Можна стверджувати, що вони утворені гвинтовим рухом різальних кромки вздовж осі свердла. По цих поверхнях сходять стружка під час роботи свердла.

Задні поверхні

Дві задні поверхні. Їх форма залежить від способу заточування свердла.

Вона може мати форму гвинтової поверхні або площини. В окремих випадках задня поверхня свердла є конічною або фасонною.

Головні різальні кромки

Дві головні різальні кромки, утворені перетином передніх поверхонь (гвинтова поверхня канавок, по яких сходить стружка) і задніх поверхонь (поверхні, звернені до поверхні різання).

За стандартом головні різальні кромки мають бути прямими. Але на практиці зустрічаються конструкції свердел із вигнутими або увігнутими різальними кромками – все залежить від оброблюваного матеріалу.

Поперечна різальна кромка

Поперечна різальна кромка утворена перетином двох задніх поверхонь. Її форма визначається формою задніх поверхонь, які у свою чергу залежать від способу заточування свердла.

У загальному випадку поперечна кромка свердла має форму прямої або опуклої лінії.

Бокова стрічка

Стрічка свердла – порівняно вузька ділянка на його циліндричній (боковій) поверхні, розташована уздовж його гвинтової канавки і примикає до передньої поверхні.

Бокова стрічка забезпечує центрування свердла в оброблюваному отворі при різанні. Її ширина не перевищує 1...2 мм.

Спинка зубця

Це поверхня розташована безпосередньо за стрічкою на боковій циліндричній поверхні свердла.

Спинка зубця має заниження відносно зовнішнього діаметру свердла, яке зроблено для того щоб у процесі роботи свердло не контактувало з вже обробленим отвором (щоб свердло не затирало по бокових поверхнях).

Різальна частина

Різальна частина спірального свердла складається з двох зубів, які в процесі свердління своїми різальними кромками врізаються в матеріал заготовки і зрізують його у вигляді стружки.

Це основна частина свердла. Умови роботи свердла визначаються головним чином конструкцією різальної частини свердла.

Напрямна частина

Напрямна частина свердла потрібна для створення напрямку при роботі інструменту. Тому вона має дві направляючі гвинтові стрічки, які при свердлінні стикаються із стінками обробленого отвору. Частина прямої має допоміжні різальні кромки – кромки стрічки, які беруть участь в оформленні (калібруванні) поверхні обробленого отвору.

Окрім цього прямна частина свердла служить запасом для переточувань інструменту. Вона забезпечує також видалення стружки із зони різання.

Хвостовик

Хвостовик служить для закріплення свердла на верстаті. Він за допомогою циліндричної шийки з'єднується з робочою частиною свердла. Найчастіше робоча частина свердла виготовляється зі швидкорізальної сталі, а хвостовик із сталі 45 або 40Х.

Робоча частина і хвостовик з'єднуються зварюванням. У промисловості використовуються також твердосплавні свердла. Різальна частина цих свердел оснащується пластинками твердого сплаву або твердосплавними коронками. У твердосплавних свердел малого діаметру повністю уся робоча частина може виготовлятися з твердого сплаву певної марки.

7.1.2 Геометричні параметри свердла

Основні геометричні параметри (кути) стандартного свердла представлено на рис.7.8 до яких відносяться:

- γ – передній кут на головній різальній кромці;
- α – задній кут на головній різальній кромці;
- ψ – кут нахилу поперечної кромки.

Робоча частина спірального свердла має складну форму, внаслідок чого кутові параметри є змінними уздовж різальних кромки інструменту. Треба враховувати, що для свердла кути можливо вимірювати у двох площинах:

- у площині, яка перпендикулярна до різальної кромки²⁵, зазвичай їх позначення має індекс N , наприклад α_N або γ_N ;
- у площині, яка паралельно осі інструменту.

На рис.7.9 представлено приклад вимірювання кутів у трьох точках різальної кромки у різних площинах. Площини (перерізи) $A-A$ паралельні осі інструмента, а площини $B-B$ перпендикулярні до різальної кромки. Зверніть увагу, величина кутів у точках 1, 2 та 3 є різною.

Кут нахилу гвинтової канавки ω

Це кут між віссю свердла і дотичною до гвинтової лінії, розташованої на зовнішньому діаметрі свердла.

Цей кут, залежно від діаметра свердла, робиться $18 \dots 32^\circ$. Найменше значення кута відповідає меншим діаметрам свердел, оскільки зі збільшенням кута ω зменшується кут загострення і жорсткість свердла, що особливо важливо для свердел малих діаметрів. При обробці легких сплавів, коли сили різання невеликі, кут нахилу гвинтової канавки інколи збільшують до 45° .

В середньому цей кут дорівнює 30° для стандартних свердел. Кут ω вимірюють тільки на зовнішньому діаметрі свердла.

Взагалі кут ω нахилу гвинтової канавки залежить від діаметру, на якому виконують вимірювання. Для кожної точки кромки свердла кут ω різний. Детальний розподіл геометричних параметрів свердла у статичній системі координат наведено у ДСТУ 2294-93.

Кут при вершині свердла 2ϕ

У свердла задають не головний кут в плані, а подвійний 2ϕ , який утворений головними різальними кромками свердла.

У стандартного свердла кут 2ϕ для свердління сталей середньої твердості рівний $116 \dots 118^\circ$.

²⁵На рис.7.8 зображені саме ці параметри хоч вони і не мають індексу N

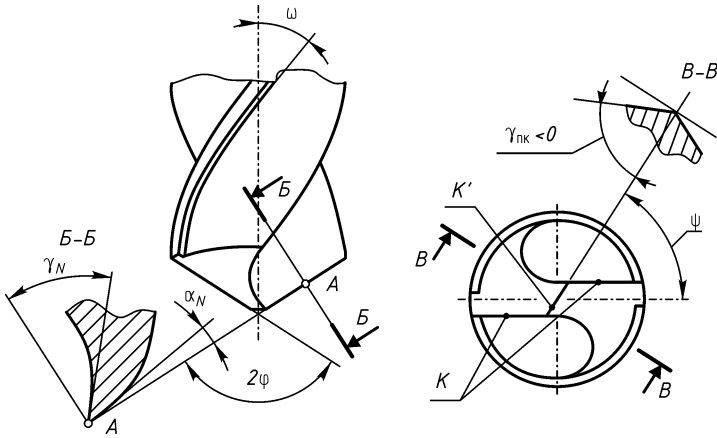


Рис. 7.8. Геометричні параметри свердла

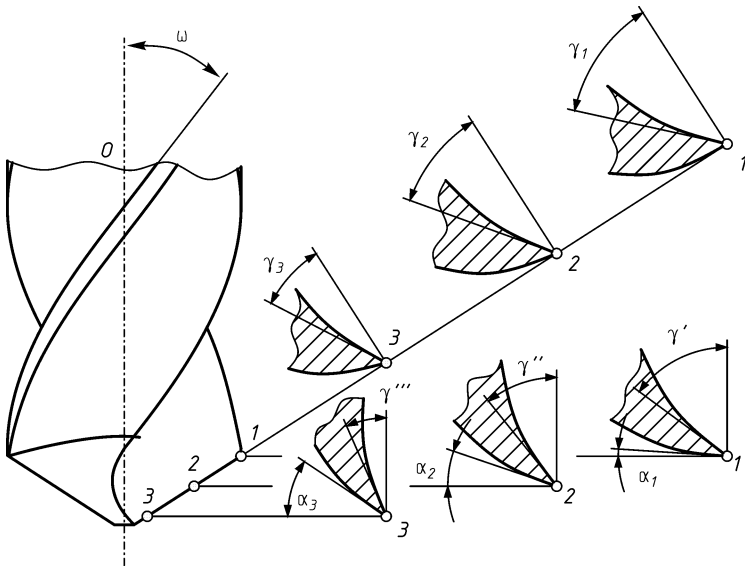


Рис. 7.9. Кути вздовж кромки

Кут нахилу поперечної кромки ψ

Визначає нахил поперечної кромки K' відносно головної різальної кромки K .

Кут ψ вимірюють в площині перпендикулярній осі свердла. Для стандартного свердла діаметром до 15 мм кут ψ дорівнює 50° . Для свердел діаметром 15...80 мм кут нахилу поперечної кромки ψ становить 55° .

Передній кут

Як і різець, свердло має передній та задній кути. Передній кут заточування γ , це кут між дотичної до передньої поверхні, в точці різальної кромки що розглядається, і нормаллю в тій же точці до поверхні обертання різальної кромки навколо осі свердла. Передній кут розглядається в площині, перпендикулярній до різальної кромки (рис.7.8).

У кожній точці різальної кромки передній кут є змінною величиною. Він може бути визначений (без урахування ширини перемички) за формулою

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{r \operatorname{tg} \omega}{R \sin \varphi}, \quad (7.1)$$

де r – радіус кола, на якому розташована розглянута точка;

R – радіус свердла;

ω – кут нахилу гвинтової (стружкової) канавки;

φ – половина кут при вершині свердла.

У стандартного свердла передній кут γ має змінну величину уздовж різальної кромки, що добре видно на рис.7.9. Тому, якщо немає спеціальних вказівок, його вимірюють в площині дотичній до зовнішнього діаметру свердла. Це саме та величина, яку вказують в технічній документації. В цьому випадку передній кут γ еквівалентний куту нахилу гвинтової канавки ω .

Найбільше значення передній кут γ має на периферії свердла, де в площині, паралельній осі свердла (рис.7.9), він дорівнює куту нахилу гвинтової канавки ω .

Найменше значення передній кут має біля вершини свердла. У поперечної кромки він має негативне значення, що створює кут різання більше 90° , а отже, і важкі умови роботи. Така різка зміна

переднього кута вздовж усієї довжини різальної кромки є великим недоліком свердла, так як це викликає складніші умови утворення стружки. Великий передній кут зменшує кут загострення, що призводить до більш швидкого нагрівання цієї частини свердла, а отже, і до найбільшого зносу.

Для стандартного свердла без спеціальної зміни різальної частини величина кута ω змінна вздовж різальної кромки. Отже, і величина переднього кута γ – теж буде змінною уздовж кромки. У міру наближення до серцевини свердла передній кут γ зменшуватиметься. Вимірювання переднього кута γ_N в площині перпендикулярній до різальної кромки ускладнено тим, що передня поверхня не плоска, а гвинтова, що потребує спеціального обладнання.

Передній кут γ для різних точок кромки можна розрахувати за формулою:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{H}{2\pi r}, \quad (7.2)$$

де H – осьовий крок гвинтової канавки свердла;

r – радіус, на якому розташована контрольована точка.

Задній кут

Задній кут α вимірюють в площині перпендикулярній до різальної кромки (його позначають як α_N). Величина заднього кута залежить від способу заточування свердла і, в загальному випадку, змінюється уздовж кромки²⁶. Тому його вимірювання виконують мінімум в трьох точках, рівномірно розташованих уздовж кромки.

У технічній документації вказують дещо інше значення заднього кута для зовнішньої точки кромки. Його визначають як кут α між дотичною до задньої поверхні в точці різальної кромки і дотичною в тій же точці до кола її обертання навколо осі свердла.

Цей кут розглядають у площині, спрямованій по дотичній до циліндричної поверхні, на якій лежить точка різальної кромки. Вісь такої циліндричної поверхні збігається з віссю свердла.

Для точки, що знаходиться на периферії свердла, задній кут α_N у площині нормальній до різальної кромки може бути визначений за такою формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi$$

²⁶Цих способів, тільки основних – п'ять. А варіантів ... ще більше ...

Ми бачили, що передній кут не є постійним вздовж усієї довжини різальної кромки. Тому, щоб мати більш-менш однаковий кут загострення зуба вздовж усієї довжини різальної кромки, задній кут також має бути змінним: на периферії він менший ($8 \dots 14^\circ$), а у серцевини більший ($20 \dots 27^\circ$).

Змінним значення заднього кута виконують і тому, що його дійсне значення під час роботи інше по відношенню до того кута, який ми отримали при заточуванні і виміряли в статичному стані. Це пояснюється тим, що свердло під час роботи як обертається, а й переміщується вздовж осі. Траєкторією руху точки буде не коло (як це приймають при вимірі кута), а деяка гвинтова лінія, крок якої дорівнює подачі свердла в міліметрах за один оберт.

Таким чином, поверхня різання, утворена всією різальною кромкою, є гвинтовою поверхнею, дотична до якої і буде дійсною площиною різання. Справжній задній кут у процесі різання $\alpha_{\text{різ}}$ визначений між цією площиною та площиною, що є дотичною до задньої поверхні свердла. Він менший за кут, виміряний у статичному стані, на деяку величину μ :

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{різ}} &= \alpha - \mu, \\ \text{tg } \mu &= \frac{s}{\pi D}. \end{aligned} \quad (7.3)$$

Чим менший діаметр D кола, на якому знаходиться розглянута точка різальної кромки, і чим більше подача s , тим більше кут μ і менше дійсний задній кут $\alpha_{\text{різ}}$. Тому щоб забезпечити достатню величину заднього кута в процесі різання біля точок різальної кромки, близько розташованих до осі свердла, задній кут заточування виконують більшим ніж біля серцевини.

Дійсний передній кут у процесі різання $\gamma_{\text{різ}}$ відповідно буде більше кута γ , виміряного після заточування в статичному стані:

$$\gamma_{\text{різ}} = \gamma + \mu. \quad (7.4)$$

Геометричні параметри стандартного (ринкового, для невідомого користувача) спірального свердла такі:

- кут при вершині 2φ , залежний від міцності оброблюваного матеріалу (для чавуну і сталі $2\varphi = 118^\circ$);
- кут нахилу гвинтової стружкової канавки²⁷ ω для стандартних свердел 30° ;

²⁷ Для діаметрів свердла у межах 10...80 мм.

- передній кут по довжині головної різальної кромки змінний:
 - максимальний – на периферії (дорівнює куту $\omega = 30^\circ$);
 - мінімальний – біля осі (близький до нуля);
- задній кут на різальній кромці теж змінний²⁸:
 - на периферії свердла приблизно 8° ;
 - ближче до осі свердла приблизно 25° .
- кут нахилу поперечної кромки $\psi = 50...55^\circ$.

Виміряні таким чином кути є інструментальними кутами, оскільки не враховують рухи інструмента в процесі свердління.

В результаті обертального і поступального (подачі) рухів свердла траєкторія різання для кожної точки різальної кромки представляє окрему гвинтову лінію, а усієї кромки – гвинтову поверхню з кроком H рівним подачі свердла.

При роботі свердла виникають похибки оброблення: можлива поява овальності отвору, конусності, викривлення осі. Величина їх залежить від розмірів отвору (діаметр і довжина), від властивостей оброблюваного матеріалу і режимів оброблення. Точність свердління знаходиться в межах 12...14 квалітету. Зазвичай спіральні свердла виготовляються зі швидкорізальної сталі Р6М5.

Разом зі швидкорізальними використовуються твердосплавні свердла, оснащені пластинами твердого сплаву або цілісні. Використовуються вони в основному для свердління чавуну або неметалічних матеріалів (бетон, граніт, пластмаси та ін.).

Під час роботи свердло зношується по двом основним елементам (рис.7.10):

- по головній різальній кромці 1;
- та по боковій стрічці 2.

На рисунку позначено: 3 – передні поверхні свердла; 4 – задня поверхня свердла.

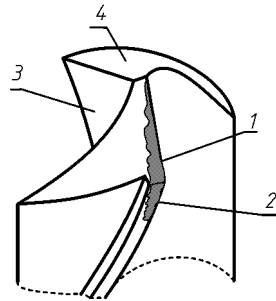


Рис. 7.10. Знос свердла

²⁸ Ще раз – задній кут залежить від способу заточування свердла.

Покращення свердла

З метою полегшення процесу стружкоутворення і підвищення властивостей свердла, що ріжуть, роблять подвійне заточення свердла і підточування перемички і стрічки. Їх форми наведені у табл.7.1

При подвійному заточенні свердла друге заточення утворюють під кутом $2\varphi = 70^\circ$, на ширині $B = 2.5...15$ по задній поверхні. Таке заточення підвищує стійкість свердла, а при одній і тій же стійкості дозволяє збільшити і швидкість різання.

Підточування перемички (серцевини) свердла виконують на довжині 3...15 мм. Від такого підточування зменшуються довжина поперечної кромки і величина кута різання в точках кромки, що ріжуть, розташованих поблизу перемички свердла.

Для зменшення тертя стрічок об оброблену поверхню (об стінки отвору) виконують підточування стрічков під, кутом $6...8^\circ$ на довжині 1,5...4 мм (форма ДПЛ), що приводить до підвищення стійкості свердла.

Звичайна (нормальна) заточення вживається і на свердлах діаметром більш 12 мм у тих випадках, коли те саме свердел застосовується для різних оброблюваних матеріалів при роботі з кірки і зі знятою кіркою, що часто має місце в умовах дрібносерійного виробництва.

7.1.3 Свердла для глибоких отворів

Цими свердлами обробляються отвори, довжина яких в 10 і більше разів більше діаметра (рис.7.11). Особливістю свердління є обертання деталі, свердло має тільки осьовий рух подачі, обробка ведеться на спеціалізованих верстатах. Основне призначення цих інструментів виходить з їх назви.

Загалом свердла для глибоких отворів застосовують під час виготовлення зброї – гарматних та рушничних стволів.

Гарматне свердло застосовують для виготовлення гармат, воно має головну різальну кромку, розташовану перпендикулярно осі свердла і

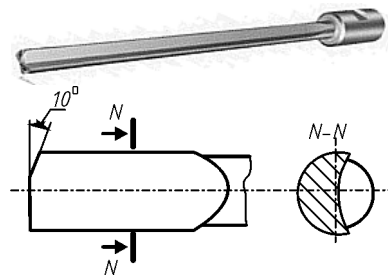
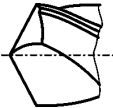
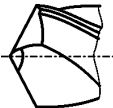
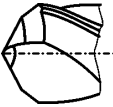
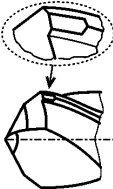
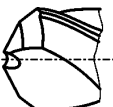


Рис. 7.11. Свердло для глибокого свердління

Табл. 7.1. Форми підточки свердла

Діаметр свердла, мм	Форма заточки	Позначення	Ескіз	Оброблюваний матеріал
від 0,25 до 12	Звичайна (нормальна)	Н		Сталь, сталеве лиття, чавун
від 12 до 80	Звичайна з підточуванням поперечної кромки	НП		Сталеве лиття $\sigma_b \leq 50$
	Подвійна з підточуванням поперечної кромки	ДП		Сталеве лиття $\sigma_b \geq 50$
	Подвійна з підточуванням поперечної кромки та стрічки	ДПЛ		Сталь і сталеве лиття з незначною кіркою
	Подвійна з підточуванням і зрізаною поперечною кромкою (по методу В. І. Жирова)	ДП-2		Чавун зі знятою кіркою

задній кут $10 \dots 15^\circ$. При свердлінні інструмент потрібно періодично виводити з отвору для видалення стружки.

Рушничне свердло є вдосконаленою конструкцією гарматного свердла, в тілі якого є отвір, крізь нього в зону різання під тиском подається рідина і видаляється стружку, тому процес свердління не уривається. Це свердло може забезпечуватися твердосплавним наконечником.

7.1.4 Твердосплавні свердла

Свердла, оснащені пластинками твердих сплавів (рис.7.12), мають високу стійкість, забезпечують більш високу продуктивність, підвищують якість обробленої поверхні і знижують вартість обробки, через що витісняють свердла, виготовлені з швидкокорізальних і вуглецевих сталей [7].

Особливо ефективне застосування свердел із пластинками твердих сплавів при свердлінні та розсвердлюванні чавунів, при розсвердлюванні сталей. Свердла, оснащені пластинками твердих сплавів, діляться на кілька груп, за формою канавок: з косими, прямими, гвинтовими та крутими гвинтовими канавками.

Ці свердла мають передній кут у межах $\gamma = 0 \dots 7^\circ$, задній кут $\alpha = 8 \dots 16^\circ$, кут при вершині $2\varphi = 118 \dots 150^\circ$, бічну фаску шириною $f = 0,5 \dots 1,5$ мм.

При свердлінні незагартованих сталей рекомендується застосовувати твердий сплав марки T15K6 або BK8, при свердлінні загартованих сталей сплав марки T15K6, при обробці чавунів сплав BK8.

Зворотна конусність на довжині твердосплавної пластинки, залежно від діаметра свердла, рекомендується в межах $0,03 \dots 0,15$ мм.

З метою збільшення жорсткості свердел із пластинками твердих сплавів їх корпуси слід виготовляти з легованої сталі (рекомендується сталь 9ХС), що забезпечує після термічної обробки твердість $HRC = 40 \dots 50$ (для свердел з циліндричним хвостовиком на всій довжині корпусу) і твердість $HRC = 56 \dots 62$ (для свердел з конічним хвостовиком на ділянці від початку робочої частини до шийки).

Хвостовик повинен мати твердість $HRC = 30 \dots 45$. З тією ж метою підвищення жорсткості серцевина твердосплавних свердел виконує-

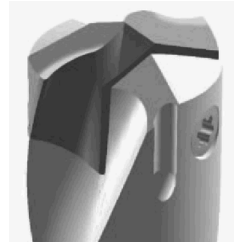


Рис. 7.12. Свердло твердосплавне

ться більшою в порівнянні зі звичайними спіральними свердлами зі швидкорізальної сталі.

Для свердел нормальної довжини з прямими і гвинтовими канавками під кутом нахилу до 20° сердцевина повинна потовщуватися рівномірно у напрямку до хвостовика на 1,4...1,8 мм на 100 мм довжини, а для свердел збільшеної довжини з крутими гвинтовими канавками ($\omega = 60^\circ$) це потовщення становить 2...4,5 мм (залежно від діаметра свердла в межах 6...30 мм). Свердла з крутими гвинтовими канавками доцільно застосовувати при свердлінні глибоких отворів у заготовках з чавуну, оскільки крута спіраль сприяє кращому відведенню сипучої стружки надлому.

Як і для будь-якого іншого інструмента, оснащеного твердим сплавом, для свердел необхідно дотримуватись ряду умов, що сприяють їх успішному застосуванню. Основними умовами є:

- правильний вибір марки твердого сплаву, форми та розміру пластинки;
- правильне призначення геометричних елементів різальної частини свердла;
- правильне і надійне закріплення пластинки в корпусі свердла, який повинен мати достатню жорсткість і міцність;
- високоякісне заточування свердел з обов'язковим їх доведенням;
- застосування змащувально-охолоджувальної рідини;
- своєчасне переточування інструмента.

7.1.5 Кільцеве свердло

Суть кільцевого свердління деталі (рис.7.13) полягає в тому, що по всій довжині деталі як, би прорізується кільцева порожнина. В результаті виходить утворення потрібного діаметру і сердечник залишається цілісним при порівняно великому діаметрі, або ж він ламається при свердлінні, якщо його діаметр невеликий. Сердечник проходить усередині голівки і стебла. Внаслідок цього значно зменшується площа шару, що зрізується, а відповідно і робота різання.

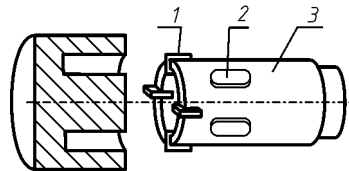


Рис. 7.13. Кільцеве свердло

Кільцеве свердло має такі основні елементи: корпус 3 (сталь 40Х), опори 2 (текстоліт або твердий сплав) та різальні елементи 1 (будь-який інструментальний матеріал). Мастильну охолоджувальну рідину подають під тиском до 5 МПа у внутрішню кільцеву порожнину. Проходячи через зону різання, вона відносить стружку.

7.1.6 Утворення стружки при свердлінні

Свердло – складніший інструмент, ніж різець. Поряд з основними двома різальними кромками воно має поперечну кромку та дві стрічкові кромки, які також беруть участь у процесі різання.

Кути різання вздовж різальних кромок змінні, а поперечна кромка має кут різання більше 90° , що викликає важкі умови роботи.

У більш складних умовах протікає і процес різання свердлом, утруднене відведення стружки і підведення змащувально-охолоджувальної рідини. В процесі різання має місце значне тертя як стружки поверхню канавок свердла, так і самого свердла об оброблену поверхню. Уздовж різальної кромки виникає різкий перепад швидкості різання, так що в окремих точках різальної кромки шар, що зрізується, деформується і зрізується з різною швидкістю.

Різне деформування виходить і у зв'язку зі змінними кутами α та γ вздовж усієї різальної кромки спірального свердла. Тому з наближенням точки різальної кромки до периферії свердла деформування (усадка) стружки зменшується.

Як і при точінні, на температуру різання при свердлінні більше впливає швидкість, ніж подача. Температура різання зростає зі збільшенням глибини (довжини) свердління, але зменшується зі збільшенням діаметра свердла (через посилення тепловідведення внаслідок більшої маси свердла та більшої поверхні контакту із заготовкою, а також внаслідок полегшення підведення змащувально-охолоджуючої рідини та відведення стружки по канавках.).

Як і при точінні, при обробці сталей утворюється зливна стружка (внаслідок відносно невеликих подач), а при обробці чавунів – стружка надлому.

7.1.7 Фактори, що впливають на свердло

Діаметр свердла та подача

Експериментальні дослідження показують, що діаметр свердла більш впливає на збільшення крутного моменту ніж подача. Це

можна пояснити тим, що діаметр свердла змінюється у більшому діапазоні ніж подача.

Чим більший діаметр свердла і величина подачі, тим більше площа поперечного перерізу зрізу, тим більше опір стружкоутворення, тим більше, осьова сила і момент від сил опору різання.

Крім того, якщо подача впливає на осьове зусилля та крутний момент приблизно однаково, то діаметр свердла на момент від сил опору має значно більший вплив, ніж на осьову силу.

Зі збільшенням діаметра свердла (за інших постійних умов) швидкість різання, що допускається свердлом, підвищується. Це пояснюється тим, що при збільшенні діаметра свердла, незважаючи на збільшення площі поперечного перерізу зрізу та збільшення роботи, що витрачається на різання, відведення тепла від поверхонь свердла в його тіло і в заготовку більш інтенсивне.

Підвищення інтенсивності тепловідведення з поверхонь свердла пояснюється більшою масою тіла свердла при збільшенні його діаметра, більшою поверхнею контакту з заготовкою по поверхні різання, а також і великим об'єктам канавок свердла, що полегшує підведення змащувально-охолоджувальної рідини до зони різання.

Поперечна кромка

Вище вказувалося, що поперечна кромка дуже впливає на осьову силу, так як більше 50 % величини загального зусилля різання припадає на поперечну кромку, яка має несприятливі кути різання.

Отже, чим більша довжина поперечної кромки, тим більшим буде момент від сил опору різання і, особливо, осьова сила. Для зменшення навантаження проводиться підточування перемишки, завдяки якій зменшується як довжина поперечного леза, так і кут різання в точках різальної кромки близько розташованих до осі свердла. Осьова сила при такій підточці зменшується на 30...35 % відносно свердла, що не має підточування.

Змащувально-охолоджувальна рідина

Позитивна дія рідини проявляється і при свердлінні, оскільки процес різання при свердлінні супроводжується тими самими явищами, що і при точінні.

Отже, застосування відповідних змащувально-охолоджувальних рідин, і особливо поверхнево активних емульсій, призводить, порів-

няно з обробкою всуху, до зменшення осьової сили (сили подачі) і моменту від сил опору різанню:

- на 10...30 % при обробці сталей;
- на 10...18 % при обробці чавунів;
- на 30...40 % при обробці алюмінієвих сплавів.

Глибина свердління

Зі збільшенням глибини свердління умови різання погіршуються. Відведення стружки і підведення охолоджувальної рідини утруднюються, тепловиділення збільшується, зміцнення зростає.

Все це призводить як до зниження стійкості свердла, так і до підвищення осьової сили та моменту від сил опору різання. Для полегшення різання на великій глибині у свердел роблять стружкорозділювальні канавки, які поділяють стружку, полегшують її відведення, зменшують тепловиділення, осьову силу і момент від сил опору різання.

Зі збільшенням глибини свердління умови роботи свердла стають важчими:

- утруднюється вихід стружки (вона більший час перебуває в контакті зі свердлом і стінками отвору, що супроводжується тертям);
- утруднюється підведення змащувально-охолоджувальної рідини до місця різання;

Все це призводить до більшого нагрівання свердла та до зниження його стійкості (переважно для свердел малих діаметрів).

Тому при свердлінні в сталях отворів глибиною більше 3-х діаметрів швидкість різання необхідно знижувати як при роботі свердлами зі швидкорізальної сталі, так і свердлами, оснащеними твердим сплавом.

Форма різальної частини

Подвійне заточування

Подвійне заточування під кутом $2\varphi = 70^\circ$ дає можливість підвищити швидкість різання в середньому на 15...25 % при свердлінні сталі (порівняно з одинарним заточенням) і на 30 % при свердлінні чавуну.

Одночасно з цим стійкість свердел (при одній і тій же швидкості різання) підвищується в 2...3,5 рази. Підвищення допустимої свердлом швидкості різання пояснюється тим, що різальна кромка стає довшою, стружка у кромки від другої заточки буде тонше, а куточок (у місці переходу від різальних кромок до стрічок), що є найбільш слабким місцем свердла, більш масивним. Це підвищує міцність куточка та знижує термодинамічний навантаження на одиницю довжини леза.

Підточування перемички

Підвищенню допустимої швидкості різання на 10...15% сприяє і підточування перемички, так як це створює більш сприятливі кути різання і полегшує процес стружкоутворення на ділянках поблизу поперечної кромки свердла і до того ж зменшує її довжину.

При однаковій швидкості різання стійкість свердла підвищується в 1,5...2 рази. Підточування бокової стрічки знижує тертя, підвищуючи тим самим в 2...3 рази стійкість свердла і, відповідно, допустиму їм швидкість різання (в середньому на 15 % при одній і тій же стійкості).

Таке підточування стрічки доцільне при свердлінні заготовок із попередньо знятою кіркою. За наявності ж кірки дещо ослаблена підточуванням стрічка може викришитися і тоді ефект від підточування буде зворотним.

7.1.8 Проектування свердла

Геометричний розрахунок спірального свердла включає визначення його основних параметрів залежно від конкретних умов застосування.

Початкові дані для розрахунку свердла:

D – зовнішній діаметр свердла;

2φ – кут при вершині свердла (головний кут у плані);

ω – кут нахилу стружкової канавки свердла.

1. Зовнішній діаметр D . Якщо не має спеціальних умов зовнішній діаметр приймають з ряду рекомендованих значень.

2. Кут 2φ при вершині свердла. Величина 2φ кута залежить від матеріалу деталі

Матеріал деталі	2φ°
сталь σ_B до 50 кг/мм ²	115
сталь $\sigma_B = 50...70$ кг/мм ²	116...118
сталь $\sigma_B = 70...100$ кг/мм ²	120
сталь $\sigma_B = 100...140$ кг/мм ²	125
сталь нержавіюча	120

3. Кут ω нахилу стружкової канавки свердла залежить від зовнішнього діаметру свердла

Діаметр свердла, мм	ω°	Діаметр свердла, мм	ω°
0,25...0,35	18	3,0...3,4	24
0,4...0,45	19	3,5...4,4	25
0,5...0,7	20	4,5...6,4	26
0,75...0,95	21	6,5...8,4	27
1,0...1,9	22	8,5...9,9	28
2,0...2,9	23	10,0...80,0	30

4. Діаметр d_c серцевини свердла

$$d_c = (0,12 \dots 0,15) D. \quad (7.5)$$

5. Найбільша подача s з якою може працювати свердло

$$s = C D^{0,6}, \quad (7.6)$$

де $C = 0,063$ – при обробленні сталі твердістю HB < 170;
 $C = 0,047$ – при обробленні сталі твердістю HB > 170;
 $C = 0,09$ – при обробленні чавуну.

6. Крутний момент $M_{кр}$, що виникає під час роботи свердла

$$M_{кр} = 24 D^2 s^{0,7}. \quad (7.7)$$

7. Осьове зусилля P_{oc} під час різання

$$P_{oc} = 57 D s^{0,7}. \quad (7.8)$$

8. Середній діаметр $d_{сер}$ хвостовика конусу Морзе який потрібен для передавання зусиль різання

$$d_{сер} = 1,9 \frac{M_{кр}}{P_{oc}}. \quad (7.9)$$

Розрахувавши середній діаметр $d_{сер}$ приймають щонайближче більше значення з наступного ряду

$d_{\text{ср}}, \text{ мм}$	7,65	10,5	16,0	21,6	28,45	40,6	58,1
Морзе №	0	1	2	3	4	5	6

9. Крок H гвинтової стружкової канавки свердла

$$H = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \omega}. \quad (7.10)$$

10. Діаметр $d_{\text{св}}$ серцевини свердла залежить від його зовнішнього діаметру D і може бути у таких межах

Діаметр D свердла, мм	Діаметр $d_{\text{св}}$ серцевини, мм
0,25...1,25	$(0,28...0,20)D$
1,5...12,0	$(0,15...0,19)D$
13,0...80,0	$(0,125...0,145)D$

11. Профіль дискового інструмента для утворення гвинтової стружкової канавки свердла.

Пропонована методика аналітичного визначення профілю дискової фасонної фрези для утворення гвинтової канавки спірального свердла, була розроблена Можаяєвим С. С. Відповідно до цієї методики профіль фрези складається з комбінації двох дуг і прямої (рис.7.14).

Всі кутові параметри у наведених нижче залежностях треба підставляти вираженими у градусах.

Радіус великої дуги R

$$R = C_R C_r C_\Phi D, \quad (7.11)$$

$$C_R = \frac{0,026(2\varphi)\sqrt[3]{2\varphi}}{\omega}, \quad (7.12)$$

$$C_r = \left(\frac{0,14D}{d_{\text{св}}} \right)^{0,044} \quad (7.13)$$

$$C_\Phi = \left(\frac{13\sqrt{D}}{D_\Phi} \right). \quad (7.14)$$

Параметр D_Φ це діаметр інструмента (фрези) за допомогою якої утворюють стружкову канавку свердла. У загальному випадку діаметр

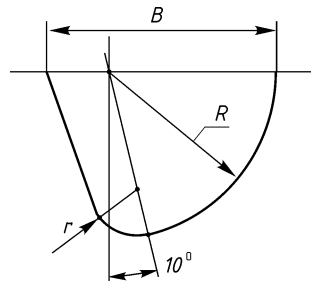


Рис. 7.14. Профіль фрези

фрези $D_{\phi} = 13\sqrt{D}$. Отримане таким чином значення D_{ϕ} необхідно округлити до найближчого стандартного.

Радіус r малої дуги

$$r = 0,015^{\{0,75\}} D. \quad (7.15)$$

Ширина B фрези

$$B = R + 0,98r. \quad (7.16)$$

12. Задній кут свердла. Задній кут свердла обумовлений способом його заточування. Існує мінімум п'ять способів, які застосовують на виробництві. Отже спосіб заточування буде обумовлений наявним устаткуванням.

7.1.9 Залежності та визначення

Прийняті умовні позначення:

- v – швидкість різання, м/хв;
- n – частота обертання шпинделя, об/хв;
- l – довжина точіння, мм;
- s – подача, мм/об;
- φ – кут у плані, градуси;
- d – діаметр свердла, мм.

Хвилинна подача

$$v_s = s n. \quad (7.17)$$

Швидкість різання

$$v = \frac{\pi d n}{1000}. \quad (7.18)$$

Частота обертання шпинделя

$$n = \frac{v 1000}{\pi d}. \quad (7.19)$$

Зусилля подачі

$$P_s = 0,5 k_{\text{різ}} \frac{d}{2} s \sin \varphi. \quad (7.20)$$

Швидкість видалення металу

$$Q = \frac{v d s}{4}. \quad (7.21)$$

Питома сила різання Н/мм²:

$k_{\text{різ}} = 1960$	–	сталь конструкційна;
$k_{\text{різ}} = 2945$	–	сталь легована;
$k_{\text{різ}} = 2950$	–	сталь нержавіюча;
$k_{\text{різ}} = 2300$	–	чавун;
$k_{\text{різ}} = 420$	–	бронза, латунь;
$k_{\text{різ}} = 150$	–	алюміній;
$k_{\text{різ}} = 270$	–	мідь.

Потужність

$$P = \frac{v D s k_{\text{різ}}}{240 \times 10^3}. \quad (7.22)$$

Крутний момент

$$M = \frac{P 30 \times 10^3}{\pi n}. \quad (7.23)$$

7.1.10 Свердла автоматизованого виробництва

У сучасному автоматизованому виробництві застосовують свердла складеної конструкції, оснащені змінними різальними елементами виготовленими із твердого сплаву. Кожен виробник пропонує свою конструкцію (звичайно “найкращу”).

Sandvik Coromant

Свердло має сталевий корпус (інколи достатньо складної конструкції) та змінну різальну частину (рис. 7.15).

Свердло має змінну різальну частину 1, котра закріплена у корпусі за допомогою гвинта 2. Перевага такої конструкції у тому, що залежно від матеріалу заготовки можливо змінювати тип різального елемента.

Свердло за рис. 7.16 на с. 198 має оригінальну схему розташування змінних різальних пластин. На кожному лезі 4 розміщено по дві пари пластин 5 та 7. Однак на різних лезах вони зміщені по різному, відносно осі обертання інструмента.

Зверніть увагу, на одному лезі пластина 5 розміщена на самому краї леза, а на другому – трохи відступивши від краю. Таким чином при обертанні свердла всі чотири леза опиняються у шаховому порядку, що призводить до подрібнення стружки.

Ще одним (і дуже важливим) елементом є змінний картридж 6, на якому розміщені різальні пластини. Картридж кріпиться гвинтом

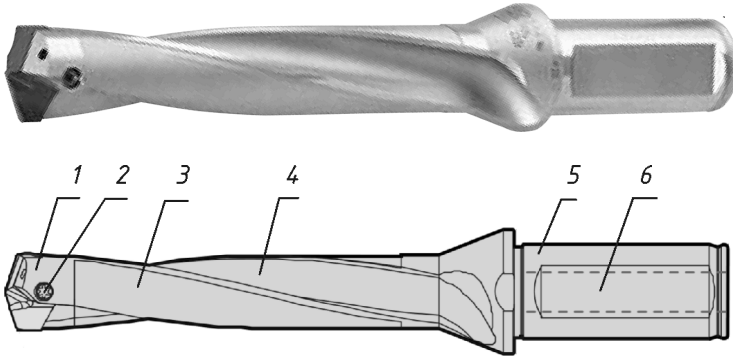


Рис. 7.15. Схема свердла автоматизованого виробництва:
[Sandvik Coromant]

- 1 – змінна різальна частина виконана, зазвичай виконана із твердого сплаву;
- 2 – гвинт, який закріплює змінну різальну частину на корпусі свердла;
- 3 – робоча частина свердла;
- 4 – стружкова канавка для видалення стружки під час роботи інструмента;
- 5 – циліндричний хвостовик свердла;
- 6 – лиска, котра фіксує свердло в патроні орієнтуючи інструмент відповідним чином.

2. Отже, залежно від потреб, можливо застосовувати пластини різної форми та розміру, маючи тільки одну (базову) оправку.

ТаeguTec

На рис. 7.17 на с. 199 подана детальна конструкція свердла автоматизованого виробництва корпорації ТаeguТес (Україна м. Дніпро). Різальний елемент встановлюють у корпус та закріплюють гвинтом.

Свердло має всі конструктивні елементи призначені для поліпшення роботи інструмента, а саме: підточену різальну частину та раціональні геометричні параметри.

Karnasch Professional Tools

Корпорація Karnasch Professional Tools (Німеччина) запропонувала свою конструкцію свердла для сучасного автоматизованого виробництва (рис. 7.18).

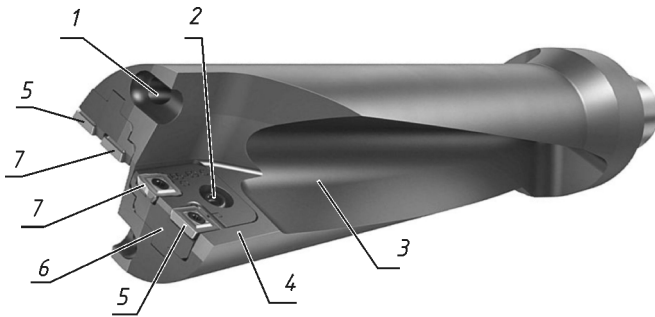


Рис. 7.16. Свердло із змінними пластинами
[Sandvik Coromant]

- 1 – отвір для подачі охолоджувальної рідини;
- 2 – гвинт кріплення змінного картриджу;
- 3 – стружкова канавка свердла;
- 4 – плоска передня поверхня;
- 5 – дві зовнішні змінні пластини;
- 6 – картридж;
- 7 – дві внутрішні змінні пластини.

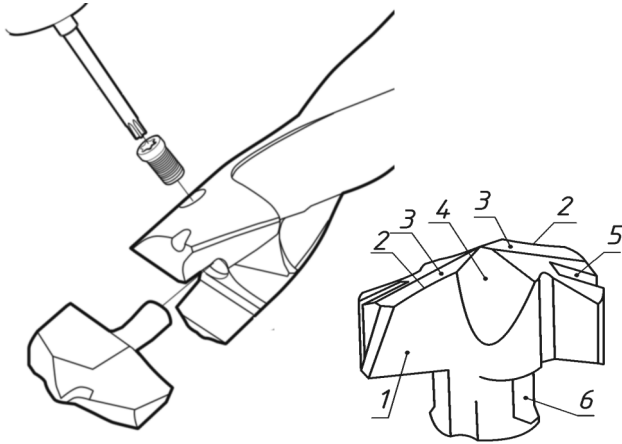


Рис. 7.17. Свердло корпорації TaeguTec

- 1 – передня поверхня різального елемента складної форми з додатнім переднім кутом;
- 2 – дві головні різальні кромки розташовані по обидві сторони змінного різального елемента;
- 3 – дві задні поверхні оформлені як площини;
- 4 – підточка серцевини різального елемента з метою зменшити поперечну різальну кромку;
- 5 – дві канавки призначені для проходження скрізь них охолоджувальної рідини;
- 6 – фаска на штирі для закріплення різального елемента.

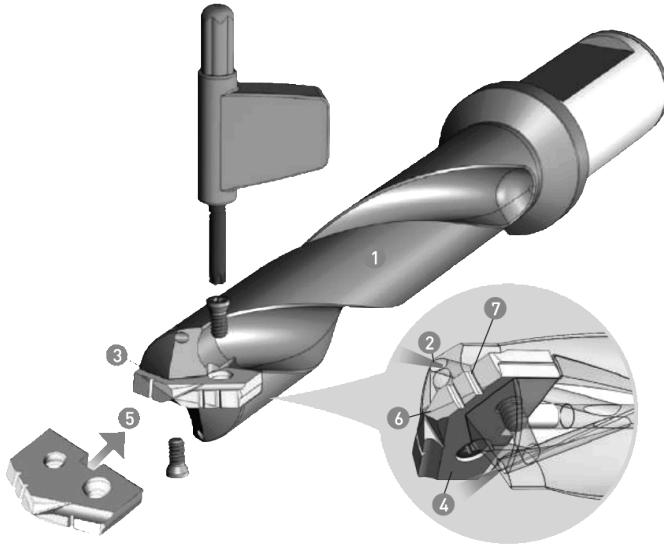


Рис. 7.18. Свердло корпорації Karnasch

Змінний різальний елемент 4 закріплено у пазу 3 корпусу 1. Канавка 5 слугує для орієнтації пластини відносно корпусу інструмента. На задній поверхні 6, різальної частини, є канавки 7 призначені для подрібнення стружки. Канавки розташовані в шаховому порядку, що забезпечую краще подрібнення стружки. Через отвори 2 подають охолоджувальну рідину.

Вся конструкція закріплюється двома гвинтами, котрі надійно притискають різальний елемент до опорних поверхонь корпусу.

Vidia Group

Ще одним перспективним напрямом розвитку конструкції свердла, що застосовують в автоматизованому виробництві є модульна система, коли інструмент (свердло) складається з окремих модулів.

На рис. 7.19 представлено свердло модульного типу міжнародного концерну Vidia Group.

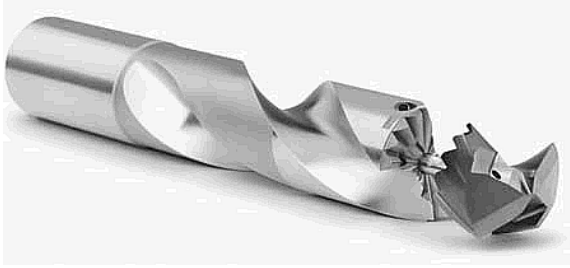


Рис. 7.19. Свердло модульного типу
[Vidia Group]

На відміну від свердел, котрі мають змінні багатогранні пластини, така конструкція має цільний різальний модуль. Це представник, так званого, модульного типу інструментів. Його особливість полягає в тому, що залежно від потреб змінюють не тільки різальний елемент, але й всю різальну частину.

Застосування модульної конструкції дозволяє значно скоротити потребу в інструменті. Адже, змінний модуль може мати не тільки іншу геометрію, але і будь-який розмір (звісно в розумних межах).

Крутний момент передається через торцеві зубці розташовані на місці стику корпусу та різальної частини. Це дозволяє фіксувати положення різних елементів свердла відносно осі обертання інструмента. Для взаємної фіксації окремих модулів корпорація використовує оригінальну конструкцію власного розроблення.

Слід зауважити, що корпорація Vidia Group є провідною в галузі застосування різального інструмента модульного типу. Її перші зразки модульного інструмента з'явилися на ринку ще в 60-х роках ХХ століття.

7.2 Зенкери

Свердла з швидкорізальної сталі забезпечують обробку отворів за IT 10...12 та із шорсткістю в межах $Ra_{12,5} \dots 3,2$. Свердла з пластинками твердих сплавів, що працюють на більш високих швидкостях різання, забезпечують обробку отворів за IT 9...11. Для отримання точніших отворів (IT 8...10) і з чистішою обробленою поверхнею $Ra_{6,3} \dots 0,8$ застосовують процес зенкування.

Процес зенкування здійснюється за допомогою інструмента, званого зенкером, який служить для подальшої обробки отворів, отриманих після виливки, штампування або свердління. Ця обробка отвору

може бути або остаточною, або проміжною - перед розвертінням, що дає ще точніші отвори з чистішою обробленою поверхнею.

Зенкер

Освовий інструмент призначений для оброблення отворів, які вже існують, з метою покращення їх характеристик [6].

Зенкер це інструмент для оброблення циліндричних та конічних отворів або торцевих поверхонь.

7.2.1 Типи зенкерів

За характером роботи зенкер подібний до свердла при розсвердлюванні отвору. За конструкцією та оформленням різальних кромek зенкер, призначений для збільшення діаметра отворів, дещо відрізняється від свердла.

Зенкери виготовляють як із швидкорізальних сталей марок P18 або P9, так і з пластинками твердих сплавів, вставленими в пази корпусу (зазвичай пластинки припаюють). При обробці сталей застосовують, в основному, пластинки твердого сплаву марки T15K6, при обробці чавунів – пластинки твердих сплавів марок BK4, BK6 і BK8. Матеріалом корпусу виготовляють із сталей 9ХС, Х або У7.

За типом кріплення зенкери розділяють на цільні (рис.7.20) зенкери з швидкорізальної сталі та насадні (рис.7.21) матеріалом для хвостовика у разі служить менш дорога конструкційна сталь.. Насадні зенкери мають конічний посадковий отвір, що забезпечує добре центрування на правці. Зенкери виготовляють цільними, зварними, збірними, з припаяними або закріпленими механічно пластинами з твердого сплаву.

За видом оброблюваних отворів зенкери поділяться на:

- циліндричні, для обробки циліндричних поверхонь, операцію називають зенкеруванням;
- конічні, для отримання поглиблень під голівки гвинтів, болтів, заклепок і інших деталей, операцію називають зенкуванням ;
- торцеві, для досягнення перпендикулярності торцевої поверхні отвору до його осі, операцію називають цекуванням;



Рис. 7.20. Зенкер цільний

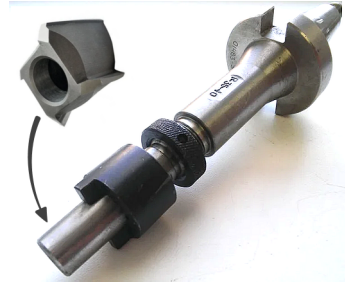


Рис. 7.21. Зенкер насадний

Типи та призначення зенкерів основних конструкцій що застосовують у машинобудуванні наведено в табл.7.2.

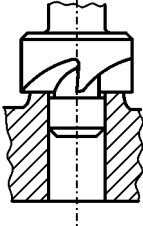
Можливе виготовлення комбінованих зенкерів для обробки двох поверхонь циліндричною і конічною - суміщенням двох операцій – зенкерування і зенкування.

Зазвичай зенкер застосовують для збільшення вже існуючого отвору, для покращення його характеристик. Зенкер часто використовують як проміжний інструмент між свердлом і розверткою. З його допомогою отримують точніший отвір, ніж при свердлінні.

Табл. 7.2: Основні типи зенкерів

Тип зенкера	Призначення
	Циліндричний головочний зенкер. Основне призначення – утворення посадкових місць під головки болтів та гайок. Має елемент, який центрує зенкер відносно обробленого отвору.
	Конічний зенкер (зенківка). Основне призначення – утворення фасок різного розміру. Це можуть бути просто фаски на отворі. Але при необхідності фаски можуть бути великими для посадкових місць під конічні головки потайних гвинтів та шурупів.

Продовження табл.7.2

Тип зенкера	Призначення
	Торцевий зенкер (цеківка). Основне призначення – утворення посадкових місць в деталях отриманих методом лиття. Як правило, це збірний інструмент який складається з центруючої оправки та змінної різальної частини.

7.2.2 Конструктивні параметри

Цілісні зенкери з хвостовиком закріплюють, як і свердла, в кінцевому отворі шпинделя свердлильного верстата. Насадні кріплять на спеціальній оправці, яка, у свою чергу, закріплюється в кінцевому отворі шпинделя.

Цілісні зенкери з конусним хвостовиком мають зазвичай три зуби (різальні кромки); насадні – чотири. Завдяки більшій кількості різальних кромок зенкер у порівнянні зі свердлом має кращий напрямок, забезпечує отримання більш точних та чистих оброблених поверхонь та дає більшу продуктивність.

На відміну від свердла зенкер не має вершини та поперечної кромки, що створює більш сприятливі умови різання вздовж усієї різальної кромки. Загальний діапазон діаметрів зенкерів 10...80 мм. Кут при вершині зенкера (головний кут у плані ϕ) призначають в межах 30...60°.

Конструктивні елементи стандартного зенкера цільної конструкції детально подано на рис.7.22. Основними частинами та геометричними параметрами стандартного цільного зенкера є:

- зовнішній діаметр різальної частини D ;
- загальна довжина інструмента L ;
- довжина робочої частини зенкера, забезпечена різальними зубами і складається з двох частин:
 - різальної;
 - і калібрувальної,
- кількість різальних лез Z зенкера;

- довжина забірної конусу який входить до складу різальної частини;
- циліндрична стрічка f на боковій поверхні зенкера;
- кут нахилу стружкової канавки ω на зовнішньому діаметрі зенкера;
- задній кут α на різальній частині;
- передній кут γ на різальній частині;
- головний кут у плані ϕ , кут забірної частини.

Діаметр зенкера вибирають з умов його використання. Якщо зенкер призначений для попередньої обробки отвору після свердління під розвертування, його діаметр вибирають менше номінального діаметру отвору на величину припуску під розвертування (приблизно 0,07...0,1 мм на сторону).

Якщо зенкер призначений для остаточної обробки отворів, його діаметр приймають з урахуванням допуску отвору, величини розбиття отвору і запасу на знос.

Після визначення необхідного діаметру зенкера визначають глибину різання t . Глибина різання t задається припуском на зенкування і дорівнює половині різниці діаметрів отвору до і після обробки

У тому випадку коли зенкування застосовують тільки для покращення параметрів отвору величину t приймають у межах 2...3 мм. Зенкер повинен мати достатню довжину різальної кромки, і її розмір має бути більше глибини різання t в 1,5...2 рази.

Кількість канавок зенкера можна вибирати різним. Зазвичай зенкер має 3...4 канавки. При виборі кількості канавок слід забезпечити достатній простір для відведення стружки, з цієї точки зору вигідніше брати менше число канавок. Однак, при необхідності забезпечити достатню чистоту і точність отвору вигідніше приймати велике число канавок, чим більше канавок (бокових фасок f), тим краще направлення зенкера в отворі.

7.2.3 Геометричні параметри зенкеру

Як і будь-який інший різальний інструмент, різальна частина зенкера має передній кут γ і задній кут α (розглядають у перерізі, перпендикулярному до проекції різальної кромки на основну площину).

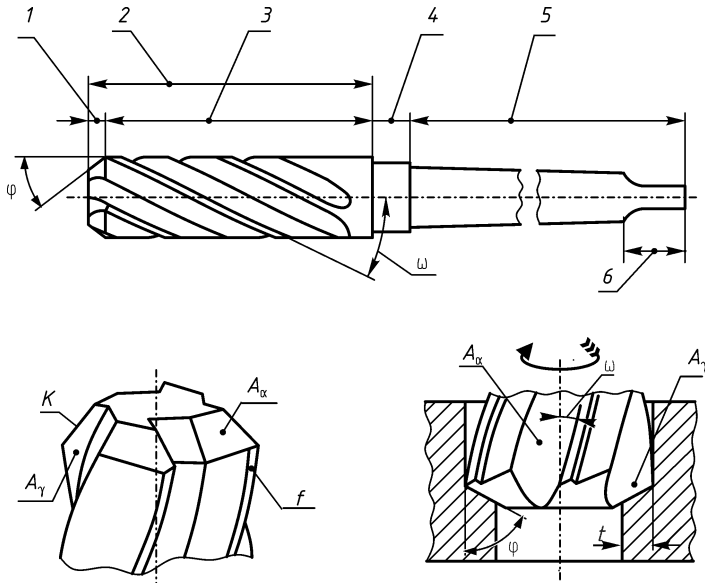


Рис. 7.22. Елементи циліндричного зенкера

1 – різальна частина зенкера;

2 – робоча частина;

3 – калібрувальна частина;

4 – шийка (місце з'єднання хвостовика з інструментальним матеріалом);

5 – хвостовик виготовлений з конструкційного матеріалу;

6 – лапка;

K – різальна кромка;

t – припуск на обробку;

φ – кут забірного конуса різальної частини;

ω – кут нахилу стружкових канавок;

A_α – задня поверхня;

A_γ – передня поверхня;

f – бічна фаскаю

Задній, кут застосовують у межах $6 \dots 10^\circ$ для зенкерів з швидкорізальних сталей та $10 \dots 15^\circ$ у зенкерів з пластинками твердих сплавів.

Передній кут на периферії (при розгортці гвинтової поверхні між напрямком осі і бічною стрічкою зенкеру) дорівнює куту ω нахилу гвинтової канавки.

Геометричні параметри зенкеру визначаються положенням передньої A_γ та задньої A_α поверхонь різального леза K (рис.7.23).

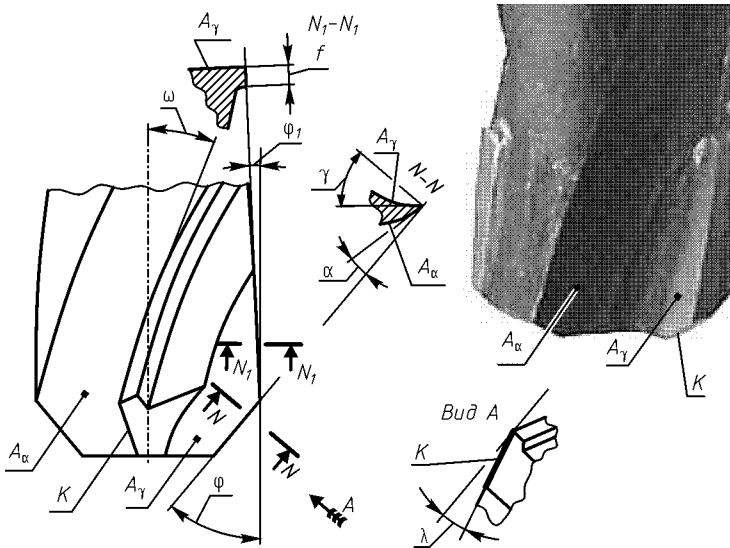


Рис. 7.23. Геометричні параметри зенкеру

Кут нахилу стружкових канавок

Якщо зенкер забезпечений гвинтовими стружковими канавками, необхідно визначити кут гвинтових канавок ω . Кут ω залежить від властивостей оброблюваного матеріалу і від діаметру зенкера.

Зазвичай кут нахилу стружкової канавки ω коливається в значних межах. Його величину визначають на зовнішньому діаметрі інструменту.

У зенкерів з інструментальних сталей кут ω нахилу призначають у межах:

- 25...40° у разі обробки вуглецевої та легованої сталі, в'язкої латуні, алюмінієвих і магнієвих сплавів;
- 15...20° у разі обробки інструментальних сталей;
- 10° у разі обробки чавуну або “сипучих” латуней.

Передній та задній кути

Передній кут зенкеру виміряють у площині перпендикулярній до різальної кромки і позначають як α . Задній кут α різальної частини (на різальній кромці) зенкерів приймають у межах 6...15°.

Задній кут на боковій калібрувальній частині дорівнює нулю, через наявність циліндричної стрічки f .

Забірна частина

Кут забірної частини 2φ є важливим елементом зенкера. Величина кута φ впливає на форму стружки і на відведення її з канавок.

Якщо немає особливих умов, викликаних технологічними причинами, то рекомендується кут φ приймати в наступних межах:

- для обробки сталі $\varphi = 60^\circ$;
- для обробки чавуну $\varphi = 45^\circ$;
- для підрізних робіт $\varphi = 90^\circ$;
- для зенкерів з твердими сплавами $\varphi = 60^\circ$;
- для двозубих зенкерів $\varphi = 75^\circ$.

7.3 Розвертки

Для отримання ще точніших (у порівнянні з зенкеруванням) отворів і з більш чистою обробленою поверхнею застосовується процес розвертування, що дає отвори за IT 78 з шорсткістю до Ra 0,8...0,1.

Процес розвертування здійснюється за допомогою інструмента, що називається розверткою при двох відносних рухах:

- обертальний рух розвертки або заготовки;
- поступальний рух розвертки.

Розвертка

Інструмент призначений для оброблення отворів у деталях коли застосування внутрішнього шліфування недоцільно [6].

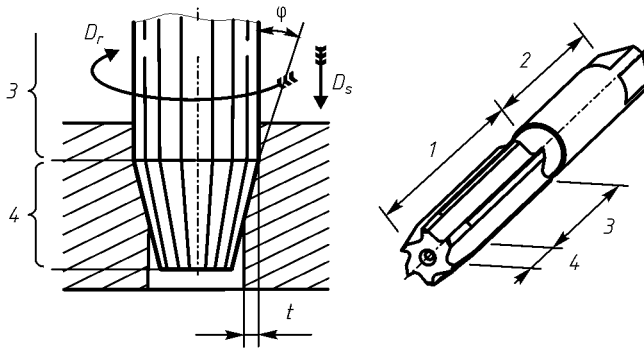


Рис. 7.24. Робота розвертки.

1 – робоча частина; 2 – хвостик інструмента;
 3 – калібрувальна частина; 4 – заборна (різальна) частина;
 t – припуск на обробку отвору

Розвертки застосовують як для остаточної, так і для попередньої обробки раніше виготовлених отворів, з метою надання їм більш точних розмірів.

Для остаточної обробки отворів розвертки застосовують після свердління, зенкерування або розточування для отримання високої точності (6...8 квалітет) і шорсткості ($Ra = 1, 25 \dots 0,63$ мкм) поверхні отвору [6]. Припуск на розвертування складає 0,15...0,5 мм для чорнових розгортки і 0,05...0,25 мм для чистових. Кількість зубів у розвертки 6...12 зазвичай парне.

Принцип роботи розвертки (зрізання припуску під оброблення) подано на рис.7.24.

Відмінність розвертки від свердел та зенкерів полягає в тому, що розвертка має значно більшу кількість різальних кромок. Стандартна розвертка має 6...8 зубів, а інколи до 12...16. Це дозволяє отримати отвір 7-го квалітету обробленої поверхні, тобто отримати поверхню з параметрами близькими до шліфування.

7.3.1 Конструкція розвертки

Розвертка багато в чому нагадує зенкер. Основна відмінність її від зенкера полягає в тому, що вона знімає значно менший припуск і має більше зубів – від 6 до 12 (за винятком спеціальних однозубих і двозубих розверток).

Розвертка – це багатозубий інструмент, який здійснює в процесі оброблення отвору обертання навколо своєї осі (головний рух) і поступально переміщається уздовж осі, здійснюючи рух подачі. Типова конструкція цільних розверток представлена на рис.7.25.

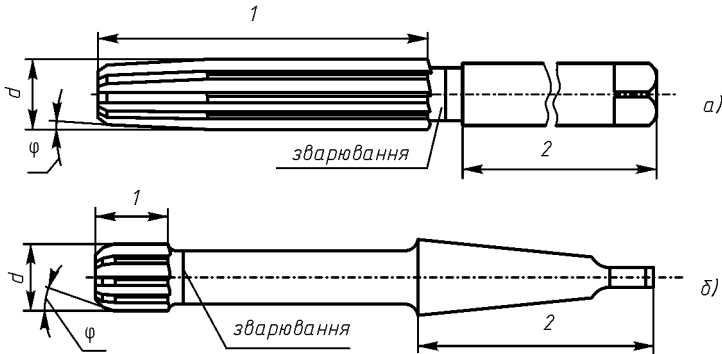


Рис. 7.25. Розвертки цільні.

a – ручна розвертка; *b* – машинна розвертка;

1 – робоча частина; *2* – хвостова частина;

φ – кут заборного конусу

На рис.7.26,*a* подана насадна цільна конструкція розвертки. На рис.7.26,*б* подана насадна конструкція розвертки з вставними різальними елементами. Обидві конструкції закріплюють на спеціальній оправці (рис.7.26,*в*.) яка виготовлена із конструкційної сталі.

Робоча частина

Робоча частина *1* розвертки (рис.7.25) забезпечена різальними лезами і складається, у свою чергу, з двох частин: різальної та калібрувальної.

Отже, робоча частина складається з двох основних складових:

- різальної (*4* за рис.7.24) – яка зрізує припуск під оброблення;
- та калібрувальної (*3* за рис.7.24) – яка калібрує отвір.

Різальна частина на своєму початку має захисний конус, який призначений для захисту інструменту, на випадок якщо припуск перевищить допустимий.

Попереду різальної частини під кутом 45° до торця розвертки розташовано напрямний (захисний) конус, що оберігає від пошко-

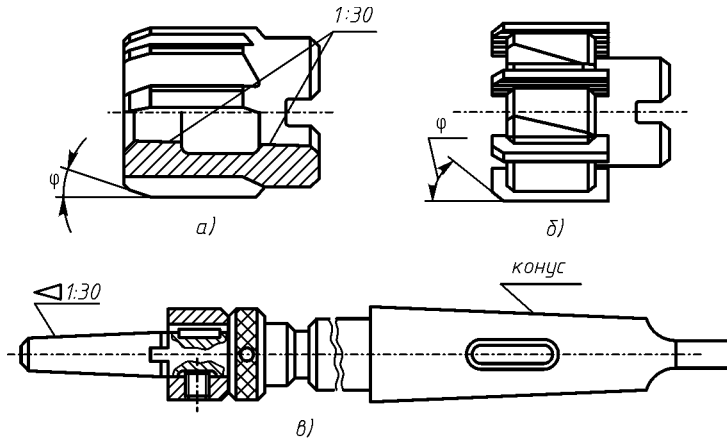


Рис. 7.26. Розвертки складені

дження різальну частину розвертки і забезпечує кращий напрямок при вході розвертки в раніше отриманий отвір.

Різальна частина

Сама різальна частина це забірний конус з кутом 2φ . Із зміною кута в плані φ змінюється співвідношення між шириною і товщиною зрізу. Із збільшенням кута забірного конуса росте осьове зусилля, ускладнюється просування розвертки. Тому у ручних розверток кут в плані приймається невеликим, в межах, що сприяє також плавному входу і виходу розвертки з отвору.

Машинні розвертки при роботі направляються краще за ручних, тому довжина їх різальної частини (забірного конуса) може бути меншою, а кут в плані великим. При обробці чавуну $\varphi = 4...5^\circ$, а при обробці сталі $\varphi = 12...15^\circ$. Для глухих отворів як у ручних, так і у машинних розверток $\varphi = 45...60^\circ$.

Калібрувальна частина

Калібрувальна частина слугує для спрямування розвертки при роботі, для калібрування отвору, що обробляється, і збереження розміру розвертки після її переточування.

Калібруюча частина складається з двох ділянок: циліндричної і конічної (так званого зворотного конуса). Зворотний конус призначено для зменшення тертя розвертки об оброблену поверхню та зменшення величини розбивки отвору. У ручних розверток зворотна конусність

становить у межах 0,015 мм у машинних 0,04...0,08 мм на 100 мм довжини.

Отже, калібрувальна частина (рис.7.28) складається з циліндричної ділянки 3 та ділянки 4 із зворотною конусністю.

Діаметр циліндричної частини 3 визначає остаточний розмір обробленого отвору. Треба мати на увазі, що ця частина насправді не зовсім циліндрична – вона має зворотну конусність у межах 1/3 від допуску на виготовлення розвертки.

Ділянка 4 являє собою конус, який полегшує вихід інструмента з обробленого отвору. Він не є обов'язковим. Зазвичай довжина зворотного конуса 4 становить 3...5 мм, а інколи 0,5...0,7 мм.

Довжину робочої частини для машинних розверток дорівнює, приблизно, діаметру отвору який обробляється. Для ручних розверток вона становить 5...10 її діаметрів, а інколи і більше.

Хвостовик розвертки

Хвостовик розвертки призначений для її закріплення в патроні. У ручних розверток хвостовик має циліндричну форму з квадратним кінцем, що входить у вороток. У машинних розверток хвостовик є конічним з лапкою або циліндричним з квадратом, або просто циліндричним.

Між робочою частиною та хвостовиком є проміжний стебел на якому наносять маркування інструмента.

Зубці розвертки

Кількість зубців розвертки вибирають залежно від:

- оброблюваного матеріалу заготовки;
- діаметру інструмента (чим більший діаметр тем більше зубів);
- конструкції інструмента (цільна, складена, напайна).

Із збільшенням кількості зубців чистота обробки отворів підвищується, проте зменшується поперечний переріз стружкових канавок, і вони можуть виявитися недостатніми для вільного розміщення та відведення стружки. Розвертки мають від 6 до 14 зубців для цілих машинних і ручних розверток діаметром 3...50 мм. Розвертки зазвичай мають парну кількість зубів. Це полегшує вимірювання їх діаметру.

Кількість зубів визначаються за формулою

$$Z = 1,5\sqrt{D} + 2, \quad (7.24)$$

при обробленні крихких металів

$$Z = 1,5\sqrt{D} + 4. \quad (7.25)$$

Позитивний вплив на роботу розвертки має нерівномірний розподіл зубців по колу (кут ω на рис.7.25), що сприяє гасінню вібрацій, що виникають при роботі, особливо на підвищених режимах різання в умовах недостатньої жорсткості.

Профіль стружкових канавок

Утворення стружкових канавок розверток здійснюється однокутовими (рис. 7.27,а) або двокутовими (рис. 7.27,б) фрезами з кутом профілю $\Theta=65\dots110^\circ$. Для середніх і великих розмірів застосовується профіль з контуром спинки зуба по радіусу, що полегшує розміщення стружки в канавках (рис. 7.27,в).

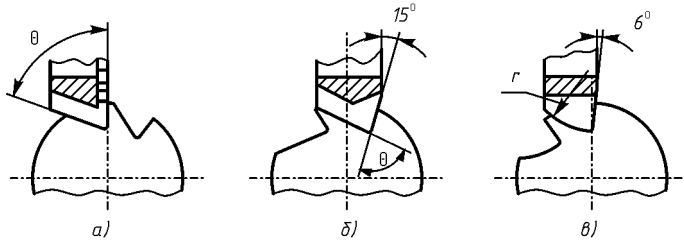


Рис. 7.27. Профіль канавок розвертки.

а – проста канавка; б – поглиблена канавка; в – радіусна канавка

Зазвичай канавки у розверток роблять прямі, що спростує їх виготовлення та контроль. Однак для оброблення отворів, що уриваються по довжині або мають канавки, застосовують розвертки з гвинтовими зубами.

7.3.2 Геометричні параметри розвертки

Детальна геометрія розвертки представлена на рис.7.28. Зубець розвертки на різальній частині б робиться "гострою". Ділянка б потрібна для захисту інструмента на випадок неочікуваного збільшення припуску.

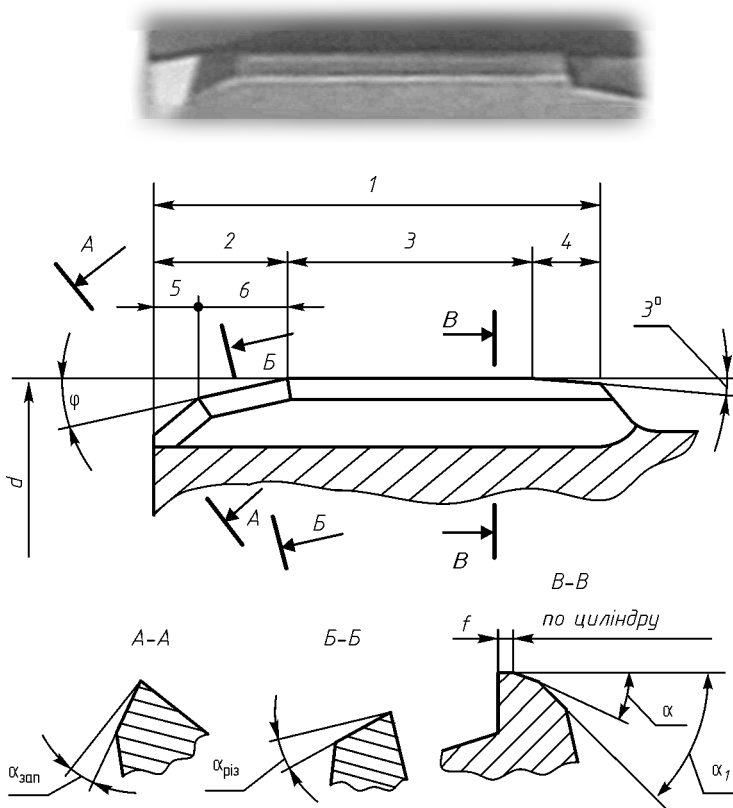


Рис. 7.28. Геометричні параметри розвертки.

1 – робоча частина; 2 – різальна частина;
3 – калібрувальна частина; 4 – зворотний конус;
5 – запобіжний конус; 6 – заборний конус

На калібрувальній частині 3 залишена циліндричної стрічки f шириною 0,05...0,3 мм. При обробці в'язких металів, щоб уникнути налипання часток металу, ширина стрічки зменшується до 0,05...0,10 мм (дивись примітку²⁹). Стрічка слугує для направлення розвертки в отворі, сприяє калібруванню отвору і полегшує контроль розвертки по діаметру.

Передній кут

Передній кут γ розверток зазвичай приймається рівним нулю, оскільки розвертка працює в зоні малої товщини зрізуваного шару (0,05...0,1 мм). Характер протікання процесу різання залежить, головним чином, не від переднього кута, а від радіусу закруглення різальної кромки, який співвідноситься з товщиною зрізуваного шару. На чорнових розвертках та при обробці в'язких матеріалів передній кут збільшують до $5 \dots 10^\circ$.

Задній кут

Задній кут α приймають невеликим для збереження міцності різальної кромки. Його величина обмежується не скільки міркуваннями міцності, скільки способом загострення на верстаті – при значних величинах задніх кутів є небезпека зрізати сусідній зуб. Тому кут α коливається в межах $4 \dots 8^\circ$.

Кут у плані

Головний кут у плані φ у розверток з інструментальних сталей залежить від типу оброблюваної деталі:

- для ручних розверток $\varphi = 0,5 \dots 1,5^\circ$;
- для машинних розверток при обробці наскрізних отворів у сталях $\varphi = 10 \dots 15^\circ$;
- при обробці наскрізних отворів у чавуні $\varphi = 5^\circ$.

При розвертуванні глухих, а також наскрізних отворів за 9 квалітетом і грубіше $\varphi = 45^\circ$.

Значення кута $10 \dots 15^\circ$ для машинних розверток при обробці наскрізних отворів у сталях береться таким тому, що при малому

²⁹ Аркуш звичайного паперу має товщину приблизно 0,1 мм

куті $\varphi < 10^\circ$ стружка буде значно тонше і її буде важко зрізати (буде скобління – полірування).

При обробці чавуну зрізання тонких стружок відбувається легше, а мале значення кута $\varphi = 5^\circ$ забезпечує більш високу точність і чистоту обробленої поверхні при одночасному підвищенні стійкості розвертки.

7.3.3 Типи розверток

Цілісні розвертки

Простий і найбільш поширений тип ручної розвертки – цілісна циліндрична з прямими канавками. Їх виготовляють, зазвичай, з хромистої сталі 9ХС. Недолік таких розверток – неможливість регулювання розміру після діаметрального зносу розвертки.

Розвертки регульовані

У корпусі 1 розтискної розвертки (рис.7.29), виготовленої із сталі 9ХС, в центрі просвердлений отвір, на одному кінці якого нарізана різьба; в глибині отвір має конусну частину. В отвір розвертки вставлена кулька 3 і вкручений регулювальний гвинт 2. Якщо почати вкручувати гвинт, то він натискатиме на кульку, яка прагнутиме розтискати стінки отвору.

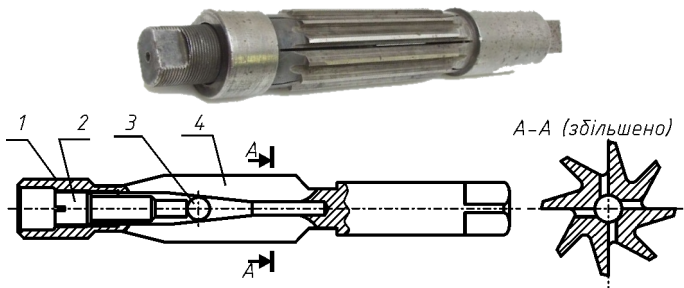


Рис. 7.29. Розвертка розрізна

У середній частині корпус розвертки забезпечений прорізами. По мірі втискування кульки в отвір, корпус розвертки розтискається та збільшується в діаметрі, але збільшення діаметру відбувається тільки в центральній частині розвертки.

У корпусі 1 ручної розсувної розвертки (рис.7.30), виготовленої з конструкційної сталі, профрезеровані точні пази, що йдуть з ухилом, по відношенню до осі розвертки. В пази вставлені плоскі ножі 4. На торцях ножів є скоси під кутом.

Різальні пластини 4 зафіксовані кільцями 3 та гайками 2. Переміщаючи гайки по різьбі 5 змінюють положення різальних лез.

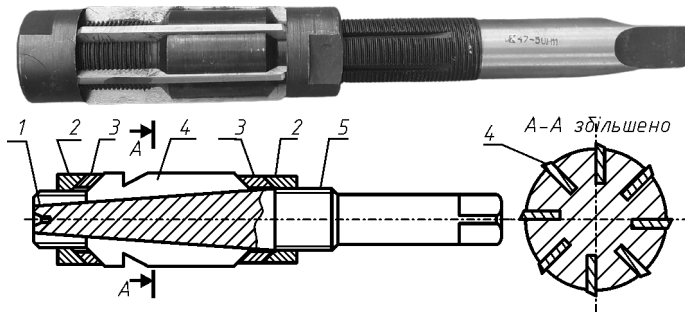


Рис. 7.30. Розвертка розсувна

Регульовані розсувні розвертки мають значні межі регулювання діаметру:

діаметр розвертки, мм	діапазон регулювання, мм
6...10	$\approx 0,15$
10...20	$\approx 0,25$
20...30	$\approx 0,40$
30...50	$\approx 0,50$

Ці розвертки дуже зручні для ремонтних робіт. Регульовані ручні розвертки виготовляють для отворів діаметром 10...38 мм, дрібніші розвертки дуже важко виготовляти, а більші розвертки рідко використовують як ручні.

Розвертки для конічних отворів

Для розвертування конічних отворів застосовують комплект конусних розверток. Розвертки для конічного отвору працюють у важчих умовах, ніж циліндричні. Конічна розвертка ріже усім своїм лезом і не має калібрувальної частини, оскільки різальні кромки по усій довжині вступають в роботу.

Чорнова розвертка (рис.7.31,а) призначена для зняття значного припуску; для полегшення роботи різальної кромки її роблять ступінчастою. Для цього на конічній поверхні розвертки нарізують гвинтовий зуб.

Проміжна розвертка (рис.7.31,б) має стружкорозподільні канавки, нарізані у вигляді різьби. Залежно від діаметру крок різьби різний.

Чистова розвертка (рис.7.31,в) має прямі зубці по усій довжині різальної частини.

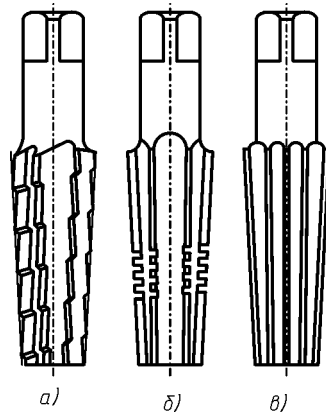


Рис. 7.31. Конічні розвертки

Машинні циліндричні розвертки

На відміну від ручних розверток, машинні розвертки мають коротку робочу частину і часто менше число зубців.

Машинні розвертки виготовлені із інструментальної сталі подані на рис.7.32,б завжди мають конічний хвостовик. Довжина їх робочої частини приблизно дорівнює їх діаметру.

Машинні розвертки з напаяними пластинами твердого сплаву подані на рис.7.32,а нічим не відрізняються від звичайних, окрім того що їх робоча частина трохи коротша, приблизно 0,8...0,9 від діаметру.

Починаючи з 25...30 мм розвертки можна виготовляти не хвостовими, а насадними (рис.7.32,в). Насадні розвертки виготовляють з легованої сталі 9ХС, а також зі швидкорізальної сталі. Застосування насадної конструкції обумовлено виключно фінансовими факторами.

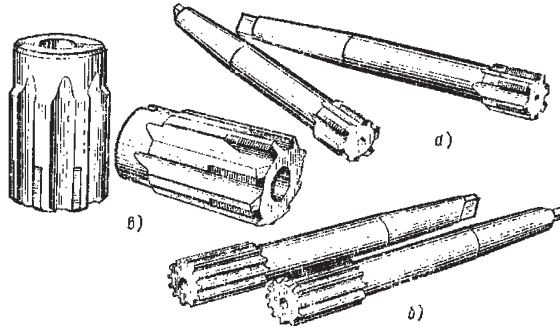


Рис. 7.32. Машинні розвертки

7.3.4 Знос розверток

Так як розвертки працюють з малими товщинами зрізу і на відносно низьких швидкостях різання, то вони зношуються в основному по задній поверхні циліндричної стрічки f рис.7.28.

Розвертка є чистовим (фінішним) інструментом, а тому за критерій її зносу приймається технологічний знос, тобто така його величина, починаючи з якої оброблений отвір перестає відповідати технічним умовам на нього (або починає виходити за поле допуску (розмір діаметра, або погіршується чистота обробленої поверхні).

Максимально допустима величина зносу по задній поверхні (рис.7.33) для розверток з інструментальних сталей 0,6...0,8 мм. Для розверток з пластинками твердих сплавів 0,4...0,7 мм при обробці незагартованих сталей і чавуну.

При роботі зношено. розверткою отвір стає ексцентричним і може бути як менше, так і більше номінального розміру розвертки. Останнє пояснюється тим, що зуби розвертки зношуються, як правило, нерівномірно.

Дрібна стружка і металічний пил, що утворюються при розвертуванні, заклинюючись між стінкою отвору і зношеним зубом, створюють віджимання розвертки на деяку величину. Одночасно протилежний зуб починає різати шар більшої глибини, збільшуючи діаметр отвору і створюючи його ексцентричність.

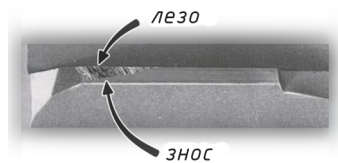


Рис. 7.33. Знос розвертки на калібрувальній частині

Заклинена дрібна стружка дряпає оброблену поверхню, погіршуючи її чистоту (мікрогеометрію). Крім зазначеного, у міру збільшення зносу наріст стає більш міцним, що також призводить до збільшення діаметра отвору і погіршення чистоти обробленої поверхні.

На розбивку отвору (збільшення діаметра обробленої поверхні) великий вплив має співвідношення розгвертки і попередньо обробленої поверхні отвору, чим точніше співвідношення, тим менше розбивка.

Для машинних розверток з інструментальних сталей стійкість становить $T = 12 \dots 80$ хв. А при обробці чавуну $T = 20 \dots 150$ хв.

Треба окремо зауважити, що після втрати розверткою її діаметрального розміру вона не підлягає відновленню. Тобто після досягнення розверткою допустимого розмірного зносу її застосовувати неможливо.

7.3.5 Проектування розверток

Вибір конструктивних елементів розверток здійснюють у такій послідовності [4].

1. Діаметр розвертки D залежить від діаметру отвору D_o , допуску Δ на отвір що утворюють та величини розбивки P

$$D = D_o + \Delta + P. \quad (7.26)$$

Схема розташування полів допусків на діаметр розвертки наведена на рис.7.34. На якому:

- d – допуск на виготовлення оброблюваного отвору;
- P_{max} – найбільша величина розбиття при обробленні;
- P_{min} – найменша величина розбиття при обробленні;
- N – допуск на виготовлення розвертки;
- L – запас на знос розвертки в процесі експлуатації.

Параметри P_{max} та P_{min} визначають експериментально обробивши невелику пробну партію деталей (3...5 деталей). Співвідношення допуску на виготовлення $IT_{виг}$ розвертки до допуску на її знос у процесі експлуатації $IT_{екс}$ приймають приблизно як 1:3.

Треба відзначити, що параметри P_{max} та P_{min} розбиття отвору залежать від досить значної кількості факторів.

Насамперед це характеристики рідини, яку використовують під час роботи розвертки. Найкращий склад цієї рідини для застосування при розвертуванні – на основі мастил.

Отже, на практиці доводиться для кожної нової партії деталей та змащувальної рідини експериментально визначати параметри P_{max} та P_{min} розкриття отвору.

Це значно ускладнює застосування інструмента, але враховуючи, що розвертування може замінити дороге шліфування розвертки знайшли широке використання у промисловості. Розверткою можна досить просто обробляти деталі корпусного типу в той час, як для шліфування отвору корпусі необхідно використовувати спеціальний координатно-шліфувальний верстат.

2. Діаметр D_1 зворотного конусу. Калібрувальна частина розвертки має конічну форму – зворотну конусність. Діаметр D_1 меншої частини конусу визначають:

— для ручних розверток

$$D_1 = D - (0,005 \dots 0,008) \text{ мм}; \quad (7.27)$$

— для машинних розверток

$$D_1 = D - (0,04 \dots 0,08) \text{ мм}. \quad (7.28)$$

Інколи у машинних розверток на калібрувальній частині залишають незначну циліндричну ділянку біля забірного конусу інструмента.

3. Кут φ при вершині розвертки залежить від типу розвертки

– для ручних розверток

$$\varphi = 12^\circ \dots 15^\circ, \quad (7.29)$$

– для машинних розверток

$$\varphi = 0^\circ 30' \dots 1^\circ 30',$$

– для розверток що обробляють глухі отвори

$$\varphi = 45^\circ. \quad (7.30)$$

У місці стику забірної частини та калібрувальної утворюють плавну перехідну криву.

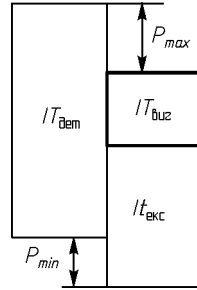


Рис. 7.34. Допуски розвертки

4. Довжина l_1 забірної частини становить

$$l_1 = \frac{D - D_1}{2} \operatorname{ctg} \varphi + m$$

де $m = 1 \dots 3$ мм (залежно від діаметру розвертки).

5. Довжина l робочої частини розвертки

$$l = (0,8 \dots 3) D. \quad (7.31)$$

6. Кількість z зубів розвертки можливо розрахувати як

$$z = 1,5\sqrt{D} + (2 \dots 4) \quad (7.32)$$

або призначити

D , мм	3...10	10...20	20...30	30...45	45 та більше
z	6	8	10	12	14

7. Задній кут α залежить від типу розвертки:

- для чистових розверток $\alpha = 6 \dots 8^\circ$
- для чорнових розверток $\alpha = 8 \dots 10^\circ$

8. Передній кут γ приймають

- для чистових розверток $\gamma = 0^\circ$;
- для чорнових розверток. $\gamma = 5 \dots 10^\circ$

9. Кутовий крок ω зубців розвертки виконують нерівномірним по колу. Це дозволяє значно покращити якість обробленої поверхні. Різниця між кутовим кроком сусідніх зубців становить $1 \dots 2^\circ$.

7.3.6 Розвертки автоматизованого виробництва

Продуктивність автоматичної лінії або автоматичного верстата залежить від різального інструмента. Останній повинен задовольняти не лише звичайним умовам, що пред'являються до різального інструмента. До таких умов відноситься забезпечення розмірної стійкості інструмента, стабільність його роботи, швидкозмінність та взаємозамінність.

Зазначені умови, що забезпечують безперервність процесу обробки та впливають на продуктивність та ефективність роботи автоматизованого виробництва залежать від конструкції різального інструмента.

Розвертки автоматизованого виробництва суттєво відрізняються за конструкцією від звичайних стандартних. Насамперед вони є складеною конструкцією із застосуванням різальних елементів виготовлених із твердого сплаву. Типові конструкції інструмента автоматизованого виробництва представлені на рис.7.35 та 7.36.

Розвертки, що використовують в автоматизованому виробництві відрізняються багатозубою конструкцією та забезпечують велику гнучкість виробництва, дозволяючи знизити логістичні витрати, пов'язані з відновленням інструмента, завдяки оптимальній вартості змінних пластин, що постачаються з складу.

Змінні пластини з однією різальною кромкою встановлюються у відповідні гнізда на корпусі інструмента і налаштовуються на діаметр і зворотний конус калібрувальної частини з використанням регулювальної системи з мікрометричною точністю. Це дозволяє легко налаштуватися на отримання отворів з точністю IT5.

Максимальна гнучкість, доступність та різноманітність комбінацій різальних матеріалів і покриттів характеризують даний інструмент та визначаються необхідними полями допусків, розмірами, серійністю та іншими характеристиками процесу обробки.

Технологія непереточуваних різальних пластин революційним чином змінила процес розвертування за допомогою розверток з кількома різальними кромками та встановила нові стандарти щодо економічності та функціональності.

Підхід, при якому кількість зношуваних частин інструмента підтримується настільки мінімальним, наскільки це можливо, є звичайною практикою, що застосовується в автоматизованому виробництві.

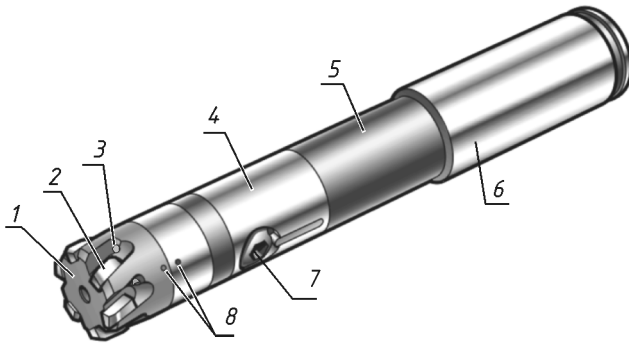


Рис. 7.35. Розвертка цільна
(Sandvik Coromant)

- 1 – змінний різальний модуль, має різні розміри та різні різальні елементи;
- 2 – різальні елементи з механічним кріпленням (зазвичай гвинтом);
- 3 – отвір для подачі змащувальної рідини, котра видаляє стружку із стружкових канавок та запобігає її пакетуванню;
- 4 – змінний перехідний модуль (може мати різну довжину залежно від форми деталі);
- 5 – постійний приймальний модуль (модуль мінімальної довжини, може закріпити безпосередньо різальний модуль);
- 6 – циліндричний хвостовик з канавкою на кінці, котра призначена для утримування інструмента при його автоматизованому транспортуванні;
- 7 – елемент кріплення фіксує між собою різальний та перехідний модулі;
- 8 – маркери для суміщення різального та перехідного модулів.

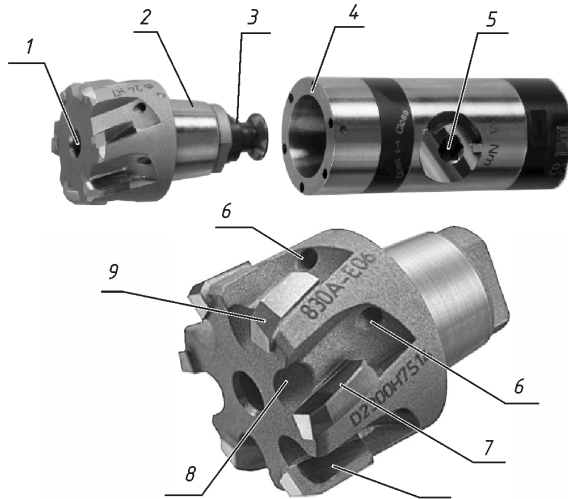


Рис. 7.36. Розвертка насадна
(Sandvik Coromant)

- 1 – змінний різальний модуль;
- 2 – конічний хвостовик;
- 3 – кільцева проточка для закріплення змінного модулю;
- 4 – отвори для подачі змащувальної рідини;
- 5 – гвинт, що входить у проточку 3 та закріплює розвертку;
- 6 – отвір у змінному модулі для подачі змащувальної рідини;
- 7 – змінна різальна пластина із твердого сплаву;
- 8 – запобіжна канавка;
- 9 – задня поверхня заборного конусу.

Запитання для самоконтролю

1. Опишіть призначенні свердел.
2. Опишіть призначення зенкерів.
3. Опишіть призначення розверток.
4. Опишіть основні конструкційні параметри стандартного спірального свердла.
5. Опишіть конструкцію стандартного зенкера.
6. Опишіть конструкцію стандартної розвертки.
7. Що таке поперечна різальна кромка свердла?
8. Чому дорівнює передній кут стандартного спірального свердла?
9. Чому дорівнює передній кут розвертки?
10. Чи є незмінним передній кут свердла вздовж різальної кромки?
11. Охарактеризуйте типи та призначення окремих конструкцій зенкерів.
12. Яку форму мають передні поверхні стандартного спірального свердла?
13. Чи є постійним передній кут спірального свердла вздовж різальної кромки?
14. Які параметри впливають на величину заднього кута свердла?
15. Чому дорівнює задній кут на калібрувальній частині циліндричної розвертки?
16. Які геометричні параметри характеризують різальну частину свердла?
17. Яке призначення має циліндрична фаска на калібрувальній частині розвертки?
18. Накреслити принципову конструкцію розсувної розвертки.
19. У чому полягає конструкція розтискної розвертки?
20. Які кути різання має поперечна перемичка свердла?

Посилання

1. Кожевников Д. В. Металлорежущие инструменты / Д. В. Кожевников, С. В. Кирсанов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2003. – 392 с.
2. Лакирев С. Г. Обработка отверстий / С. Г. Лакирев. – Москва: Машиностроение, 1984. – 208 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / ред. Дальский А. М., Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Суслов А. Г. — 5-е изд., испр. — М.: Машиностроение, 2003. — ISBN 5-217-03083-6. — ISBN 5-94275-013-0
4. Шатин В. П. Справочник конструктора-инструментальщика / В.П. Шатин, Ю.В. Шатин. Москва : Машиностроение, 1975. – 456 с.
5. Сысоев В. И. Справочник молодого сверловщика / В. И. Сысоев. Москва : Профтехиздат, 1962, – 138 с.
6. Работин А.Н. Зенкерование и развертывание / А. Н. Работин. Москва : Машгиз. 1959. – 120 с.
7. KOMET of America, Inc. 2050 Mitchell Blvd., Schaumburg, IL 60193-4544 Tel. +1 (847) 923-8400 | Tel. +1 (847) 923-84 80 Fax +1 (800) 865-6638 | customerservice.us@kometgroup.com

Я знаю тільки те,
що нічого не знаю.

Сократ

8 ПРОТЯЖКИ

Протяжками називають багатолезовий інструмент [1, 3] який застосовують для оброблення поверхонь фасонного профілю за кінематичною схемою прямолінійного поступального руху інструмента та деталі.

Протягування – один з найбільш ефективних методів механічної обробки, що дозволяє отримувати вироби високої точності (до 6-го квалітету) та шорсткість обробленої поверхні до 0,32 мкм. При застосуванні твердосплавних вигладжувальних конструкцій протягування забезпечує шорсткість до $Ra\ 0,08$.

Протягування в основному застосовують у великосерійному та масовому виробництві, проте цей метод успішно використовують і в дрібносерійному і навіть одиничному виробництві, коли протягування є єдиним можливим або найбільш економічним способом обробки.

Як різальний інструмент при протягуванні використовуються різні типи протяжок. Протяжка – багатолезовий інструмент з рядом послідовно виступаючих одне над іншим лезами в напрямку, перпендикулярному напрямку швидкості головного руху.

Протяжки мають значні переваги перед інструментами інших видів. Вони є найбільш високопродуктивними інструментами, приблизно в сто і більше разів продуктивніше зенкерів і розверток. При протягуванні поєднуються операції чорнової, напівчистової та чистої обробки. Це збільшує продуктивність, скорочує номенклатуру застосовуваних різальних та вимірювальних інструментів, зменшує кількість верстатів та технологічного оснащення.

Економічна доцільність застосування протяжок виправдовується при забезпеченні оптимальних елементів конструкцій та режимів різання, якісному виготовленні протяжок та правильній експлуатації.

Протягування застосовують для обробки внутрішніх (замкнених) та зовнішніх (відкритих) поверхонь. Відповідно розрізняють внутрішні та зовнішні протяжки.

Різновидом протяжок є прошивки, конструкція яких принципово не відрізняється від конструкції протяжок, проте в процесі різання прошивки піддаються в основному зусиллям, що стискають, в той час як протяжки працюють на розтягування.

Області застосування протягування дуже різноманітні. Залежно від того, яку поверхню обробляє протяжка їх поділяють на дві основні групи:

- внутрішні (рис.8.1) – вони обробляють внутрішні поверхні (і є найбільш поширеними). Внутрішнє протягування застосовують для обробки отворів різної форми, у тому числі круглих, квадратних, багатограних, шліцевих зі шліцами різного профілю, а також шпонкових та інших пазів;
- та зовнішні – ті що обробляють зовнішні поверхні (як правило спеціальні). Зовнішніми протяжками в основному обробляють плоскі та фасонні поверхні, пази, уступи, рифлення та ін.

Для оброблення протяжкою внутрішньої поверхні в деталі потрібно попередньо зробити отвір. Діаметр отвору під протяжку виконують меншим ніж розмір обробленої деталі, залишаючи певний припуск на оброблення протяжкою, який називають припуском на протягування.



Рис. 8.1. Протяжка внутрішня

Особливість протяжки полягає в тому, що вона не має руху подачі [2].

При відсутності руху подачі зрізування припуску реалізується за рахунок того, що висота кожного наступного зуба перевищує висоту попереднього на величину S_z , яку називають підйомом на зуб або подачею на зуб. На рис.8.2 показана загальна схема зрізування припуску під час роботи протяжки.

Внутрішнє протягування застосовують при обробленні круглих, багатограних, шпонкових та шліцевих отворів. У загальному випадку протяжка може утворювати отвір довільного фасонного профілю. Найчастіше протягуванням обробляють отвори діаметром 10...75 мм, завдовжки 2,5...3 діаметри.

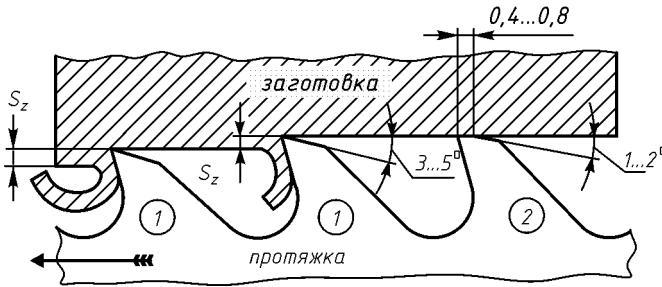


Рис. 8.2. Робота протяжки.
1 – різальні зубці; 2 – калібрувальні зубці;
 S_z – подача на зуб

Рух різання

Рух різання при протягуванні збігається з віссю інструмента і є прямолінійним.

Кожний різальний зуб зрізує шар металу товщиною S_z , а в цілому всі різальні зуби – сумарний шар, який є припуском на оброблення.

При обробленні деталей протяжками досягають високу точність розмірів і геометричної форми, а також низьку шорсткість поверхні порівнянну із шліфуванням. Тому протягування широко застосовують в багатьох галузях машинобудування для фінішної обробки внутрішніх і зовнішніх поверхонь [4, 5].

Для протяжки, як різального інструмента, можливо виділити ряд характерних особливостей. А саме,

- простота реалізації робочого руху інструмента – пряма лінія;
- відсутність руху подачі як окремого руху;
- найкоротша траєкторія різання – пряма лінія;
- малий час контакту інструмента та деталі між початком і закінчення утворення поверхні деталі:

Наприклад, під час оброблення деталі довжиною 50 мм час контакту між деталлю та кожним окремим різальним елементом протяжки (зубом) становить приблизно 1,5 секунди.

- висока продуктивність – стандартний шліцьовий отвір протяжка утворює менш ніж за 40...50 сек;

- стійкість протяжок – дозволяє працювати декілька змін без періодичної наладки верстата і інструмента.

У процесі оброблення отвору протяжка здійснює, відносно заготовки, прямолінійний поступальний рух.

Швидкість

Швидкість робочого руху протяжки (швидкість різання) становить 2...12 м/хв для протяжок виконаних із інструментальної сталі (табл. 1...3). Це значно менше ніж для багатьох інших металорізальних інструментів.

Однак завдяки особливості кінематичної схеми формоутворення протяжка має один з найвищих показників за продуктивністю. Так під час оброблення шліцьових отворів, продуктивність становить 80...120 деталей на годину.

Інструментальний матеріал

Інструментальний матеріал, який застосовують для виготовлення протяжки – це швидкорізальна сталь Р6М5 або легована ХВГ.

8.1 Конструкція протяжки

Конструкція протяжки складається з елементів, які призначають не за розрахунками, а з конструктивних міркувань та у відповідності до характеристик наявного устаткування.

Торцеві поверхні протяжки мають центрові отвори, які використовують як технологічні бази під час їх виготовлення та наступних переточуваннях у період експлуатації. Тому центрові отвори протяжок повинні бути із запобіжним конусом.

У загальному випадку протяжка складається з наступних конструктивних елементів (рис.8.3):

- передньої частини 1...4;
- робочої частини 5...6, яку іноді називають різальною частиною протяжки;
- та заднього хвостовика 7...8.

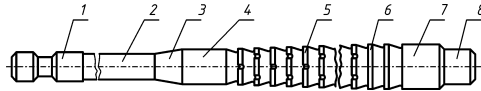


Рис. 8.3. Основні елементи протяжки.

- 1 – передній хвостовик; 2 – шийка (дещо меншого діаметру);
 3 – перехідний конус; 4 – передня напрямна;
 5 – секція різальних зубців; 6 – секція калібрувальних зубців;
 7 – задні напрямна; 8 – задній хвостовик

Передня напрямна

Передня частина протяжки будь-якого профілю складається з таких конструктивних елементів (рис.8.3):

- передній хвостовик 1;
- шийка 2;
- перехідний конус 3;
- та передня напрямна 4.

На рис.8.5 подано загальну конструкцію передньої частини протяжки встановленої на верстаті та з надітою заготовкою.

Передній хвостовик

Хвостовик служить для закріплення протяжки патрона верстата. Конструкція хвостовика залежить від типу протяжки та конструкції патрона (рис.8.4). Для кріплення протяжки в патроні каретки зворотного ходу на верстатах, що працюють за напівавтоматичним або автоматичним циклом.

Хвостовики можуть виготовлятися як єдине ціле з протяжкою (цілісні протяжки), звареними або кріпитися до протяжки за допомогою різьбових з'єднань або механічних пристроїв. Перевагою знімних хвостовиків є економія швидкорізальної сталі і менша трудомісткість виготовлення та проектування різального інструмента.

Матеріал зварних хвостовиків та з механічним кріпленням сталь 40Х або інша конструкційна, або інструментальна сталь згідно з ГОСТ 4543-71 або ГОСТ 5950-73. Після термообробки твердість переднього хвостовика із швидкорізальної сталі HRC 42-56.

Протяжка 7 з надітою на неї заготовкою 6 закріплена в патроні 1. Хвостовик 12 має кільцеву проточку 11 у яку заходить кулак 3. Він

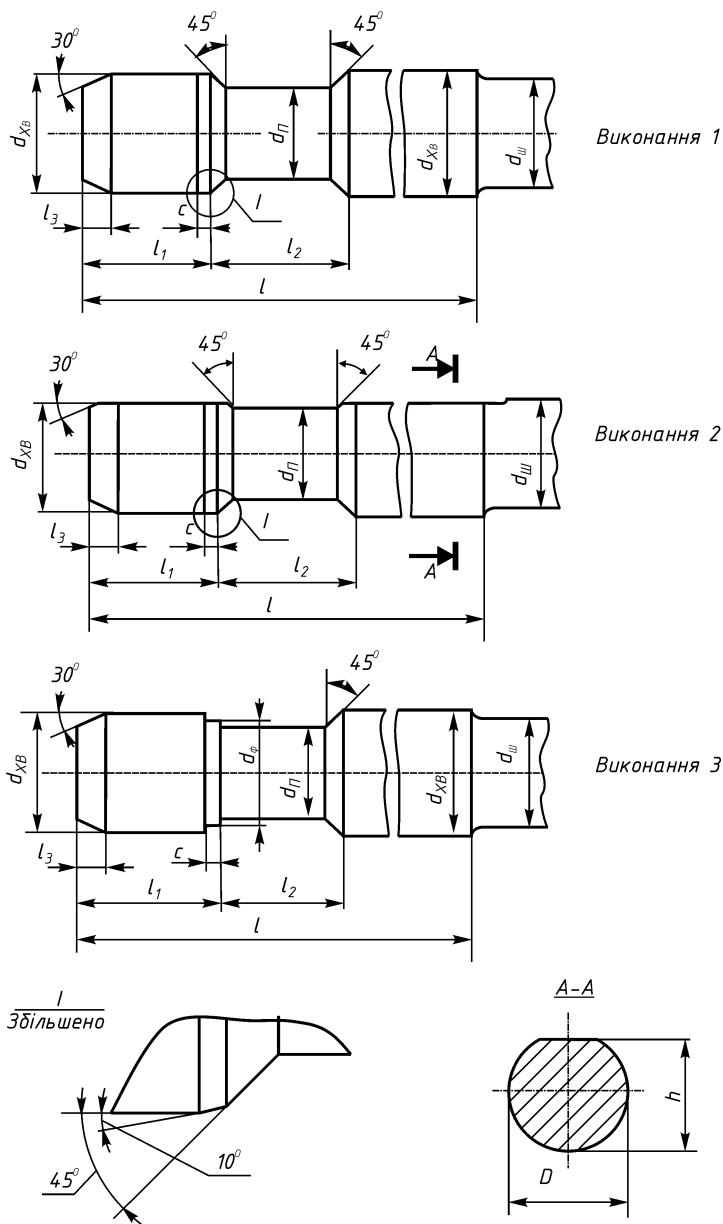


Рис. 8.4. Передній хвостовик

Табл. 8.1. Розміри хвостовиків за рис.8.4, мм

$d_{\text{хв}}$	$d_{\text{п}}$	$F_{\text{х}}$	$d_{\text{ф}}$	$d_{\text{ш}}$	l	l_1	l_2	l_3	h	c			
12	8	50	11,8	11	65	16	28	5	10,5	0,5			
14	8,5	71	13,7	13	70				12,5				
16	11	95	15,7	15					14				
18	13	133	17,7	17					75		16		
20	15	177	19,7	19	18								
22	17	227	21,7	21	20								
25	19	283	24,7	24	23								
28	22	380	27,7	27	80	20	32	8	26	1,0			
32	25	491	31,6	31					29,5				
36	28	515	35,6	35	90				25	36	12	33,5	1,5
40	32	804	39,5	39								37,5	
45	34	908	44,5	44	100							42	
50	38	1133	49,5	49								47	
55	42	1385	54,4	54	115							40	
60	45	1590	59,4	59		56							
70	52	2125	69,4	69		66							
80	60	2827	79,2	79	120	32	75						
90	70	3848	89,2	89			85						
100	75	4418	99,2	99			94						
$F_{\text{х}}$ – площа поперечного перерізу хвостовика, мм ² .													

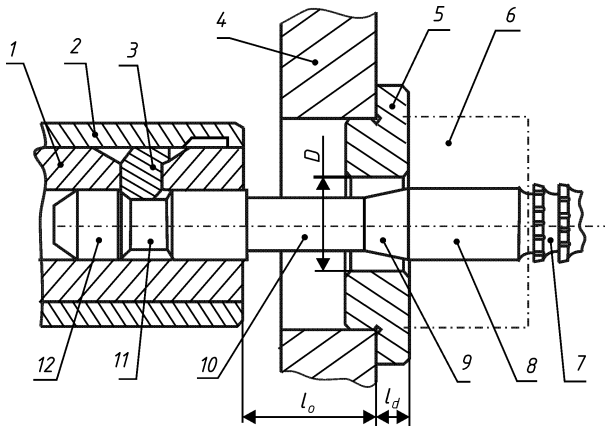


Рис. 8.5. Передня частина протяжки

передає тягове зусилля верстата до інструмента. Для того щоб кулак 3 не вийшов із проточки 11 зовні надіта гільза 2 патрону. Вона може пересуватись вздовж патрону звільняючи кулак.

Перевагою такої конструкції хвостовика є швидке закріплення та вивільнення протяжки із патрону.

Опорне кільце

Заготовка 6 спирається на опорне кільце 5, яке у свою чергу спирається на вертикально розташований стіл 4 протяжного верстату.

Отвір в опорному кільці виконують такого розміру, щоб заготовка не провалювалась в нього. Якщо зробити його занадто великим, то заготовка може прогнутись під дією зусиль різання, тому діаметр отвору в опорному кільці роблять якомога меншим.

У разі необхідності на опорному кільці встановлюють пристосування для базування заготовки.

Передня напрямна

Між проточкою 11 та різальною частиною 7 протяжки розташовані передня напрямна 8, перехідний конус 9 та шийка 10. Шийка, це перехідний елемент протяжки, який поєднує хвостовик та передню напрямну. На ній наносять маркування відповідно до характеристик інструмента.

Передня напрямна центрує деталь відносно інструмента. Шийка 10 та перехідний конус 9 є допоміжними елементами, які з'єднують хвостовик з передньою напрямною та робочою частиною протяжки. Їх довжина повинна забезпечувати можливість приєднання протяжки до патрону протяжного верстата.

Шийка 10 і перехідний конус 9 є сполучними ланками між хвостовиком 12 та передньою напрямною частиною 8. На шийці зазвичай наносять маркування протяжки, тут розташовується зварний шов у разі зварних протяжок. Діаметр шийки приймається на 0,5...1,0 мм менше діаметра хвостовика, а її довжина залежить від конструкції верстата, зокрема від товщини опорного столу, а також від розмірів пристроїв для кріплення заготовки, що обробляється. У ряді випадків, наприклад для шпонкових протяжок, шийка спеціально не виділяється, а виконується заодно з хвостовиком.

Передня напрямна частина служить для орієнтації протяжки щодо осі заготовки, що обробляється в початковий момент різання. Форму поперечного перерізу та розміри передньої напрямної вибирають відповідно до форми та розмірів оброблюваної поверхні. Діаметр передньої циліндричної напрямної виконується за посадкою H7/f7, а довжина знаходиться в межах 0,7...1,0 довжини протягування

Задній хвостовик

Кінцеву частину хвостовика виконують у вигляді кільцевої витоки, в яку у радіальному напрямку входять кулачки автоматичного або напівавтоматичного патрону, які здійснюють силове замикання протяжки з патроном та передають тягове зусилля протяжного верстата.

Форма та розміри заднього хвостовика приймаються такими ж, як і переднього. Для орієнтації протяжки щодо заготовки, що обробляється, задній хвостовик може виконуватися з відповідними орієнтованими елементами.

Таким чином, довжина протяжки до першого зубу складається з таких складових елементів:

- товщина заготовки (довжина майбутнього отвору);
- товщина опорної пластини (залежить від конструкції пристрою);
- товщина столу верстата (залежить тільки від його моделі);
- довжина переднього хвостовика (залежить від типу патрону).

Товщина опорної пластини протяжного верстата та його технічні характеристики в загальному випадку наведені в табл. 8.2.

Табл. 8.2. Протяжні верстати

Верстат	Тягове зусилля, кН (кГ)	D , мм	l_a , мм	l_c , мм	Хід, мм
7505	50 (5100)	75	30	60	1160
7A510	100 (10204)	100	30	70	1450
751	100 (10204)	70	25	70	1350
751Д	100 (10204)	100	30	60	1520
7510М	100 (10204)	100	30	60	1520
7A520	200 (20408)	130	40	80	1840
7520	200 (20408)	150	35	75	1600
752	200 (20408)	70	25	70	1600
7540	550 (56124)	180	50	100	2330

Різальна частина

Різальна частина є головною частиною будь-якої протяжки. Інші ж частини, які іноді називають гладкими частинами протяжки, слід розглядати як допоміжні. На рис.8.6 подано схематичне зображення передньої частини протяжки встановленої на верстаті разом із заготовкою.

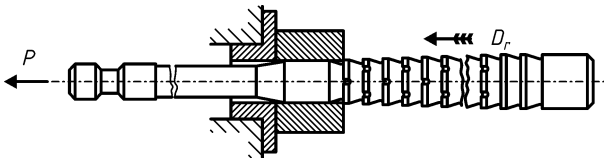


Рис. 8.6. Протяжка на верстаті

Задня напрямна

Задній хвостовик перешкоджає перекосу деталі в момент виходу з неї останніх зубів протяжки, усуваючи тим самим небезпеку пошко-

дження обробленої поверхні та пошкодження зубів інструмента, тому його називають задньою напрямною.

Поперечний переріз задньої напрямної повинен бути таким щоб забезпечити добре центрування деталі відносно інструмента. Довжина задньої напрямної залежить від діаметру отвору, але не є менше 20 мм та не більше 70 мм.

Задня напрямна частина забезпечує напрям і центрування деталі в момент закінчення обробки, а також запобігає перекосу протяжки та пошкодженню обробленої поверхні.

У тих випадках, коли протяжка має значну масу, для підтримки протяжки під час робочого та холостого ходу задня направляюча виготовляється з опорною цапфою, яка знаходиться в спеціальному люнеті. Задня напрямна виконується за посадкою H7/f7, її довжина приймається 0,5...1,0 довжини отвору, що протягується.

На рис.8.7 наведено принципову конструкцію заднього хвостовика шліцьової протяжки.

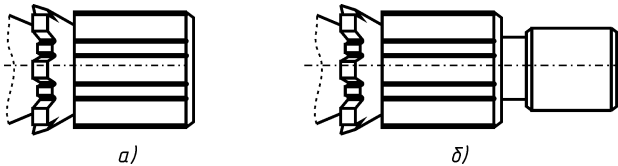


Рис. 8.7. Задній хвостовик та задня напрямна.

а – хвостовик протяжки для “ручного” застосування;

б – хвостовик протяжки для застосування на верстатах-автоматах

Для роботи протяжками застосовують горизонтальні або вертикальні протяжні верстати. Станки вертикального компонування займають меншу площу і більш пристосовані до автоматизації.

8.2 Різальні та калібрувальні зубці

Основною частиною протяжки є різальна та калібрувальна частини. Вони видаляють припуск на обробку та утворюють остаточний профіль деталі.

Різальна частина

Різальна частина складається з зубів, профіль різальних кромek та розміри яких поступово змінюються.

Відповідно до цього розрізняють різальні та калібрувальні зубці (або відповідні частини). Профіль та розміри зубців різні вздовж протяжки:

- першого різального зуба співпадають з профілем та розмірами попереднього отвору у заготовці під протягування.
- останнього зубу – з профілем та розмірами готового отвору.

Різальні зубці

Різальні зубці рис.8.8 послідовно змінюються у розмірах, внаслідок чого відбувається поступове зрізування припуску.

Калібрувальні зубці

Калібрувальні зубці рис.8.9 розташовані безпосередньо за різальними зубами. Вони призначені для калібрування отвору та для забезпечення працездатності протяжки після її чергового загострення. Для цього вони мають фаску на задній поверхні.

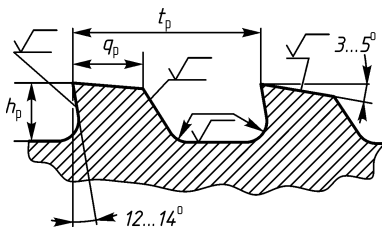


Рис. 8.8. Різальний зуб

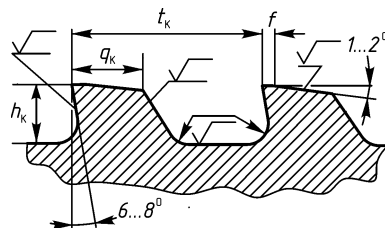


Рис. 8.9. Калібруючий зуб

На відміну від різальних зубів розміри та форма всіх калібрувальних зубів однакові і відповідають формі та розмірам готового отвору. Вони мають подвійне призначення:

- перше призначення, це загладжування обробленої поверхні та гарантованого отримання отвору певних розмірів;
- друге призначення, це забезпечення необхідних розмірів інструмента після його переточування.

Після першого ж переточування всі різальні зубці змінять свій розмір. І тоді у роботу вступають калібрувальні зубці. Так після перших кількох переточувань перший калібрувальний зуб буде виконувати роботу останнього по черзі різального зубу. Далі, по мірі переточування протяжки, у роботу замість різальних зубів будуть входити наступні калібруючі зуби.

Різальна та калібрувальна частини є головними частинами будь-якої протяжки. Інші ж частини, які іноді називають гладкими частинами протяжки, слід розглядати як допоміжні.

8.3 Схеми різання при протягуванні

Конструкція різальної частини протяжки та її стійкість у значній мірі залежать від прийнятої схеми різання.

Схема різання при протягуванні характеризує послідовність видалення шару, що зрізується окремими зубами протяжки. Схему різання вибирають залежно від форми, розмірів та стану оброблюваної поверхні. Від раціонального вибору схеми різання залежать конструкція протяжки, її довжина та працездатність, якість обробленої поверхні, продуктивність та економічність процесу. При проектуванні протяжок застосовують профільну (одинарну), генераторну та прогресивну (групову) схеми різання (табл.8.3).

Схема різання

Схема різання при протягуванні, це послідовність зрізання припуску із заготовки різальними зубами та характер поступової зміни форми і розмірів поверхні, що обробляється.

Схема різання визначає також спосіб розподілення роботи між різальними зубами протяжки. В теперішній час при протягуванні використовують дві схеми різання:

- одинарну;
- та групову.

8.3.1 Одинарна схема різання

При одинарній схемі кожний зуб протяжки має підйом на зуб на величину S_z (подача на зуб). Існує три (табл. 8.3) різновиди одинарної схеми різання:

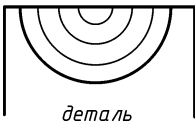
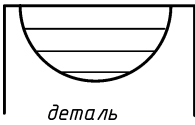
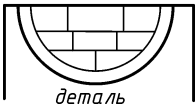
- профільна;
- генераторна;
- та комбінована.

Профільна схема різання

При профільній схемі різання всі різальні зуби протяжки мають форму (профіль) подібну до профілю поперечного перерізу повністю обробленої протягуванням поверхні деталі.

Перші різальні зуби протяжки не приймають участі в формуванні профілю обробленої поверхні і тільки видаляють основну масу припуску на протягування. Остаточне формування профілю деталі здійснюється останнім різальним зубом протяжки.

Табл. 8.3. Одинарна схема різання

Схема зрізування припуску	Пояснення
<i>профільна</i>  <i>деталь</i>	Профільна схема. Кожний зуб протяжки повторює форму профілю поверхні майбутньої деталі і має підйом на величину S_z відносно до попереднього зуба. Кожний наступний зуб збільшується у розмірі відносно попереднього. Остаточна поверхня деталі повністю утворюється останнім різальним зубом протяжки.
<i>генераторна</i>  <i>деталь</i>	Генераторна схема. Кожен зуб має підйом відносно попереднього, але за своєю формою зуби не повторюють профіль готової деталі. Кожний зуб послідовно генерує окрему частку профілю деталі. Через це дану схему зрізання припуску інколи називають “по-слідовною”.
<i>комбінована</i>  <i>деталь</i>	Комбінована схема. По суті це комбінація двох попередніх схем. Її перевага в тому, що остаточно поверхня деталі утворюється одним зубом (різальною кромкою) який має повний профіль деталі і тому не залишає на ньому рисок у місці послідовного переходу від зуба до зуба.

У протяжок, що працюють за профільною схемою різання кожний зуб виготовляють окремо, адже вони різні за розміром хоча і мають однаковий за формою (саме за формою, а не за розмірами) профіль.

При обробленні складних поверхонь профільна схема різання нерациональна. Відтворити складну форму, різну за розмірами для кожного зуба протяжки дорого. Профільну схему різання використовують лише при обробленні простих поверхонь – площин, циліндрів.

Недоліком профільної схеми різання є складність виготовлення інструмента.

Протяжки, що працюють за профільною схемою різання, мають у поперечному перерізі профіль зубів, подібний до профілю оброблюваної поверхні. При цьому за рахунок перевищення висоти попереднього зуба по відношенню до висоти зрізуються відносно тонкі і широкі шари металу по всьому периметру обробленої поверхні.

Виготовлення точного профілю на всіх зубцях протяжки і особливо на робочих, що мають різні розміри, а також заточування протяжки пов'язані зі значними труднощами, тому профільна схема різання застосовується в основному для протяжок, призначених для обробки простих поверхонь форм, наприклад циліндричних.

Генераторна схема різання

Генераторна схема різання “генерує” профіль деталі. Інколи генераторну схему називають “послідовною”. Але це не дуже вдала назва, адже всі протяжки і так працюють послідовно кожним своїм зубом.

При виготовленні протяжок, що працюють за генераторною схемою різання, усі зуби протяжки виготовляють одночасним шліфуванням абразивним шліфувальним кругом одного профілю на прохід. Далі, різальні зуби зрізують по висоті на величину відповідно з прийнятим підйомом S_z на зуб.

Така технологія виготовлення протяжок значно простіша, ніж для протяжок із профільною схемою різання. Тому собівартість протяжок, що виготовлені за послідовною схемою різання, особливо при обробці складних за формою поверхонь, значно менша ніж протяжок з профільною схемою різання.

Однак треба зауважити, що при використанні протяжок з генераторною схемою різання на обробленій поверхні можуть утворюватись

поздовжні риси внаслідок неточного виготовлення протяжки. Тому на виробництві при високих вимогах до якості обробленої поверхні в окремих випадках використовують комбіновану схему різання.

Недоліком генераторної схеми різання є поява поздовжніх рисок на обробленій поверхні.

Особливістю генераторної схеми різання є те, що зрізання припуску проводиться різальними зубами, що мають змінний профіль, що поступово переходить від прямолінійної або круглої форми до заданого профілю. Остаточне формування поверхні виробу проводиться зубами, що мають у поперечному перерізі профіль, що збігається із заданим.

Істотною перевагою генераторних протяжок є їхня технологічність; недоліком - труднощі отримання задніх кутів на допоміжних поверхнях різальних лез і нижча порівняно з профільною схемою геометрична точність профілю

Комбінована схема

Комбінована схема є послідовним поєднуванням генераторної та профільної схем.

При комбінованій схемі різання перші різальні зуби працюють за генераторною схемою та видаляють практично весь припуск на обробку. Але останні два-три різальних зуби мають повний профіль з підйомом на зуб S_z .

Внаслідок чого вони зрізують шар металу по усьому контуру, тобто працюють за профільною схемою різання. Таким чином усуваються поздовжні риси на обробленій поверхні характерні для протяжок з послідовною схемою різання.

Недоліком всіх трьох типів протяжок виконаних за одинарною схемою різання (профільна, генераторна, комбінована) є їх значна довжина.

Поряд із зазначеними схемами набуло поширення також комбіноване протягування, коли обробка проводиться за двома або трьома схемами різання. Комбіноване протягування застосовується як під

час роботи однією протяжкою, так і при використанні комплектних протяжок.

Наприклад, при протягуванні прямобічних трикутних та евольвентних шліців можуть використовуватися протяжки, у яких частина зубів працює за генераторною схемою, а частина – за профільною. При протягуванні з'єднання лопатки газової турбіни з диском перша секція першої протяжки та друга протяжка працюють за профільною схемою, а друга секція першої протяжки генераторної.

8.3.2 Групова схема різання

Протяжки з груповою схемою різання зрізують певний шар припуску товщиною S_z групою зубів. У таких протяжках усі різальні зуби розділені на групи одного діаметру. На рис.8.10 представлено групу з трьох зубів протяжки, яка утворює круглу поверхню отвору.

Групова (прогресивна) схема різання характеризується тим, що шар металу, що видаляється, розділяється на частини між окремими зубами, що утворюють секцію (групу), що складається з 2-5 зубів однакового діаметра або висоти. Залежно від виду прийнятих розділових пристроїв (шліци, лиски, викружки, фаски та ін) розрізняють ряд варіантів прогресивної схеми різання: шаховий, багатогранний, змінного різання та ін.

За своєю формою перші (різальні) зуби (на кресленні 1 та 2) групи мають радіусні викружки розташовані у шаховому порядку. Останній, зуб 3 є суцільним (круглим). Він не зрізує матеріал деталі. Його призначення тільки зачистити можливі залишки.

Діаметри різальних зубів (рис.8.11), які входять в кожну групу (на прикладі зубці 1, 2 та 3) однакові.

Діаметри групи, від першої до останньої, поступово збільшуються на певну величину. Тобто у цих протяжок задається підйом не на кожний окремий різальний зуб, а на кілька зубів поєднаних у одну групу. На прикладі цифрами 1; 2 та 3 позначені різальні

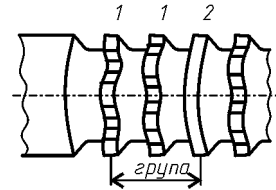


Рис. 8.10. Протяжка групової схеми різання

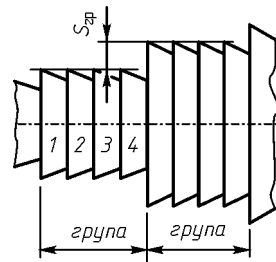


Рис. 8.11. Групова схема різання

зуби однієї групи, які мають однаковий діаметр у своїй групі, але більший на величину $2S_{гр}$ від попередньої групи.

На рис.8.12 наведено приклад групової протяжки для творення круглого отвору. Зубці 1, 2 та 3 мають однаковий розмір, але по різному оформленні. Останній 4 зуб є зачистним. Він має повний круговий профіль і здійснює “зачищення” оброблюваної поверхні.

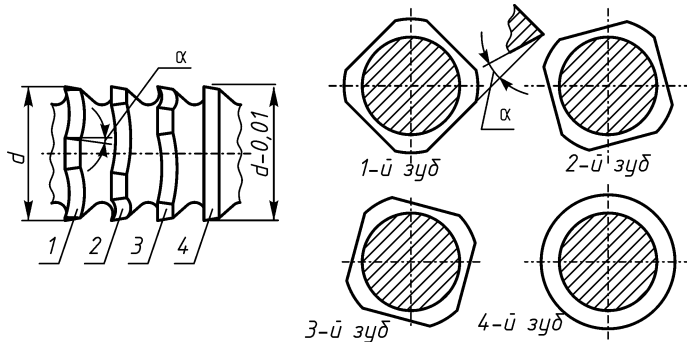


Рис. 8.12. Групова протяжка круга

По зовнішньому контуру різальних зубів зроблені фаски радіусної форми, викружки. В наслідок цього кожен зуб однієї групи зрізує метал не по всьому профілю (контуру) поверхні, що обробляється, а окремими ділянками між викружками, які поділяють весь контур профілю на окремі ділянки. Викружки на зубах розташовані у шаховому порядку.

Останній (четвертий) зуб групи має суцільну різальну кромку. Однак він не зрізує шар металу по усьому профілю отвору, а лише те, що залишилося не зрізаним попередніми зубами групи.

Діаметр останнього зуба у групі менше діаметра попередніх зубів даної групи на 0,02...0,04 мм. Це робиться для того, щоб останній зуб групи не зрізав суцільний шар металу по усьому профілю і тим самим не створював би стружку у вигляді цільного кільця, яке буде важко зняти з протяжки.

Таке явище може виникати внаслідок зменшення діаметра отвору за рахунок пружних деформацій після проходу перших зубів групи, а також у випадку надмірного зменшення діаметра перших зубів при переточуваннях.

Переваги групової схеми

Групова схема різання має ряд переваг у порівнянні із протяжками одинарної схеми різання:

- внаслідок того, що різальні зуби протяжок з груповою схемою різання зрізують метал окремими вузькими ділянками, їх товщина може бути більшою ніж товщина зрізу при одинарній схемі різання;
- це призводить до зменшення сили різання на одиницю довжини різальної кромки;
 - * тому при однаковій площі перерізу зрізаного шару протяжки з груповою схемою різання забезпечують менші зусилля різання.

Групова схема дозволяє зменшити кількість різальних зубів та застосовувати протяжки меншої довжини.

При роботі протяжок з груповою схемою різання утворюється хоч і більш товста, але рівномірна без ребра жорсткості стружка. Така стружка краще формується у виток і більш щільно укладається у впадині між зубами. Внаслідок цього можна зменшити крок між різальними зубами та довжину різальної частини протяжки приблизно на 30 % у порівнянні із протяжками з одинарною схемою різання.

Вибираючи схему різання при проектуванні протяжки слід враховувати, в першу чергу, технологічність протяжки, можливість забезпечення вимог до точності та якості оброблено поверхні, а також силові характеристики процесу протягування.

8.4 Подача на зуб

Різальна частина є основною частиною протяжки, яка визначає якість та продуктивність процесу протягування. Під час конструювання протяжок необхідно вибрати:

- величину подачі (підйому) на зуб (або групу зубів);
- крок зубів;
- та форму канавки для розміщення стружки, яка утворюється під час роботи протяжки.

Вибір цих параметрів визначає розміри та кількість зубів, а також працездатність протяжки. Але всі вони залежать від подачі на зуб (орієнтовно за табл.8.4).

Визначення подачі на зуб (або підйому зубів) протяжки має визначальний вплив на весь процес протягування. Чим товща стружка, яку зрізує окремий зуб, тим коротша протяжка і тим більша її продуктивність. Але занадто товста стружка, через значні зусилля різання, може спричинити розрив протяжки та поломку верстату.

Табл. 8.4. Подача на зуб

Деталь	S_z , мм
Сталь	0,03...0,08
Чавун	0,04...0,10

При роботі з великою подачею об'єм канавки може статись замалим для розміщення стружки і навіть коли протяжка не зламається якість обробленої поверхні буде низька.

Ширина стружки, яку зрізує окремий зуб, є загалом величиною перемінною. Через це у разі постійної (не змінної) величини подачі на зуб площа поперечного перерізу стружки, а також зусилля протягування є перемінними по довжині інструмента.

Отже, для рівномірного завантаження верстату та інструмента доцільно змінювати величину подачі на зуб для окремих частин протяжки. Однак це значно ускладнює виготовлення протяжки. Тому зазвичай підйом на зуб роблять постійним для всієї протяжки, а на останніх 2...3 різальних зубах, що розташовані перед калібруючими трохи зменшують.

Вибираючи величину подачі S_z за табл.8.4 треба враховувати, що малі товщини зрізаної стружки забезпечують зменшення шорсткості обробленої поверхні та потребують менших зусиль протяжного верстату. У разі вибору великої подачі довжина протяжки виявляється коротшою, однак значно підвищуються зусилля різання.

Не треба застосовувати подачі більші за 0,15 мм під час оброблення сталі та 0,2 мм під час оброблення чавуну, так як у такому випадку різко зростає знос інструмента та погіршується якість обробленої поверхні.

Не треба застосовувати подачі що дають дуже тонкі стружки менші за 0,012...0,015 мм. Це потребує додаткової доводки різальних кромek під час заточування протяжки та частого переточування інструмента.

Протяжки профільної схеми різання зазвичай мають однакову подачу для всіх зубів за винятком кількох останніх на яких по-

дача поступово зменшується. Ці зубці називають перехідними або зачисними. Вони необхідні для плавного переходу від різальних до калібрувальних зубів, що дозволяє отримати меншу шорсткість обробленої поверхні.

Різний розподіл подачі між окремими зубами мають протяжки групової схеми різання у яких усі різальні зуби поділяють на чорнові, перехідні та чистові. Чорнові зуби зрізують основний припуск, а перехідні та чистові виконують кінцеве оформлення поверхні деталі. В окремих випадках перехідні зуби можливо не виконувати, застосовуючи тільки чорнові та чистові зуби.

8.5 Процес стружкоутворення

Процес стружкоутворення при протягуванні супроводжується тими самими явищами, як і у будь-якому іншому типу обробки металів різанням. Тут також спостерігаються деформації, тепловиділення, наростоутворення, тертя та зношування інструмента (протяжки).

Процес різання при протягуванні здійснюється з тонкими стружками (при внутрішньому протягуванні з s_z у межах 0,05...0,2 мм), тому стружка виходить сильно деформованою. При обробці сталей сходить зливна стружка; при обробці чавунів – стружка надлому.

Зрізана стружка завивається в спіраль і розміщується у западини між зубами, піддаючись при цьому значним додатковим деформаціям. Тому западини між зубами повинні бути таких розмірів, щоб стружка вільно в них поміщалася, інакше може статися защемлення протяжки та її розрив.

У всіх випадках протягування сталей утворюється нарід (застійна зона). Чим більша товщина зрізу, менше передній кут зуба протяжки і більший радіус заокруглення різальної кромки, тим більший нарід. Проникаючи під задню поверхню зуба протяжки, нарід погіршує якість обробленої поверхні.

Так як протягування здійснюється з малими товщинами зрізу і малими швидкостями різання (1...10 м/хв), то умови для прояву властивостей змащувальної рідини тут особливо сприятливі.

При протягуванні сталей застосовується в основному сульфорезол (8...15 л/хв при внутрішньому протягуванні і 30...40 л/хв при зовнішньому), який в порівнянні з 10 % емульсією знижує силу різання на 13 %, а в порівнянні з обробкою без охолодження на 35 %.

Необхідно також враховувати, що зі збільшенням довжини заготовки при роботі однієї і тієї ж протяжки зростає кількість зубів,

що працюють одночасно. Отже, зростає і осьова сила різання. Ця обставина дуже важлива, оскільки якщо протяжка розрахована на певну довжину заготовки, то при більшій довжині заготовки сила збільшиться, що може призвести до розриву протяжки.

Знос протяжки

У загальному випадку зуб протяжки зношується по задній поверхні, по куточках, стрічкою (у калібрують зубів) і по передній поверхні. Найбільш характерним і найчастіше лімітуючим зносом є знос задньої поверхні.

Враховуючи, що протяжка переважно застосовується, як чистовий інструмент (виняток становлять зовнішні протяжки), за критерій зносу приймається технологічний критерій. За нормами максимально допустиме зношування по задній поверхні зуба приймається (при обробці сталі та чавуну) у наступних межах:

- для циліндричних протяжок до 0,2 мм;
- для шліцевих та шпонкових до 0,3 мм.

Середні періоди стійкості протяжок рекомендуються такі:

- для шпонкових протяжок (шириною до 10 мм) 120 ... 180 хв;
- для шліцевих протяжок (діаметром 32 ... 52 мм) 400 ... 600 хв;
- для циліндричних протяжок (діаметром 30 мм) 180 ... 200 хв.

Заточуються протяжки по передній поверхні. В результаті заточування зуби калібрувальної частини поступово переходять у зубці різальної частини.

Швидкість різання

На швидкість різання, що допускається різальними властивостями протяжки, впливають такі фактори:

- фізико-механічні властивості оброблюваного металу;
- матеріал протяжки;
- склад охолоджувальної рідини;
- величина подачі на зуб;
- геометричні елементи зуба протяжки.

Швидкість різання при протягуванні зазвичай невелика і лімітується не інструментів, а умовами отримання високоякісної обробленої поверхні. Збільшення швидкості різання при протягуванні не дає помітного збільшення продуктивності, так як допоміжний час в операції простягання має значну питому вагу по відношенню до машинного часу.

При звичайному охолодженні рідина подається на зуби протяжки в місці їхнього входу в заготовку. У міру просування протяжки в заготовку дія змащувально-охолоджувальної рідини зменшується. Це знижує стійкість протяжок, причому найбільш інтенсивно при обробці жароміцних матеріалів. Погіршується також якість обробленої поверхні.

8.6 Зуби протяжки

Стружкова канавка

Головним елементом, який найбільше впливає на всю роботу протяжки є форма та розміри стружкової канавки між зубами протяжки. Вони мають суттєвий вплив на її загальну довжину та міцність.

Протяжка працює на розрив і стружкова канавка послаблює її. Зрізана стружка повинна мати можливість вільно розміститись у канавці між зубами без значного деформування. Загалом вона скручується у виток, який повинен вільно розміститись у канавці. Однак через те, що виток стружки займає більший об'єм ніж об'єм зрізаного матеріалу, канавка для стружки повинна бути більшою ніж шар металу перетвореного у стружку.

Отже, співвідношення між об'ємом канавки та об'ємом металу, зрізаного окремим зубом, повинно бути більшим за одиницю. Це співвідношення називають коефіцієнтом заповнення канавки та позначають як k (у деякій літературі як K).

Коефіцієнт k заповнення стружкової канавки залежить від прийнятої величини подачі на зуб s_z та матеріалу заготовки. У загальному випадку він дорівнює $k = 2, 5 \dots 3, 5$.

Кількість зубців

Кількість зубів що одночасно працюють (знаходяться у контакті із заготовкою) має суттєвий вплив на процес оброблення шліцьового отвору.

Загалом, чим більша кількість зубів протяжки одночасно контактує з заготовкою, тим більш плавно працює інструмент. Але чим більше одночасно працюючих зубів, тим менша відстань між ними і тим трудніше розмістити стружку у стружковій канавці.

Розміри канавки

Розміри канавки напряму впливають на кількість зубів що працюють одночасно. Чим більша канавка, тим більша відстань між зубцями і тим менша кількість зубців одночасно в роботі.

Прийнято, що кількість зубів протяжки, які одночасно працюють, не повинна бути меншою трьох зубів.

При протягуванні кожний зуб врізається в заготовку всією кромкою одночасно. Це призводить до різкого підвищення зусиль різання (практично відбувається удар). Через це інструмент працює із значними коливаннями. Але чим більше зубів в роботі – тим менше коливання зусиль на загальному фоні.

Форма канавки

Форма канавки для стружки (рис.8.13) залежить тільки від матеріалу заготовки:

- канавку за рис.8.13,*а* застосовують при обробленні пластичних матеріалів, які утворюють м'яку зливну стружку, що не дуже добре згортається у виток та займає значний простір;
- канавку за рис. 8.13,*б* застосовують при обробленні звичайних конструкційних сталей та матеріалів, які утворюють стружку надлому. Така стружка добре поділяється на окремі елементи та досить щільно заповнює канавку між зубами;
- канавку за рис. 8.13,*в* застосовують при обробленні довгих отворів, коли необхідно розмістити велику кількість стружки.

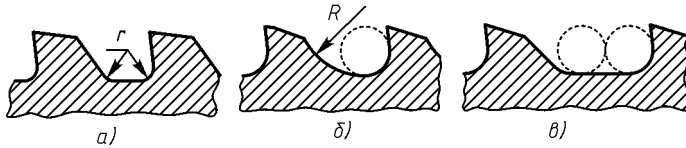


Рис. 8.13. Форма стружкової канавки.

- a* – проста стружкова канавка “стандартної” форми;
- б* – канавка збільшеного об’єму “радіусної” форми;
- в* – канавка для обробки матеріалів які утворюють подрібнену стружку (наприклад, чавун)

Загалом мілку канавку застосовують у випадку, коли зусилля протягування будуть занадто великі і розміри канавки (її глибину) необхідно буде зменшити, щоб збільшити площу поперечного перерізу протяжки. Але це можливо визначити тільки після перевірки протяжки на міцність.

8.7 Загальна методика проектування

Початкові дані

Заготовка, що обробляється протягуванням:

- матеріал; твердість по Брінель;
- стан (після нормалізації відпалу, загартування);
- підготовка поверхні під протягування (прокат, лиття, штампування або після механічної обробки);
- діаметр отвору до обробки та після обробки з полем допуску, параметр шорсткості поверхні;
- найбільша довжина протягування (або за наявності кількох ділянок – довжина кожної ділянки)

Послідовність розрахунків

1. Встановлюють групу оброблюваності за маркою та твердістю матеріалу заготовки. Якщо немає заданої марки матеріалу, то групу оброблюваності призначають для найближчої за хімічним складом і твердості марки матеріалу заготовки.

2. За встановленою групою оброблюваного матеріалу вибирають інструментальний матеріал залежно від типу виробництва

виробництво серійне	Р6М5
виробництво мало-серійне	ХВГ

Протяжки зі швидкорізальної сталі діаметром до 15 мм і протяжки з ХВГ всіх розмірів виготовляють цільними; діаметром понад 40 мм – звареними або збірними (хвостовик разом із передньою шийкою, перехідним конусом та частиною передньої напрямної з'єднуються з робочою частиною за допомогою різьблення).

3. Зварюють хвостовик зі стрижнем протяжки по шийці на відстані 15...25 мм від початку перехідного конуса. Матеріал хвостовика – сталь 45Х чи сталь 40Х.

Тип хвостовика вибирають залежно від патрона, що є на верстаті. Для стандартних хвостовиків розміри приймають згідно державних стандартів³⁰.

4. Передній і задній кути вибирають залежно від групи оброблюваності та виду зубів.

Передній кут для чорнових та перехідних зубців $\gamma = 15^\circ$, чистові та калібрувальні зубці $\gamma_{\text{чист}} = 18^\circ$.

Задній кут чорнових та перехідних зубців $\alpha = 3^\circ$, чистових $\alpha_{\text{чист}} = 2^\circ$, калібрувальних $\alpha_{\text{кал}} = 1^\circ$.

5. Швидкість різання приймають від 4 до 9 м/хв залежно від матеріалу деталі та величини подачі.

6. Глибина h стружкової канавки

$$h = \sqrt{K l s_z}, \quad (8.1)$$

де K – коефіцієнт заповнення стружкової канавки (для сталі $K = 2,5 \dots 4,5$);

l – довжина отвору, що обробляється протягуванням;

s_z – величина подачі на зуб.

7. Радіуси r та R дна стружкової канавки (рис.8.13) залежно від глибини h канавки

$$r = 0,5 h, \quad (8.2)$$

$$R = 1,5 h + 0,4. \quad (8.3)$$

³⁰ГОСТ 28442. Протяжки для цилиндрических, шлицевых и гранных отверстий. Технические условия.

8. Крок чорнових зубів вибирають залежно від прийнятої глибини стружкової канавки за формулою

$$t_{\text{чорн}} = 2,6 h + 0,2. \quad (8.4)$$

Крок та профіль перехідних зубів – такі як у чорнових.

9. Кількість одночасно працюючих зубів (таких, що одночасно ріжуть) знаходять за формулою

$$z_p = \frac{l}{t_{\text{чорн}}} + 1. \quad (8.5)$$

10. Сила різання обмежується тяговою силою Q верстата або допустимою міцністю протяжки (допустимим зусиллям P) в небезпечних перерізах хвостовика та по западині перед першим зубом. Найменшу з цих сил слід приймати, як максимально допустиму силу різання.

11. Далі за конструктивними міркуваннями оформлюють робочі кресленики протяжки³¹.

³¹ Наведена методика є орієнтовною. Значно повна методика викладена у наступних підручниках, які на переконання автора є найкращими.

Щеголев А.В. Конструирование протяжек / А. В. Щеголев. Москва-Ленинград: Машгиз, 1960. – 352 с.

Маргулис Д. К. Протяжки для обработки отверстий / Д. К. Маргулис, М. М. Тверской, Н. В. Ашихмин. – Москва: Машиностроение, 1982. – 322 с.

Запитання для самоконтролю

1. Назвіть типи протяжок.
2. У чому полягає різниця між внутрішніми та зовнішніми протяжками?
3. Основні конструктивні елементи протяжки?
4. Призначення калібрувальних зубів?
5. Чи є у протяжок рух подачі?
6. У якому діапазоні швидкостей працюють протяжки?
7. Які функції виконує передні напрямна протяжки?
8. Яку форму має мати передній хвостовик?
9. Яке призначення заднього хвостовика протяжки?
10. Яку величину має передній кут протяжки?
11. Я якою метою застосовують калібрувальні зубці?
12. Форма передньої поверхні протяжок для оброблення круглих отворів?
13. Форма стружкової канавки залежно від матеріалу деталі?
14. Охарактеризуйте одинарну схему різання при протягуванні.
15. Охарактеризуйте профільну схему різання при протягуванні.
16. Охарактеризуйте групову схему різання.
17. Охарактеризуйте одинарні схеми різання.
18. Які переваги має групова схема різання?
19. Опишіть діаметральний розподіл розміру зубів в групі.
20. Призначення задньої напрямної.

Посилання

1. Канцев П. Г. Протяжные работы / П. Г. Канцев – Москва : Высш. школа, 1985. – 191 с.
2. Кирсанов Г. Н. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов / Г. Н. Кирсанов. – Москва: Машиностроение, 1986. – 288 с.
3. Маргулис Д.К. Протяжки переменного резания / Д. К. Маргулис. – М.: Машиностроение, 1962. – 286 с.
4. Протяжки для обработки отверстий / Маргулис Д.К., Тверской М. М., Амихлин В.И. и др. - М.: Машиностроение, 1986. – 230 с.
5. Щеголев А.В. Конструирование протяжек : текст / А.В. Щеголев. – М.: Машиностроение, 1960. – 346 с.

У вченні не можна зупинятись.

Сюнь-Цзи

9 РІЗЕНАРИЗНІ ІНСТРУМЕНТИ

Утворення різьби здійснюється інструментами, які можна розділити на три групи залежно від методу обробки різьби [3, 4]:

- нарізування різьби лезовим інструментом (одно- та багатозубим) з утворенням стружки:
 - різьбові різці і гребінки;
 - мітчики;
 - різьбонарізні плашки;
 - різьбонарізні головки;
 - різьбові фрези.
- шліфування різьби одонитковими і багатонитковими дрібнозернистими шліфувальними кругами;
- накатування різьби :
 - накатні ролики;
 - плоскі накатні - плашки;
 - голівки з накатними роликами;

Часто нарізування різьби розділяють на дві операції:

- чорнову;
- і чистову, особливо це важливо при нарізуванні точної і довгої різьби.

У сучасному машинобудуванні найбільш поширені такі інструменти для утворення різьби:

- токарні різьбові різці (внутрішня та зовнішня різьби);
- мітчики (тільки внутрішня різьба);
- плашки (тільки зовнішня різьба).

9.1 Різьбові різці

Історично це самий перший інструмент для утворення різьби (рис. 9.2). Різьбові різці застосовують для нарізування зовнішньої і внутрішньої різьби [1]. По конструкції різьбові різці можуть бути стержневими, призматичними і круглими, а також односторонніми і багаторічковими – фасонними (рис.9.1).

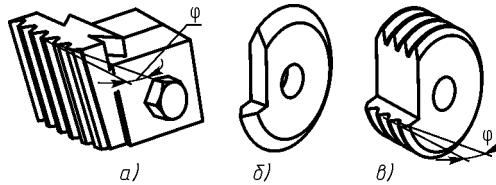


Рис. 9.1. Різці різьбові фасонні.

а – призматичний фасонний різець; *б* – дисковий різьбовий різець;
в – круглий фасонний різець

Звичайний токарний різець

Кут профілю різця приймають рівним $59^{\circ}30'$, тобто на $30'$ менше кута профілю різьби який за стандартом дорівнює $60'$. Зменшення кута профілю різця відносно профілю різьби на $30'$ пояснюється розбиванням різьби в процесі її нарізування.

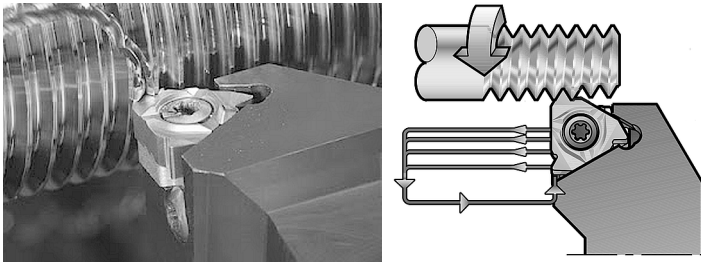


Рис. 9.2. Утворення різьби токарним різцем

Від'ємний передній кут ($-5^{\circ} \dots -8^{\circ}$) на фасці шириною 0,7 мм робиться тільки у різців, призначених для чорнових робіт. Для чистових (фінішних) робіт передній кут зазвичай дорівнює, нулю.

Задній кут на лівій різальній кромці більше, ніж на правій. Збільшене значення заднього кута (до 8°) викликане впливом подачі (кроку

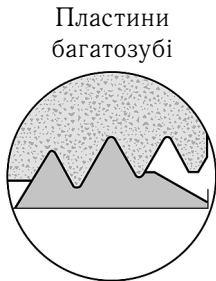
різьби, що нарізується) на дійсне значення заднього кута. Бічна поверхня різьби є гвинтовою поверхнею, тому дійсні задні кути різця при нарізуванні різьби будуть зміняться залежно від кута профілю різьби і кута її підйому.

При нарізуванні точних трапецоїдних різьб різцень з прямолінійними різальними кромками необхідно встановлювати так, щоб вони розташовувалися в осьовому перерізі різьби (тобто строго горизонтально по відношенню до верстата). Тільки в цьому випадку можливо геометрично правильно сформувати різьбу [2]. Теоретично поверхня стандартної метричної різьби є поверхнею Архімеда.

Проте таку установку через різні умови різання справа і ліворуч (різні передні кути) можна застосувати лише при чистовій обробці різьб. При чорновій обробці передню поверхню різця доцільно розташовувати в площині, нормальній до напрямку нарізуваної різьби.

В цьому випадку умови різання справа і ліворуч будуть однакові і можна застосовувати інтенсивніші режими обробки. Але в цьому випадку прямолінійні різальні кромки різця не дають геометрично правильну форму профілю різьби в осьовому перерізі: профіль різьби виходить увігнутий.

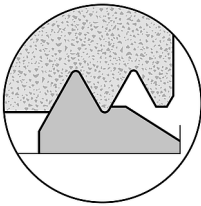
В сучасному автоматизованому виробництві застосовують твердосплавні пластини з “готовим” профілем відповідно до тієї різьби, яку утворюють. Існує три типи таких пластин. Кожен тип пластини використовують у певних умовах.



Застосування пластин повного профілю з кількома вершинами скорочує кількість проходів, що збільшує продуктивність. Наприклад, застосування пластини з двома вершинами удвічі скорочує кількість проходів.

В даному випадку сили різання збільшуються пропорційно до кількості зубів, тому зростають вимоги до жорсткості пристроїв і потрібно зменшення вильоту інструмента. Крім того, потрібен достатній простір для виходу інструмента.

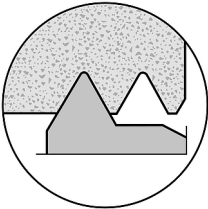
Пластини повного профілю



Профіль різьблення повністю формується пластиною, що забезпечує високу геометричну точність профілю. Кожному кроці різьблення відповідає своя рзальна пластина.

Оскільки пластина створює як западину, так і вершину профілю, інструмент піддається значним навантаженням, що висуває підвищені вимоги до налагодження та інструмента.

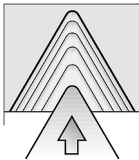
Пластини неповного профілю



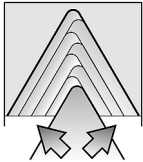
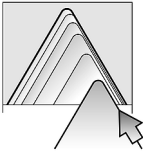
Одна пластина може нарізати різьблення з різними кроками, що дозволяє скоротити номенклатуру інструменту. Впадина та бічні сторони профілю формуються різбовою пластиною.

Утворення вершини відбувається на попередній операції точіння з високою точністю обробки. Для зниження сил різання та зменшення ризику виникнення вібрацій слід застосовувати пластили з неповним профілем (V-профілем).

Метод врізання може істотно впливати на процес утворення різби. Він впливає на контроль стружкоутворення, характер зносу пластин та якість утвореної різби. Насправді вибір методу врізання залежить від верстата, геометрії пластини, матеріалу заготовки та кроку різби. Найбільш поширеними є наступні методи формоутворення різби.



Використовується на універсальних верстатах та на більшості верстатів з ЧПК. Перший вибір для обробки матеріалів, схильних до зміцненню в процесі різання, а також для нарізування різьблення з дрібним кроком.



Більшість верстатів з ЧПК мають вбудовані цикли для обробки різьблення методом одностороннього бокового врізання. Використовуйте метод бічного одностороннього врізання у разі незадовільного стружкодроблення при радіальному врізанні. Осьовий напрямок сили різання знижує ризик вібрацій. Контроль за напрямом сходу стружки. Застосовується із пластинами будь-якої геометрії.

Рекомендується для обробки різьблення з великими профілем та кроком, при тривалих робочих циклах обробки різьблення, коли потрібна висока стійкість інструменту. Вимагає спеціального програмування.

Призматичні фасонні різці

Для нарізання зовнішньої різьби застосовується також призматичний фасонний різець (рис.9.1,*a*). Такий різець являє собою призматичний стовпчик, що має в перерізі профіль відповідний профілю різьби.

Різець закріплюється у спеціальній державці, яка, своєю чергою, кріпиться у резцетримачі верстата. Передній кут такого різця (особливо для чистових робіт) приймається рівним нулю. Задній кут утворюється за рахунок відповідного нахилу різця в державці і зазвичай становить $10 \dots 15^\circ$.

На рис. 9.3 зображена твердостплавна різцева вставка, яку використовують в автоматизованому виробництві.

Основною перевагою призматичних різців у порівнянні з стрижневими є збільшення кількості можливих переточок. Призматичні різці можна застосовувати при невеликих кутах підйому різьби, також у них не можна давати різні задні кути на бокових сторонах профілю. Ця обставина обмежує застосування призматичних різців, в основному, нарізанням трикутних різьб з невеликим кутом підйому.

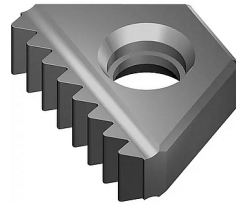


Рис. 9.3. Різцева призматична вставка

Круглі фасонні різці

Круглий різьбовий різець представлений на рис.9.4. Виготовлення круглого різця простіше, ніж призматичного.

Круглі різці для зовнішньої різьби виготовляють зазвичай насадними (з отвором). Різець закріплюється на спеціальній державці.

Перевагою круглого фасонного різця є значний термін працездатності. Адже такий різець переточують тільки по передній поверхні, в наслідок чого активна висота різця становить майже три його діаметри.

Недоліком круглого фасонного різця є неможливість керувати величинами задніх кутів, що ускладнює процеси різання.



Рис. 9.4. Круглий різьбовий різець

9.1.1 Проектування різців

Призматичні різці

1. Переріз державки приймають прямокутним, квадратним або круглим залежно від типу верстата. Головним чином на параметри державки впливають: висота центрів та розмір різцетримача (рис.9.5).

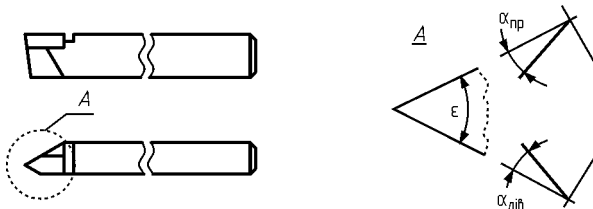


Рис. 9.5. Різець різьбовий

2. Задній кут α приймають у межах $12...15^\circ$.

3. Боковий задній кут α_τ виміряний у головній січній площині

$$\operatorname{tg} \alpha_\tau = \operatorname{tg} \alpha \sin \frac{\epsilon}{2}, \quad (9.1)$$

де $\frac{\epsilon}{2}$ – це поливна кута профілю різьби (для стандартної метричної різьби $\epsilon/2 = \alpha/2 = 30^\circ$).

4. Під час роботи задні бокові кути, за рахунок наявності підйому витка різьби, будуть змінюватись.

На лівій стороні різця задній боковий кут $\alpha_{\tau}^{\text{лів}}$ буде

$$\alpha_{\tau}^{\text{лів}} = \alpha_{\tau} + \delta', \quad (9.2)$$

$$\text{tg } \delta' = \text{tg } \tau_1 \cos \frac{\epsilon}{2}, \quad (9.3)$$

$$\tau_1 = \frac{P}{\pi d_1}, \quad (9.4)$$

де τ_1 – кут підйому витка різьби розташований на її внутрішньому діаметрі;

P – крок різьби яку утворюють;

d_1 – внутрішній діаметр різьби.

Задній боковий кут $\alpha_{\tau}^{\text{пр}}$ на правій стороні різця буде

$$\alpha_{\tau}^{\text{пр}} = \alpha_{\tau} - \delta'', \quad (9.5)$$

$$\text{tg } \delta'' = \text{tg } \tau_0 \cos \frac{\epsilon}{2}, \quad (9.6)$$

$$\tau_0 = \frac{P}{\pi d_0}, \quad (9.7)$$

де τ_0 – кут підйому витка різьби розташований на її зовнішньому діаметрі;

P – крок різьби яку утворюють;

d_0 – зовнішній діаметр різьби.

За отриманими результатами у разі необхідності корегують задні кути різьбового різця.

5. Передній кут γ для чорнових різців приймають залежно від матеріалу деталі рівним $\gamma = 5 \dots 25^\circ$.

6. У разі коли для чистового оброблення застосовують токарні різці з додатнім переднім кутом, профіль утвореної деталі буде відрізнятись від номінального. Щоб запобігти цьому різець корегують.

Дійсна глибина t_p профілю різця та кут ϵ_p при вершині повинні дорівнювати

$$t_p = \left(\sqrt{r_0^2 - r_1^2 \sin^2 \gamma} - r_1 \cos \gamma \right) \cos (\alpha + \gamma), \quad (9.8)$$

$$\text{tg } \frac{\epsilon_p}{2} = \frac{P}{2t_p}, \quad (9.9)$$

де t_p – висота профілю різця в його передній поверхні (площині);

r_0 – зовнішній радіус різьби;

r_1 – внутрішній радіус різьби;

P – крок різьби.

Для чистових різців передній кут γ приймають рівним $\gamma = 0^\circ$.

Круглі різці

Для круглих різців що утворюють різбову поверхню застосовують такі самі математичні залежності що і для призматичного різця. Однак, задній кут у круглих різців (рис.9.6) отримують не заточуванням інструмента, а тим що встановлюють його вище осі деталі на величину h яку розраховують за формулою

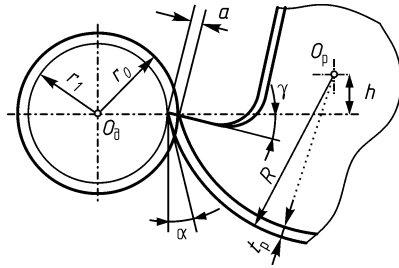


Рис. 9.6. Кути круглого різця

$$h = \frac{D}{2} \sin \alpha = R \sin \alpha, \quad (9.10)$$

де D – найбільший зовнішній діаметр різця;

R – найбільший зовнішній радіус різця;

α – задній кут різця, зазвичай $\alpha = 10 \dots 12^\circ$

Висота профілю t_p круглого різця в його радіальному перерізі становить

$$t_p = R - \sqrt{R^2 + a^2 - 2Ra \cos(\alpha + \gamma)}, \quad (9.11)$$

$$a = \sqrt{r_0^2 - r_1^2 \sin^2 \gamma - r_1 \cos \gamma}, \quad (9.12)$$

де r_0 – радіус зовнішнього діаметр різьби;

r_1 – радіус внутрішнього діаметр різьби.

В теперішній час різьбові різі застосовують тільки в одиничному виробництві.

9.2 Мітчики

Мітчики призначені для утворення внутрішньої різьби в наскрізних або глухих отворах. Утворення різьби (нарізування) мітчиками є основним способом виготовлення внутрішніх різьб, особливо при обробленні отворів малих і середніх діаметрів. Різьбоутворення мітчиками може виконуватись як ручним так і машинним способами.

9.2.1 Конструкція мітчика

Формування різьб мітчиком виконується у декілька етапів. Спочатку різьбу утворюють чорновим мітчиком (першим), а потім чистовим (другим). Вони відрізняються формою забірного конуса і діаметральними розмірами (рис.9.7).

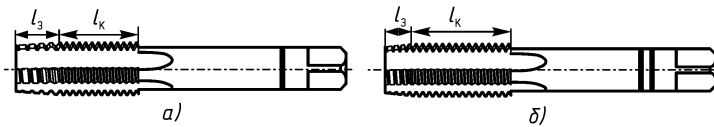


Рис. 9.7. Комплект ручних мітчиків.

а – перший мітчик у комплекті;

б – другий мітчик у комплекті

Перший мітчик (рис.9.7,а) має довший забірний конус l_3 довжиною 4...6 витків різьби. Другий мітчик (рис.9.7,б) має забірний конус завдовжки 2...3 витка різьби.

Такі мітчики завжди йдуть одним комплектом. Довжина робочої частини для обох мітчиків однакова. Отже, другий мітчик має довшу калібрувальну частину l_k . Загальна довжина обох інструментів також однакова.

Перший мітчик має на своєму хвостовику одну риску, другий – дві. Іноді застосовують комплект мітчиків з трьох штук: чорновий – напівчистовий – чистовий.

На рис.9.7 зображений стандартний комплект з двох мітчиків – чорнового і чистового.

Для вільного проходження мітчика через наскрізний отвір деталі, а також для нарізування різьби в отворах завглибшки більшою, ніж довжина робочої частини, діаметр хвостовика мітчика має бути менше внутрішнього діаметру різьби приблизно на 0,25...1,5 мм. У мітчиків, менших МЗ, з метою зменшення поломок інструмента,

діаметр хвостовика виконують рівним або більшим зовнішнього діаметру робочої частини.

Матеріал мітчика

Для виготовлення мітчиків застосовують інструментальні сталі типу Р6М5. Мітчики розмірів М10 і менш виконують цілісними, більше М10 роблять зварними з хвостовиком із сталі 40Х.

9.2.2 Зрізання припуску

Різальна частина мітчиків формує профіль різьби за генераторною схемою, тобто поступово окремими частинами. Формування різьбового профілю за генераторною схемою наведено на рис.9.8 на якому:

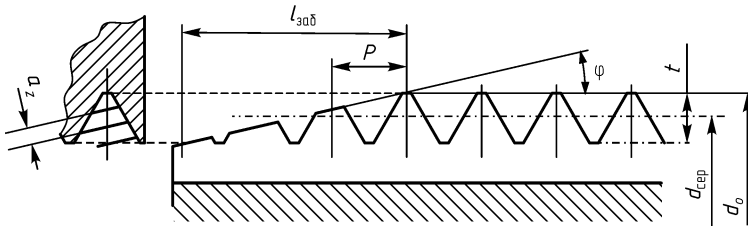


Рис. 9.8. Формування профілю різьби.

P – осьовий крок різьби; φ кут заборного конуса;
 d_o – внутрішній діаметр отвору; $d_{сер}$ – середній діаметр різьби;
 t – висота (глибина) профілю різьби

Кожен різальний профіль зубця мітчика зрізує стружку певного перерізу та однакової товщини a_z . Профіль різьбової западини утворюється в результаті послідовного підсумовування роботи допоміжних кромок різальних профілів, тобто за генераторною схемою.

Забірна частина мітчика представляє гвинтову поверхню що є зрізаною під кутом φ забірною конуса. При своєму гвинтовому русі кожен наступний зубець мітчика зрізує частину припуску завтовшки a_z .

Перший та другий мітчики відрізняються між собою розмірами профілю різальних кромок та схемою видалення припуску яка наведена на рис.9.9.

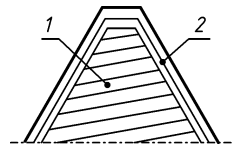


Рис. 9.9. Розподіл припуску між мітчиками

Особливістю є те, що чорновий мітчик 1 (перший) зрізує припуск за генераторною схемою, а чистовий 2 (другий) – за профільною (кожен зріз повторює профіль готової різьби).

9.2.3 Геометричні параметри мітчика

Передній кут мітчиків

Профіль стружкової канавки мітчика має бути обкреслений плавними лініями для забезпечення безперешкодного сходу стружки у канавці (рис.9.10).

Це досягається заточуванням і доведенням передньої поверхні та стружкової канавки, при цьому необхідно забезпечити потрібне значення переднього кута γ на ділянці, що перевищує висоту різбового профілю інструменту.

Рекомендовані значення передніх кутів, залежно від оброблюваного матеріалу, рекомендовано наступні: для сталей 8...10°, для кольорових металів 12...15°, для чавунів 0...5°.

Необхідно зауважити, що у стандартного мітчика передній кут однаковий для всіх його частин.

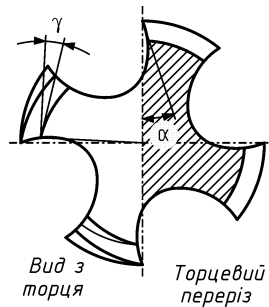


Рис. 9.10. Геометричні параметри мітчика

Задній кут мітчиків

Задня поверхня утворюється при затилуванні різальної частини і має конус, вісь якого не збігається з віссю мітчика. Таким чином, кожне лезо мітчика заточують по своїй конічній поверхні. Затилування мітчиків здійснюється в радіальному напрямі.

Схема пристрою для затилування мітчиків наведена на рис.9.11. Абразивний круг має

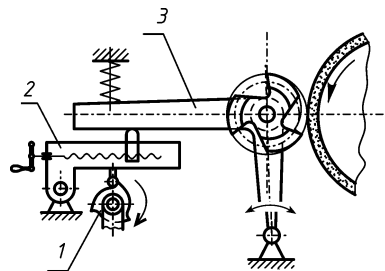


Рис. 9.11. Затилування мітчика

конічну поверхню, яка формує забірний конус мітчика. Сам пристрій має такі конструктивні елементи:

- 1 – кулачок, від нього залежить задній кут мітчика;
- 2 – кронштейн із змінним плечем (для настроювання);
- 3 – каретка яка здійснює коливальні рухи.

Форма та розміри задньої поверхні мітчика різна для різних частин. Заборна частина має конічну форму з відповідними задніми кутами різання. Калібрувальна частина має форму циліндричної гвинтової поверхні.

На рис.9.12 наведені геометричні параметри для калібрувальної та заборної частин мітчика. Задній кут на калібрувальній частині дорівнює нулю, а на заборній 3...5°. Однак на кресленні вказують не величину заднього кута α , а величину затилювання K , яку розраховують за формулою

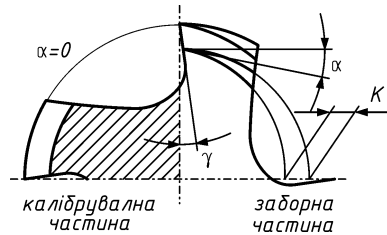


Рис. 9.12. Геометрія затилювання

$$K = \frac{2\pi r}{Z} \operatorname{tg} \alpha, \quad (9.13)$$

де r – радіус мітчика, мм;
 Z – кількість зубів мітчика;
 α – задній кут на забірній частині мітчика.

9.2.4 Мітчики машинні

Машинні мітчики можуть мати прямі або гвинтові стружкові канавки, що проходять через робочу частину. Найбільше поширення мають машинні мітчики з прямими стружковими канавками. Зовні вони відрізняються від ручних мітчиків коротшою заборною частиною l_1 та наявністю, на хвостовій частині, кільцевої канавки радіусу r (рис.9.13).

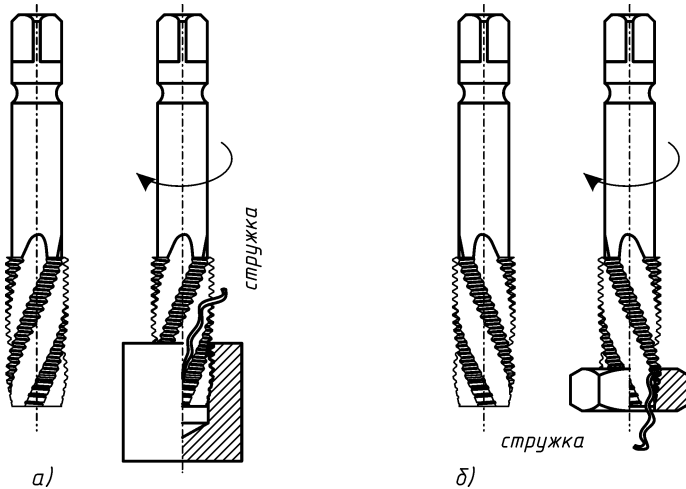


Рис. 9.14. Видалення стружки.
(Цілеспрямоване відведення стружки у заданому напрямі
під час обробки глухих або наскрізних отворів)

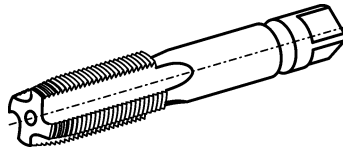


Рис. 9.13. Мітчик машинний

Машинні мітчики з гвинтовими стружковими канавками під кутом ω (рис.9.14) застосовують для управління напрямком відведення стружки з отвору.

Мітчики з правою гвинтовою стружковою канавкою направляють стружку убік протилежний осьовому переміщенню інструмента, тобто виводять стружку з отвору (рис.9.14,а). Тому такі мітчики переважно використовуються при утворення різьби в глухих отворах.

Мітчики з лівою гвинтовою стружковою канавкою направляють стружку убік, співпадаючий з осьовим переміщенням інструмента, і використовуються для нарізування різьби в наскрізних отворах (рис.9.14,б).

Мітчики з гвинтовими стружковими канавками використовуються також для нарізування різьби в отворах з переривчастою поверхнею.

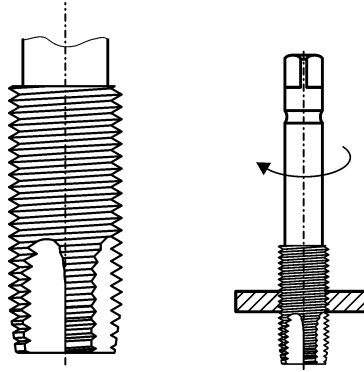


Рис. 9.15. Мітчик з укороченою стружковою канавкою.
(Утворення різьб у деталях малої товщини наприклад, листовий матеріал товщиною декілька міліметрів)

Мітчики з укороченими канавками (рис.9.15) мають добре базування та надійне центрування в отворі заготовки. Їх застосовують для нарізування різьби в наскрізних отворах тонкостінних деталей.

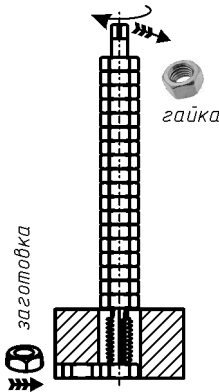


Рис. 9.16. Гайковий прямий мітчик

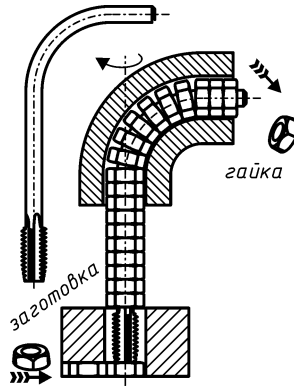
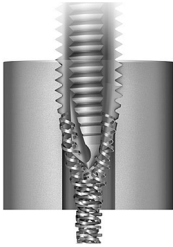


Рис. 9.17. Гайковий вигнутий мітчик

Гайкові мітчики призначені для нарізування різьби в заготовках гайок. Вони бувають прямі (рис.9.16) та вигнуті (рис.9.17). Гайкові мітчики працюють безперервно до заповнення хвостовика готовими гайками, далі гайки віддаляються.

Типи оброблюваних отворів

Конструкція робочої частини мітчика залежить від типу отвору в якому утворюють різьбу. Існує декілька основних типів отворів для яких застосовують принципові конструкційні особливості мітчиків.



Мітчик зі спіральною підточкою для наскрізних отворів. Найміцніша конструкція. Підходить для важких умов обробки. Виштовхує стружку вперед через отвір. Призначений для нарізання різьблення в наскрізних отворах.



Мітчик зі спіральними стружковими канавками для глухих отворів. Найбільш поширений тип мітчика. Виводить стружку вгору вздовж хвостовика. Призначений для нарізання різьблення у глухих отворах.



Мітчик з прямими стружковими канавками для будь-яких отворів. Для обробки матеріалів, що дають коротку стружку, зокрема чавуну. Часто використовується в автомобільній промисловості, наприклад при виробництві насосів та клапанів. Може використовуватися для обробки різьблення в отворах будь-яких типів та будь-якої глибини.



Мітчик-розкочувач — безстружкове рішення. Безстружкове рішення. • Для обробки різьблення в м'якій сталі, нержавіючій сталі та алюмінію. Може використовуватися для обробки різьблення в отворах будь-яких типів та будь-якої глибини. Збільшує міцність різьблення в деяких матеріалах, наприклад, алюмінію.

9.2.5 Проектування мітчиків

Основними параметрами, які підлягають розрахункам при проектуванні мітчика є конструктивні розміри. Розміри профілю різьби приймають за відповідними стандартами на різьбу. Це пояснюється тим, що всі різьбові з'єднання стандартизовано.

1. Діаметр d_2 мітчика на передньому торці (діаметр з якого починається заборний конус) виконують меншим за внутрішній діаметр різьби на величину Δd

номінальний діаметр різьби, мм	Δd , мм
до 18	0,1...0,15
20...39	0,2...0,25
42...52	0,3...0,35

2. Довжина $l_{\text{заб}}$ заборної частини мітчика

$$l_{\text{заб}} = \frac{t_2}{\sigma z}, \quad (9.14)$$

де t_2 – висота зубця різьби. Іншими словами це висота різьби яку утворює мітчик;

z – кількість лез мітчика;

σ – коефіцієнт який залежить від діаметру мітчика

діаметр мітчика, мм	σ , мм
2...9	0,012...0,018
10...30	0,015...0,020
30...52	0,013...0,016

3. Кількість робочих лез мітчика залежить від його діаметру

діаметр мітчика, мм	до 16	16...42	45...52
кількість лез	3	4	6

4. Ширина леза (пера) мітчика залежить від кількості Z зубців

Z	3	4	6
f , мм	$0,39d_0$	$0,27d_0$	$0,18d_0$

5. Передній кут γ залежить від матеріалу заготовки

Матеріал заготовки	Кут γ°
м'яка сталь	12...15
конструкційна сталь	8...10
тверда сталь	4...6,5
бронза, чавун	0...5
латунь	8...12
алюміній	20...30

6. Задній кут α залежить від типу мітчика

Тип мітчика	Задній кут α°
ручний	6...8
машинний	10...12
калібрувальний	3...4

7. Діаметри різьбової частини мітчика.

Розрахункові діаметри чистового мітчика приймають за відповідними стандартами:

- d_0 – найбільший зовнішній діаметр різьби;
- $d_{\text{ср}}$ – середній діаметр різьби;
- d_1 – внутрішній діаметр різьби;
- P – номінальний крок різьби.

8. Розрахунок діаметрів чорнового мітчика в комплекті з двох мітчиків виконують за формулами:

- зовнішній діаметр $d'_0 = d_0 - 0,25P$,
- середній діаметр $d'_{\text{ср}} = d_{\text{ср}} - 0,07\sqrt{S}$,
- внутрішній діаметр $d'_1 = d_1 - 0,1\sqrt{S}$.

9.3 Плашки

Плашка

Різьбонарізна плашка – це гайка (рис.9.18), перетворена на різальний інструмент шляхом створення стружкових отворів і формування передніх і задніх кутів на різальних зуба (рис.9.19).

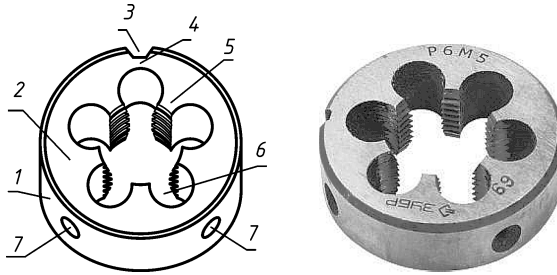


Рис. 9.18. Плашка.

- 1 – бічна циліндрова сторона плашки; 2 – торцева сторона (дві);
 3 – канавка призначена для розділення плашки навпіл;
 4 – тонка перемичка; 5 – різальне лезо;
 6 – стружковий отвір;
 7 – заглиблення для закріплення плашки

Круглі плашки призначаються для нарізування зовнішньої різьби діаметром $d = 1...60$ мм, а також для калібрування різьби, заздалегідь нарізаної іншими інструментами (наприклад, різцем), на заготовках із сталей, кольорових сплавів, пластмас і т.д.

Різбоутворення плашками здійснюється вручну або на токарних верстатах, багатошпиндельних токарних автоматах і напівавтоматах, revolverних верстатах і на іншому устаткуванні.

Різьба нарізується за один прохід з реверсуванням, яке потрібне для згвинчування плашки з заготовки. Інструментальною промисловістю випускається декілька типів круглих плашок.

Нарізування різьби плашками через невисокий період їх стійкості проводиться при швидкості $2...4$ м/хв, тому цей процес являється малопродуктивним. Плашки не шліфують за профілем різьби, і похибки елементів різьбового профілю, що виникли при термообробці зберігаються. Отже, плашками можна нарізувати різьби не високої точності.

Конструктивні і геометричні параметри

Кругла плашка (рис.9.19) складається з наступних частин:

- різальна частина, яка формує профіль нарізуваної різьби. На круглих плашках виконуються дві різальні частини (два заборних конуси), що дозволяє використовувати інструмент з будь-якого боку;

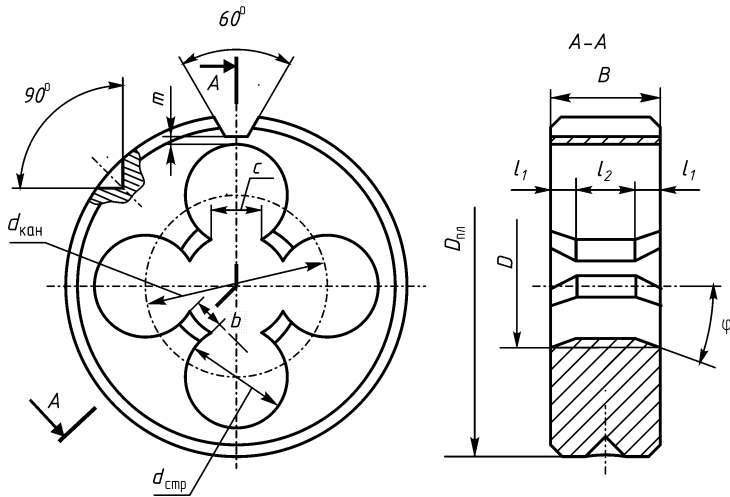


Рис. 9.19. Плашка круга

- l_1 – довжина заборного конуса;
- l_2 – довжина калібрувальної частини;
- c – ширина проміжку між зубцями;
- b – ширина різального леза;
- m – товщина перемички;
- $d_{\text{кан}}$ – діаметр центрів стружкових отворів;
- $d_{\text{стр}}$ – діаметр стружкової канавки (отвору);
- D – діаметр різби;
- $D_{\text{пл}}$ – зовнішній діаметр плашки;
- B – ширина (товщина) плашки;
- φ – кут заборного конуса.

- калібрувальна частина служить для центрування, напряду і самоподачі плашки;
- елементи базування, кріплення і регулювання плашки на розмір.

Базування плашки здійснюється по одній з торцевих поверхонь. Для закріплення інструмента в плашкотримачі на зовнішній циліндричній поверхні зроблено конічні отвори (поглиблення). Деякі отвори використовуються тільки для закріплення, інші виконують додаткову функцію – регулювання плашки на розмір після розрізання перемички.

Зовнішній діаметр плашок

Зовнішній діаметр плашок $D_{пл}$ залежить від розміру нарізуваної різьби, діаметру стружкових отворів $d_{стр}$ і інших конструктивних елементів плашок. Зі збільшенням діаметру стружкових отворів покращуються умови відведення і розміщення стружки, зменшується небезпека поломки зубів.

Із збільшенням зовнішнього діаметра плашки $D_{пл}$ зменшується ширина різального елемента b . Це спричиняє збільшення викривлення різбових поверхонь плашки при термообробці, підвищена витрата матеріалів як на виготовлення плашок, так і плашкотримачів, патронів і т. д.

При призначенні зовнішнього діаметру $D_{пл}$ необхідно прагнути до того щоб плашками з однаковим $D_{пл}$ можна було нарізувати різьби декількох діаметрів. Це сприяє скороченню типорозмірів плашкотримачів і технологічного оснащення для виготовлення плашок.

Рекомендовані значення зовнішніх діаметрів $D_{пл}$ круглих плашок для різних діаметрів різьби такі:

D різьби, мм	1...5	5...6	7...9	10...11	12...14	16...20
$D_{пл}$, мм	16	20	25	30	38	45

Номінальний зовнішній розмір різьби плашки дорівнює номінальному діаметру різьби $D = d$.

Номінальний середній діаметр різьби плашки дорівнює

$$D_2 = D - 0,6495P. \quad (9.15)$$

Номінальний внутрішній діаметр різьби плашки дорівнює

$$D_1 = D - 0,0825P. \quad (9.16)$$

Різальна частина

Різальна частина плашок (рис.9.20) формує профіль різьби по одинарній генераторній схемі різання. Кожен різальний зуб зрізує стружку різною ширини і однакової товщини a_z , як і при утворенні різьби мітчиками.

Товщина зрізуваної стружки визначається за формулою

$$a_z = P/z \sin \varphi. \quad (9.17)$$

Кут заборного конусу φ при прийнятих кроках різьби і кількості лез Z визначає товщину стружки.

В цілях скорочення номенклатури нормалізованого інструменту, що випускається, встановлено значення кута $\varphi = 25^\circ$.

У тих випадках, коли збіг різьби не лімітований, при виборі значень кута φ виходять з підвищення періоду стійкості і надійності напрямку плашки, що можливо при зменшенні кута φ в порівнянні із стандартним.

Так, для різьб з кроком $P = 2 \dots 3$ мм кут $\varphi = 20^\circ$, для різьб з кроком $P > 3$ мм кут φ приймається рівним 15° . При обробці в'язких і твердих матеріалів значень кута φ набувають до 20° .

Для забезпечення напрямку плашки при заході на заготовку, діаметр конуса на торці плашки D_T має бути більше зовнішнього діаметра d нарізуваної різьби на $2\Delta t = 0,1 \dots 0,5$ мм

$$D_T = (d + 2\Delta t). \quad (9.18)$$

Взаємозв'язок довжини різальної частини l_p і кута φ визначається по формулі

$$l_p = \frac{(D_T - D_1)}{2 \operatorname{tg} \varphi}, \quad (9.19)$$

де D_1 – внутрішній діаметр різьби плашки.

Ширина b пера (леза) може бути розрахована за формулою

$$b = 0,4 \frac{\pi d_1}{Z}, \quad (9.20)$$

де d_1 – внутрішній діаметр різьби;

Z – кількість лез плашки.

Ширина c зазору (щілини) між зубцями плашки повинна бути

$$c = (0,85 \dots 1,0) b. \quad (9.21)$$

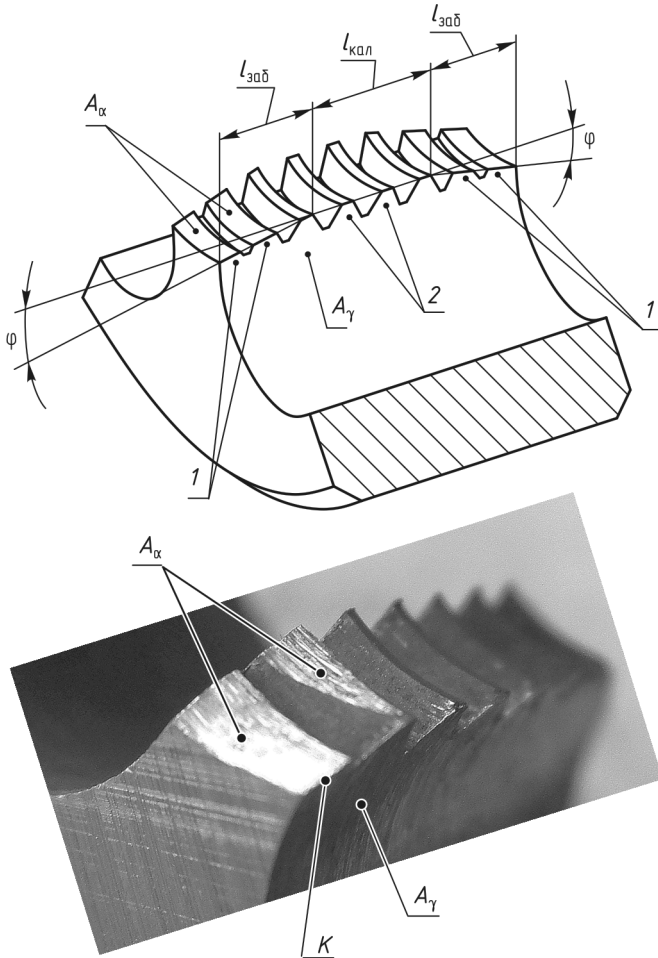


Рис. 9.20. Зуб плашки

- 1 – зубці заборної частини;
- 2 – зубці калібрувальної частини;
- $l_{\text{заб}}$ – заборний конус;
- $l_{\text{кал}}$ – калібрувальна (циліндрична) частина;
- A_{γ} – передні поверхні заборної та калібрувальної частини;
- A_{α} – задня поверхня на заборному конусі;
- φ – кут заборного конусу;
- K – різальна кромка.

Калібрувальна частина плашок

Формування різьбового профілю закінчується при вступі в роботу перших зубів калібрувальної частини, що можна назвати «калібруванням» різьби. Інші калібрувальні зубці виконують функції центрування і подачі інструмента. Для виконання цих функцій досить мати калібрувальну частину з трьох-чотирьох ниток.

Збільшення довжини калібрувальної частини призводить до зростання деформації леза плашки при термообробці, через що зменшується точність різьби, одночасно погіршуються умови відведення стружки.

Виходячи з умов термообробки і враховуючи основний спосіб переточування плашок (по передній поверхні), довжину калібрувальної частини приймають рівною

$$l_{\text{кал}} = (4 \dots 5)P. \quad (9.22)$$

Загальна довжина робочої частини плашки визначається, як сума двох заборних конусів та калібрувальної частин.

Товщина плашки

Товщина плашки B , як і зовнішній діаметр $D_{\text{пл}}$, уніфікована з метою скорочення кількості розмірів заготовок для виготовлення плашок, а також патронів і плашкотримачів.

Товщину плашки призначають з умов розміщення достатньої кількості ниток на різальній і калібрувальній частинах. З цієї точки зору досить прийняти товщину плашки рівною $(6 \dots 9)P$, що зазвичай витримується для різьб з великим кроком. В цьому випадку довжина робочої частини приймається рівною найближчому стандартному значенню B .

Виходячи з конструктивних міркувань можливо прийняти таку товщину плашки

$$\begin{aligned} (0, 15 \dots 0, 12)D & \quad \text{при} \quad z = 3 \dots 5, \\ (0, 09 \dots 0, 10)D & \quad \text{при} \quad z = 6 \dots 8. \end{aligned}$$

Для різьб з дрібними кроками з урахуванням уніфікації розміру B допускається збільшення довжини робочої частини до $(9 \dots 14)P$.

Стружкові отвори

Стружкові отвори круглих плашок є важливими конструктивним елементом. Їх діаметр $d_{\text{стр}}$, діаметр кола $d_{\text{кан}}$ на якому розташовані осі

отворів, і кількість лез Z визначають ряд важливих конструктивних параметрів плашки, а саме: передній кут γ та ширину різального леза b .

Діаметр $d_{\text{кан}}$ стружкових отворів приймають рівним

$$d_{\text{кан}} = 2 \frac{r_1 \sin \omega}{\sin (\delta - \omega)}, \quad (9.23)$$

де r_1 – внутрішній радіус різби;

ω – половина кута стружкової канавки на внутрішньому радіусі плашки;

δ – дорівнює $90^\circ - \gamma^\circ$.

Діаметр $d_{\text{кан}}$ кола на якому розташовані стружкові отвори

$$d_{\text{кан}} = 2 r_1 [\cos \omega + \sin \omega \operatorname{ctg} (\delta - \omega)]. \quad (9.24)$$

9.4 Різьбонарізні фрези

Для нарізування різьб застосовують такі типи фрез:

- дискові фасонні фрези;
- і гребінчасті різьбонарізні фрези.

Дисковими різьбовими фасонними фрезами (рис.9.21) нарізують різби (в основному трапецієдні) на ходових гвинтах і черв'яках. Фрезерування застосовують тільки в якості попереднього нарізування різби. Дискові фрези можуть бути з симетричним і несиметричним профілем.

Оскільки поверхня різби – є Архимедова гвинтова поверхня з прямолінійним профілем в осьовій площині, то профіль різальних кромок фрези, що встановлюється нормально до напрямку нарізки, має бути криволінійним.

У той же час фрезерування зазвичай використовують для чорнової обробки різби, то різальні кромки виконують прямолінійними але кут профілю зуба фрези коригують.

Дискові різьбові фрези виконуються з гострозаточеними зубами: вище стійкість і продуктивність в порівнянні із затіленими.

Гребінчасті фрези (рис.9.22) застосовують для фрезерування гострокутних різьб невеликої довжини. Різьбові гребінчасті фрези мають кільцеву нарізку і затілені зуби. Стружкові канавки у гребінчастих фрез зазвичай прямі. Довжина фрези має бути більше довжини нарізаної різби на 2...3 кроки.

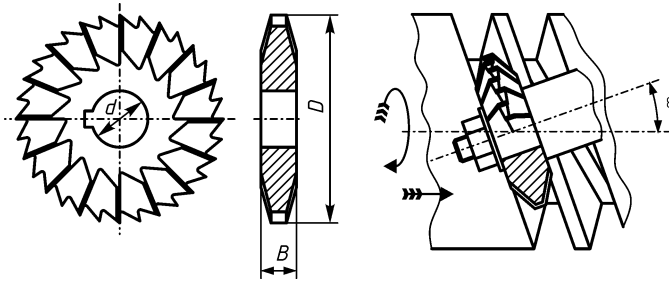


Рис. 9.21. Фреза різбова дискова.

D – зовнішній діаметр фрези;

B – ширина робочого профілю (товщина фрези);

ϵ – кут нахилу осі фрези відносно осі деталі

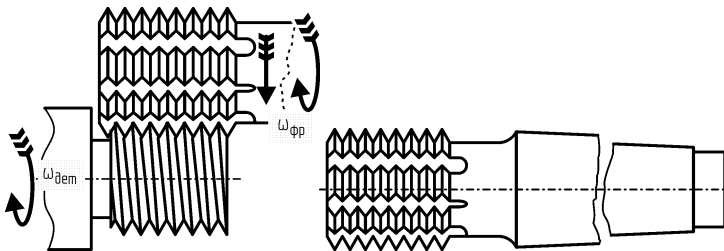


Рис. 9.22. Фрези різбові гребінчасті.

$\omega_{\text{дет}}$ – рух обертання деталі;

$\omega_{\text{фр}}$ – рух обертання фрези

Зауваження. Гребінчасті фрези утворюють гвинтову поверхню різби. Однак їхні зубці – не гвинтові, а просто кільцеві. Через це утворений профіль різби не є правильний. Він має дещо увігнутий профіль, тому фрезерування застосовують тільки для не відповідальних деталей.

9.5 Різьбоканатні інструменти

При накоєнні різб процес її формування відбувається за рахунок пластичної деформації поверхневих шарів. Переваги накоєння різб:

- різба міцніше;
- економія металу;
- висока продуктивність.

Найбільш поширені способи накоєння різб:

- плоскими накатними плашками (рис.9.23,а);
- накатними роликами (рис.9.23,б...е).

Принцип дії накатних інструментів зображених на рис.9.23 такий:

- а) – заготовку прокочують між двома плоскими різбовими дошками;
- б) – заготовка обертається між роликами, які мають різний діаметр завдяки якому заготовка не провалюється, а прокочується між ними;
- в) – заготовки прокочують між роликом та сектором. Зазор між ними має клиноподібну форму;
- г) – заготовка встановлена на опорі і прокручується між роликами. При такій схемі довжина деталі може бути нескінченною;
- д) – варіант г) але з трьома накатними роликами;
- е) – ролики розташовані “в перехрест” тому заготовку зтягує між ними. Можлива обробка заготовки нескінченної довжини;

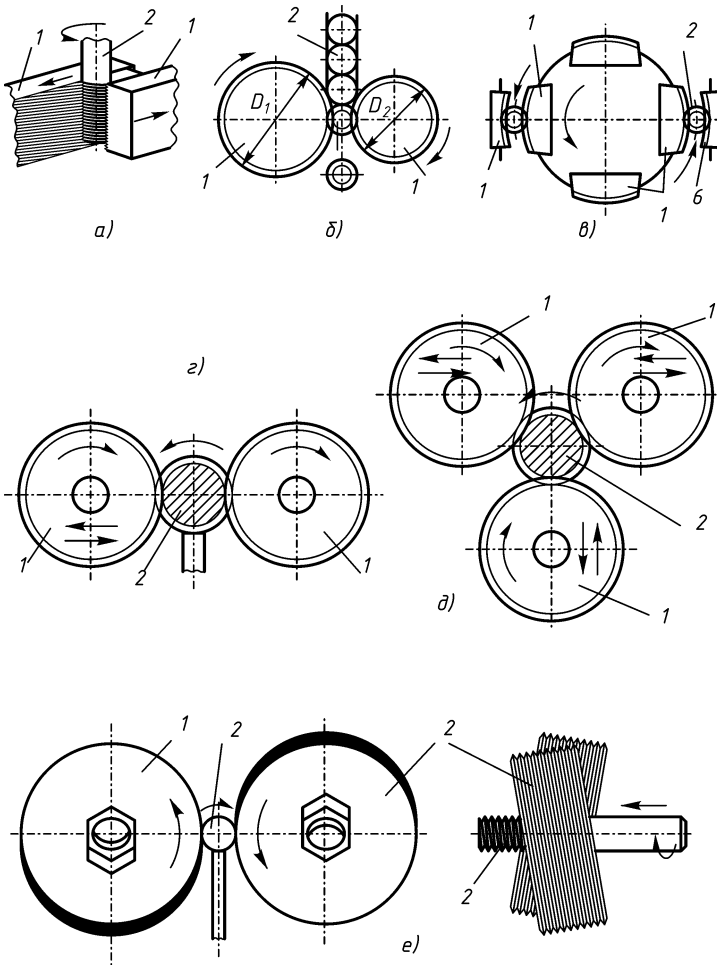


Рис. 9.23. Накатування різьби.

1 – накатна різьбова плашка (плоска або кругла);
2 – заготовка деталі

9.5.1 Накатні плашки

При наковчуванні плоскими накатними плашками (рис.9.24) одна з них кріпиться нерухомо у верстаті, а інша здійснює поворотно-зсувний рух відносно нерухомої. На заготовці, що поміщається між ними, формується різьба в результаті прокатування.

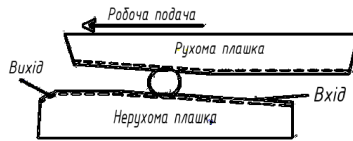


Рис. 9.24. Накатна плашка

На плашці є забірна, калібруюча і вихідна частини. Забірна частина служить для формування різьби, від довжини забірної частини залежить міра деформації. Часто забірну частину виконують тільки на нерухомій плашці. Довжина, висота і ширина плашки розраховується залежно від параметрів нарізуваної різьби, матеріалу деталей і особливостей експлуатації плашок.

9.5.2 Накатні ролики

Наковчування різьби роликами робиться на спеціальних накатних верстатах. Ролики обертаються в один бік, один з них (рухливий) переміщається до центру наковчуваної різьби (рис.9.23, *г* та *е*). Заготовка поміщається між роликами на упорі так, щоб вісь її була розташована на 0,1...0,2 мм нижче осі роликів. Накочування роликами забезпечує точнішу різьбу.

Діаметри роликів звичайні більше діаметрів наковчуваної різьби. Основні параметри ролика визначаються залежно від умов його роботи : діаметр – по габаритах верстата, ширина – по довжині наковчуваної різьби.

Напрямок різьби ролика протилежний до напрямку різьби деталі. При розрахунку середнього діаметру роликів необхідно враховувати запас на переточування, яке здійснюється шліфуванням профілю різьби ролика.

Запитання для самоконтролю

1. Назвіть основні типи інструментів, що застосовують для утворення різьб.
2. Чи є необхідність коригувати профіль токарного різця при утворенні різьб?
3. Які елементи знаходяться на робочій частині мітчика?
4. За якими ознаками класифікуються мітчики?
5. Намалюйте профіль змінної пластини для утворення різьби.
6. Охарактеризуйте різні методи нарізування різьб токарним різцем.
7. Який профіль має різьбова пластина “повного профілю”?
8. Який профіль має різьбова пластина “неповного профілю”?
9. За рахунок чого утворюється затилування забірної частини?
10. Який параметр регламентує величину заднього кута забірного конуса мітчика?
11. Чому дорівнює задній кут на калібруючій частині мітчика?
12. Чому дорівнює передній кут на калібруючій частині мітчика?
13. Який зубець мітчика здійснює остаточне формування профілю різьблення?
14. По яких поверхнях переточують мітчик?
15. Чому задні кути різьбового токарного різця різні на різних його сторонах?
16. Чи залежать задні кути токарного різьбового різця ві кроку різьби яку він утворює?
17. Яку форму має заборний конус мітчика, і чи насправді він конічний?
18. Чому дорівнює задній кут на калібрувальній частині зубу плашки?
19. Чи затилують калібрувальну частину мітчика?
20. Чому дорівнює кут підйому зубу різьбової кінцевої фрези?

Посилання

1. Бобров В. Ф. Многопроходное нарезание крепежных резьб резцом / В. Ф. Бобров. - М.: Машиностроение, 1982. - 104 с.
2. Миронов И. Я. Технологическое обеспечение и расчет при нарезании резьб на токарных многошпиндельных автоматах / И.Я. Миронов, В.П. Кузнецов, О.А. Анпилогов - М.: ЦНИИНТИКП, 1989. - 87 с.
3. Резьбообразующий инструмент / Под общ. ред. М.З. Хостикова. - Пенза: Пензенский технологический институт, 1999. -405 с.
4. Справочник конструктора-инструментальщика / Под общ. ред. В.И. Баранникова. - М.: Машиностроение, 1984. - 558 с.

10 АБРАЗИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ

Шліфування - процес різання металів за допомогою абразивного інструмента, різальним елементом якого є зерна абразивних матеріалів. Ці зерна, що мають високу твердість, теплостійкість і гострі кромки, з'єднані спеціальними сполучними речовинами в тіло певної форми, яке і є абразивним інструментом, що вживається у вигляді шліфувальних кругів, сегментів, головок, брусків, шкурок [3, 4, 5].

Не слід плутати абразивний інструмент з абразивним матеріалом, це різні речі. Абразивний інструмент, це інструмент виготовлений з абразивного матеріалу. Сам по собі абразивний матеріал, ще не є інструментом.

Отже, відповідно до ДСТУ 2233-93 маємо таке визначення абразивного інструмента.

Абразивний інструмент

Різальний інструмент призначений для абразивного оброблення.

Абразивний інструмент становить окрему групу інструментів (абразивні круги, сегменти, бруски і головки) в яких різальними елементами є зерна абразивного матеріалу високої твердості.

Абразивні зерна зв'язані між собою так званою зв'язкою, яка зв'язує окремі зерна в інструмент певної форми та розмірів.

Абразивний інструмент має три відмінності від лезового різального інструмента.

Немає лез

Абразивний інструмент не має чітко визначених різальних лез. Їх роль відіграють абразивні зерна довільної форми та геометричних параметрів.

Невідома кількість лез

Неможливо визначити загальну кількість різальних елементів абразивного інструмента, котрі приймають участь в процесі різання. Їх кількість безперервно змінюється.

Самозагострювання

Абразивний інструмент має здатність самозагострюватись. Тобто частково або повністю відновлювати свої різальні здатності безпосередньо в процесі роботи.

На рис. 10.1 наведені основні кінематичні схеми роботи абразивного інструмента, які застосовують у загальному машинобудуванні.

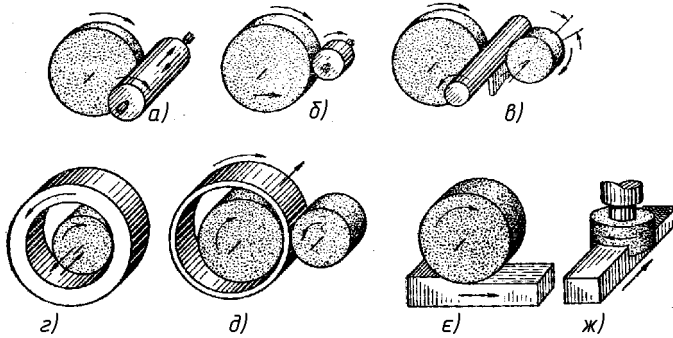


Рис. 10.1. Схеми шліфування

- а* – кругле зовнішнє шліфування із поздовжньою подачею;
- б* – кругле зовнішнє шліфування із поперечною подачею;
- в* – зовнішнє безцентрове шліфування;
- г* – внутрішнє шліфування із поздовжньою подачею;
- д* – внутрішнє безцентрове шліфування;
- е* – плоске шліфування периферією круга;
- ж* – плоске шліфування торцем круга.

10.1 Знос та відновлення

10.1.1 Знос

У процесі шліфування зерна круга зношуються і він втрачає різальні здатності. Чим більша швидкість обертання заготовки, подача, глибина різання, твердість оброблюваного металу, крупніше зерно і менше швидкість обертання круга – тим більшим буде його знос (затуплення).

На зменшення різальної здатності абразивного круга, поряд зі зношуванням зерна, впливає також і заповнення простору між зернами відходами шліфування.

Зношений і “засалений” круг зовсім перестає різати, і для відновлення його різальних здатностей необхідне його виправлення (правка). Поряд з видаленням затуплених зерен і відходів шліфування при правці відновлюється і правильна геометрична форма круга, втрачена ним в результаті нерівномірного зносу [2].

Так як шліфування є в основному чистовою (фінішною) операцією, то за критерій зношування круга приймається технологічний критерій (подрібнена оброблена поверхня, припали обробленої поверхні, погана чистота, подряпини). Середнім значенням періоду стійкості круга (машинний час роботи круга від правки до правки) при круглому (зовнішньому) шліфуванні з поздовжньою подачею є 30...40 хв.

За певних умов обробки можна отримати “само-заточування” шліфувальних кругів під час роботи. У самозаточуваних кругів затуплені абразивні зерна вириваються із зв'язки (або руйнуються) під дією збільшеного, в результаті затуплення, навантаження.

При випаданні затуплених зерен у крузі оголюються нові, гострі зерна, які продовжують процес різання. Якщо при роботі круга без самозаточування сили різання і температура різання зростають по мірі збільшення часу роботи (зносу), то при “самозаточуванні” температура змінюється в незначних межах протягом усього часу роботи. Правка кругів, що самозаточуються, робиться лише з метою надання круга правильної форми, спотвореної внаслідок нерівномірного зносу.

Незважаючи на певні переваги цього виду кругів, самозаточування, однак, можна отримати лише при спеціальному підборі характеристик круга та елементів режиму обробки. Найчастіше це можливо при обробці твердих металів спеціальними м'якими кругами при високих елементах режиму різання, характерних для обдирних робіт. Тому в практиці частіше зустрічаються умови, коли шліфувальний круг, в міру його зношування, необхідно правити примусово.

При невідповідності абразивного інструмента умовам його використання замість самогострювання (повного або часткового) відбувається знос. На відміну від лезового інструмента знос абразивного інструмента має два типи зношування:

- “засалювання” робочої поверхні абразивного інструмента;
- руйнація абразивних зерен та втрата форми інструмента.

Засалювання

Засалювання це процес згладжування робочої поверхні інструмента унаслідок стирання різальних кромок і засміченням пір стружкою

та роздробленою зв'язкою. При цьому робота круга супроводжується інтенсивним виділенням тепла, а висока температура в зоні шліфування погіршує мікрогеометрію й якість поверхневого шару обробленої поверхні.

Зовні робоча поверхня “засаленого” інструмента має блискучий вигляд. Вона наче покрита тонкою плівкою металу, що виблискує в світлі. Це відбувається в наслідок того, що частки оброблюваного матеріалу потрапляють у пори між зернами і виблискують.

Наявність у порах часток металу заготовки (продуктів шліфування) призводить до того, що стружка, котра утворилась у процесі різання не має де подітись, вона міцно застрягла в абразивному інструменті і, під час його руху, треться по поверхні заготовки.

Зовнішня проява “засалювання” абразивного інструмента це значне підвищення температури в зоні різання, як наслідок – “припикання” на поверхні оброблюваної деталі.

Видалити застряглу стружку можливо тільки механічним способом – правкою абразивного інструмента.

Руйнація зерен

Знос абразивного інструмента через руйнацію абразивних зерен має чотири типи (рис. 10.2) руйнації:

- утворення плоскої поверхні;
- часткове подрібнення абразивного зерна;
- повне подрібнення абразивного зерна;
- викришування зерна.

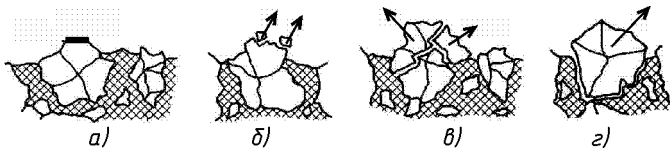


Рис. 10.2. Типи зносу

Утворення плоскої поверхні

Утворення плоскої поверхні на абразивних зернах (рис. 10.2,а) відбувається в наслідок суто абразивного впливу оброблюваного матеріалу на абразивне зерно. Тверді включення, що є в оброблюваному

матеріалі, зрізують частину абразивного зерна, у результаті чого на зерні утворюється плоска площадка і зерно перестає працювати.

Часткове подрібнення

При частковому подрібненні абразивного зерна (рис. 10.2,б) від його тіла відколюються невеликі частки. Таке зерно не обов'язково втрачає свої різальні властивості. Адже замість зруйнованих різальних кромки на зерні утворюються нові гострі кромки і зерно продовжує роботу.

Повне подрібнення

Повне подрібнення абразивного зерна (рис. 10.2,в) відбувається внаслідок дії значних зусиль, котрі розколюють зерно. Такий вид зносу призводить до втрати не тільки різальних властивостей, а й до втрати форми абразивного інструмента.

Викришування зерна

Втрата форми та розмірів абразивного інструмента відбувається через обсипання працездатних цілих абразивних зерен (рис. 10.2,г). Обсипання виникає через значні зусилля різання та недостатню міцність зв'язки.

Зовнішня проява обсипання – втрата форми інструмента, яка супроводжується зниженням якості обробленої поверхні. Єдиний спосіб запобігти обсипанню – це “зменшення” режимів різання.

10.1.2 Відновлення

Залежно від характеристики абразивного інструмента і умов його роботи процес абразивного оброблення протікає з частковим або повним відновленням працездатності (самозагострюванням).

Зауваження. Абразивне оброблення супроводжується одночасно двома процесами – зносом і самовідновленням (самозагострюванням) різальних елементів.³²

Повне відновлення працездатності

При шліфуванні з повним відновленням працездатності (самозагострюванням) зерна, що втратили здатність різати роздробляються під впливом зусилля різання (що збільшилося внаслідок затуплення)

³²У цьому полягає основна відмінність абразивного інструмента від лезового. Хоча обидва видаляють припуск методом різання з утворенням стружки.

і оголяють гострі різальні кромки інших зерен. Різальна здатність круга безперервно відновлюється.

При роботі абразивного інструмента в процесі різання одночасно приймає участь значна (дуже значна) кількість зерен. Ступінь “затупленості” (втрати різальних властивостей) кожного з них різна.

Отже, під час роботи абразивного інструмента частина зерен вже оновилась, а інша працює на межі затуплення. Як результат – інструмент працює одночасно і гострими зернами і такими, що майже втратили різальну здатність.

Часткове відновлення працездатності

При шліфуванні з частковим самозагострюванням лише невелика частка зерен, що втратили здатність до різання, руйнується повністю. Інша частка зерен утримуються в тілі абразивного інструмента не зважаючи на те, що повністю втратили різальні здатності.

Зауваження. Чистові і напівчистові операції шліфування виконуються з частковим самозагострюванням круга і лише при плоскому чорновому шліфуванні сегментними кругами спостерігається повне самозагострення.

10.2 Характеристики інструмента

Абразивний інструмент, що застосовують у загальному машинобудуванні та інструментальному виробництві, розрізняють за наступними параметрами:

- форма і розміри;
- склад абразивного матеріалу;
- номер зернистості;
- тип зв’язки;
- твердість інструмента³³;
- номер структури.

³³Твердість інструмента і твердість абразивного матеріалу, з якого виготовлений інструмент – це різні речі. Різні за призначенням абразивні інструменти, виготовлені з одного абразивного матеріалу можуть мати різну твердість як інструмент (як об’єкт що зберігає свою форму).

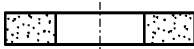
10.2.1 Форма абразивного інструмента

Абразивний інструмент може мати досить різні форми. Застосування абразивного інструмента, тієї чи іншої форми, значною мірою залежить від заготовки, яку він обробляє.

Стосовно інструментального виробництва кожен різальний інструмент (для свого загострення) потребує певний абразивний інструмент, певної форми та розмірів.

Розмір заточувального абразивного круга зазвичай вибирають залежно від верстата та розмірів інструмента, що підлягає заточуванню.

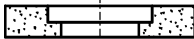
Форма абразивного круга (інструмента) залежить здебільшого від інструмента який заточують



Плоский прямого профілю (ПП). Заточування різців та багаторезових інструментів по переднім або заднім поверхням.



Плоский з кінцевим нахилом (ЗП). Заточування по переднім поверхням розверток, фрез, протяжок.



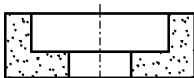
Плоский з односторонньою виточкою (ПВ). Заточування токарних різців по заднім поверхням.



Плоский з кінцевою виточкою (ПВК). Заточування різців по заднім поверхням та довбачів по передній кінцевій.



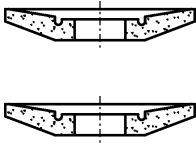
Диск (Д). Канавки для розділювання стружки в різців. Підточування робочої частини спіральних свердел.



Чашка циліндрична (ЧЦ). Заточування токарських різців на спеціальних верстатах для заточування різців.



Чашка кінцева (ЧК). Заточування фасонних різців та багаторезового інструмента. Є практично універсальною формою для більшості інструментів.



Тарілка (ІТ). Заточування передніх поверхонь протяжок та черв'ячних фрез.

Головка циліндрична (ГЦ). Заточування плашок по переднім та заднім поверхням.

10.2.2 Склад абразивного матеріалу

Абразивні матеріали, що застосовуються у вигляді різальних зерен шліфувальних кругів, повинні бути досить твердими, теплостійкими і повинні забезпечувати при дробленні гострі кромки. Вони поділяються на дві групи: природні та штучні.

До природних абразивних матеріалів відносяться мінерали – корунд і наждак, основною складовою яких є окис алюмінію Al_2O_3 (глинозем). Вони містять також сторонні домішки, що знижують їх якість, а тому в сучасному машинобудуванні найбільшого поширення мають штучні абразивні матеріали, що мають більшу однорідність і продуктивність.

До штучних абразивних матеріалів відносяться: електрокорунд, карбід кремнію, карбід бору.

В інструментальному виробництві для загострення різального інструмента застосовують такі абразивні матеріали.

Електрокорунди

Електрокорунд (штучний корунд) є кристалічним окисом алюмінію (Al_2O_3), одержуваним шляхом електроплавки бокситів, які складаються в основному з окису алюмінію і деяких домішок.

При плавці (температура плавлення $2200 \dots 2400^\circ C$) з бокситів виділяються домішки, а окис алюмінію кристалізується. Електрокорунд має високу твердість (поступаючись карбиду кремнію, карбиду бору і алмазу), значну в'язкість та витримує високу температуру (до $2050^\circ C$) і дає при дробленнях гострі різальні кромки.

Твердість та в'язкість корунду залежать від вмісту окису алюмінію. Чим більше в корунді окису алюмінію, тим більше твердість, але менше в'язкість (вище крихкість).

Залежно від вмісту окису алюмінію електрокорунд ділиться на два основних види, що широко застосовуються в промисловості:

- нормальний електрокорунд (містить 87...91 % кристалічного окису алюмінію)
- електрокорунд білий (містить 98..99 % кристалічного окису алюмінію).

Електрокорунди застосовуються для оброблення металів і сплавів з високою межею міцності при розриві (незагартовані і загартовані сталі, ковкий чавун, м'які бронзи та ін.).

Електрокорунд нормальний

За кольором буває від сіро-коричневого до темно-коричневого, та від рожевого до темно червоного. Містить 86...91 % Al_2O_3 . Має найвищу продуктивність серед інших матеріалів.

Електрокорунд білий

За кольором білий, інколи світло-рожевий. Електрокорунд білий твердіший за електрокорунд нормальний, але не придатний до грубого шліфування. Містить 96...99 % Al_2O_3 . Застосовують для фасонної профільної обробки.

Карбіди

Карбід кремнію (карборунд) є хімічним з'єднанням кремнію і вуглецю (SiC). Він виходить із кварцового піску при сплавленні його з вуглецем (коковим порошком). При нагріванні в електрод печах до 1920 °С кремнезем, що міститься в кварцовому піску, вступає у взаємодію з вуглецем, утворюючи при цьому карбід кремнію.

Карбід кремнію має високу твердість (поступаючись карбиду бору та алмазу), теплостійкість (до 2050 °С) і ріжучі властивості. Останнє пояснюється тим, що карбід кремнію дає при дробленні гострі ріжучі кромки. Карбід кремнію випускається двох видів:

- чорний карбід кремнію (марки КЧ);
- зелений карбід кремнію (марки КЗ).

Карбід кремнію зелений

За кольором від зеленого до темно-зеленого. Має дуже гострі різальні зерна. Містить до 97 % SiC. За твердістю поступається лише алмазу.

Карбід кремнію чорний

За кольором чорний з металевим виблискуванням. Містить до 95 % SiC. Менш твердий, але більш міцний, ніж карбід кремнію зелений.

Зелений карбід кремнію має дещо більшу твердість ніж чорний та забезпечує дещо більшу продуктивність (що пояснюється його більшою здатністю давати гострі ріжучі кромки) і містить SiC не менше 97 %.

При його виготовленні застосовується чистий кварцовий пісок (з вмістом кремнію понад 99 %), чистіший вуглець і значно більше витрачається електроенергії. Тому зелений карбід кремнію дорожчий за чорний.

Недоліком карбіду кремнію є крихкість. Тому він застосовується при обробці матеріалів з малою межею міцності при розриві (чавун, бронзове лиття, алюмінієве лиття, тверді сплави та ін), причому зелений карбід кремнію застосовується в основному для заточування твердосплавного інструменту. Карбід кремнію застосовується також і для так званої безалмазної правки шліфувальних кругів після їх затуплення в процесі шліфування.

Наждак та корунд

Наждак

За кольором від чорного до чорно-синього. Як матеріал для абразивних кругів майже не застосовують. Містить до 25...30 % Al_2O_3 . Здебільшого це наждачні паперові стрічки низької якості.

Корунд

Як і наждак майже не має застосування через низьку твердість. Містить до 95 % Al_2O_3 .

10.2.3 Зернистість

Зернистість абразивного матеріалу класифікується за розмірами абразивного зерна – номеру зерна, по гранулометричному складу, що має низку номерів зерен – номеру зернистості. Номер зернистості (розмір зерна) визначають методом двох суміжних граничних сіток:

- зерна абразивного порошку просіюють через два сита які мають різний розмір вічка;
- перша сітка має вічко трохи більше за другу (нижню) сітку.

Отже, номер зерна (зернистість абразиву) складається з двох цифр:

- перша цифра це номер (розмір вічка) сітки через яку пройшло абразивне зерно;
- друга цифра це номер (розмір вічка) сітки через яке абразивне зерно не пройшло.

Наприклад, абразивний матеріал, що має зернистість 32-63 пройшов (просипався) через сито з розміром вічка 63 мкм, але не пройшов (затримався) на сітці з розміром вічка 32 мкм.

Зернистість абразивного інструмента, що застосовують в інструментальному виробництві при заточуванні різального інструмента орієнтовно така:

Позначення зернистості	Розмір зерна, мкм	Застосування
100	1250 – 1000	Дуже грубе оброблення інструмента.
80	1000 – 800	
63	800 – 630	Попереднє, чорнове заточування інструментів.
50	630 – 500	
40	500 – 400	
32	400 – 315	Заточування звичайного різального інструмента середніх габаритів.
25	315 – 250	
20	250 – 200	Заточування різального інструмента малого розміру.
16	200 – 160	
12	160 – 125	

Зауваження. При виготовленні абразивного інструмента застосовують зерна одного номера зернистості, і лише для отримання кругів високої щільності суміш зерен різної зернистості.

10.2.4 Зв'язка

При виготовленні абразивного інструмента застосовуються зв'язки, що зв'язують (склеюють) між собою окремі зерна. За хімічним складом зв'язки можуть бути:

- неорганічні – керамічна, силікатна і магнезійна;
- або органічні – бакелітова й вулканітова.

Нижче наведено перелік основних зв'язок, що використовують в інструментальному виробництві при загострюванні різального інструмента.

Керамічна зв'язка (К)

Керамічна зв'язка за хімічною стійкістю, спротиву температурі та воді – є найкращою серед інших.

Керамічні круги (круги на основі керамічної зв'язки) добре зберігають форму різальної поверхні, однак дуже чутливі до ударів та навантажень, що згинають.

Практично, абразивні круги виготовлені на основі керамічної зв'язки є найбільш поширеними в інструментальному виробництві.

Керамічна зв'язка отримала найбільше поширення. Вона готується з вогнетривкої глини, польового шпату, кварцу, тальку, крейди та рідкого скла. Основним матеріалом є перші три.

Зв'язка ця вогнетривка і хімічно стійка, а абразивні інструменти, виготовлені на ній, мають високу продуктивність (швидкість обертання шліфувального круга 50 м/сек і вище), добре зберігають профіль робочої кромки, не бояться вологи.

Недоліком керамічної зв'язки є крихкість, що робить абразивні інструменти чутливими до ударного навантаження.

Круги на керамічній зв'язці, призначені для швидкісного шліфування, маркуються на торці червоною смугою.

Силікатна зв'язка (С)

Круги на силікатній зв'язці мають не дуже високу продуктивність через слабе утримання зерна в абразивному інструменті.

Силікатна зв'язка досить чутлива до високих температур. Застосовують круги на силікатній зв'язці здебільшого для сухого шліфування деревообробних ножів великого розміру. В інструментальному виробництві має невелике застосування.

Магnezитова зв'язка (М)

Круги виготовлені на основі магnezитової зв'язки дуже чутливі до волого середовища. В інструментальному виробництві мають мале застосування.

Магnezитова зв'язка (магnezит і хлористий магній) і силікатна (суміш глини, крем'яного пилу та рідкого скла) зв'язки дають м'який абразивний інструмент, маломіцний і малопродуктивний.

Магnezитова зв'язка до того ж робить абразивний інструмент чутливим до вологи та холоду, а тому може застосовуватися лише при обробці всуху.

Силікатна ж зв'язка має слабку зчіплюваність із зерном. Як і магnezіальна, силікатна зв'язка застосовується рідко.

Бакелітова зв'язка (Б)

Бакелітовий абразивний інструмент має високу міцність та пружність, однак реагує із лужними розчинами. У порівнянні з іншими зв'язками, процес абразивного оброблення супроводжується меншим виділенням тепла.

Бакелітова зв'язка складається з бакеліту -0 штучної смоли, приготовленої з карболової кислоти та формаліну. Круги на бакелітдовій зв'язці міцні, еластичні, допускають великі окружні швидкості обертання, але руйнуються від дії лужної (більше 1,5 %) рідини, що охолоджує. Для уникнення цього рекомендується просочення круга парафіном.

До недоліків бакелітового зв'язування відноситься і те, що вона втрачає міцність при нагріванні понад 180 °С.

Вулканітова зв'язка (В)

Вулканітові круги більш пружні за інших, але дуже схильні до втрати всіх властивостей при підвищенні температури різання більш 150°. В інструментальному виробництві застосовують дуже рідко.

Вулканітова зв'язка складається з каучуку (гуми) та сірки (30 %). Її отримують змішанням розм'якшеної бензином гуми із сіркою. Абразивний інструмент, виготовлений на вулканітовій зв'язці, має високу міцність, еластичність і не боїться вологи.

Завдяки міцності та еластичності інструмент на вулканітовій зв'язці може мати малу товщину (0,5 мм) при великому діаметрі (до 150 мм), що для окремих робіт дуже важливо. Шліфувальні круги

на вулканітовій зв'язці допускають великі окружні швидкості (до 75 м/сек) і мають високу полірувальну дію.

Недоліком вулканітової зв'язки є швидке засолювання абразивного інструмента, що знижує його продуктивність.

10.2.5 Твердість абразивного інструмента

Не слід плутати твердість абразивного інструмента з твердістю абразивного матеріалу, це різні параметри.

Твердість інструмента

Під твердістю абразивного інструмента розуміють опір зв'язки вириванню абразивних зерен з поверхневого шару інструмента, під впливом зовнішніх навантажень.

Під твердістю абразивного інструмента мається на увазі здатність зв'язки утримувати зерно в інструменті при дії на нього зовнішніх зусиль. Чим легше викришується зерно з інструмента, тим він м'якше, і навпаки. Твердість – важлива характеристика абразивного інструмента, від якої багато в чому залежать його продуктивність і якість обробленої поверхні.

Занадто твердий абразивний інструмент сприятиме виникненню припалів на обробленій поверхні або вимагатиме частой правки, тому що зерна, що затупилися, не матимуть можливості “викришитися” з твердої зв'язки і оголити гострі зерна.

Робота ж затупленими зернами призводить до більшої витрати потужності, до більшого тертя і тепловиділення, що може спричинити не тільки припали обробленої поверхні, а й короблення виробу.

Занадто м'який абразивний інструмент буде обсипатися, тобто швидко змінювати свою форму та розміри. Тому для кожного конкретного випадку обробки потрібен інструмент певної твердості.

Визначення і контроль твердості абразивного інструмента проводять одним з наступних методів:

- вимірюванням глибини лунки, що утворюється на поверхні інструмента під дією струменя кварцового піску, що викидається з спеціального сопла під тиском повітря;
- вимірюванням глибини лунки, що утворюється від втискування в тіло інструмента сталевий кульки під дією постійного навантаження на приладі Роквелла.

Твердість абразивного інструмента характеризують за наступною шкалою:

	Твердість	Позначення
М	– м'який	М1, М2, М3
СМ	– середньо м'який	СМ1, СМ2
С	– середній	С1, С2
СТ	– середньо твердий	СТ1, СТ2, СТ3
Т	– твердий	Т1, Т2
ВТ	– вельми твердий	ВТ1, ВТ2
ЧТ	– занадто твердий (російською – чрезвычайно твердый)	ЧТ1, ЧТ2

В інструментальному виробництві при загострювання інструмента, виготовленого із інструментальних сталей, застосовують абразивний інструмент твердістю СМ.

Рекомендовані галузі застосування абразивних кругів різної твердості:

М	– шліфування, з інтенсивним самозагострюванням інструмента, високотвердих загартованих сталей; зубошліфування, різешліфування. Чистове шліфування і суперфінішування.
СМ	– шліфування, з інтенсивним самозагострюванням інструмента, заточування і доведення різального інструмента.
С	– чистове шліфування (кругле, безцентрове і внутрішнє). Плоске шліфування периферією круга. Шліфування чавунів. Обдирне шліфування торцем круга.
СТ	– кругле і безцентрове врізне шліфування. Профільне шліфування. Обробка роз'єднаних поверхонь. Обдирне шліфування чавунів.
Т	– обдирне шліфування, зняття задирок на поковках і литві. Відрізні круги. Ведучі круги для безцентрального шліфування. Хонінгування загартованих сталей. Врізне профільне шліфування з великим зніманням металу
ВТ	– обдирне шліфування й зачистка в металургії й ковальському та ливарному виробництві. Правка шліфувальних кругів.

10.2.6 Структура

Під структурою абразивного інструмента розуміють кількісне співвідношення між абразивними зернами, зв'язкою і порами (що заповнені повітрям).

Розрізняють 13 номерів структур (№ 0 – 12). Номер структури визначає відносна кількість зерен на одиниці поверхні або в одиниці об'єму круга, при цьому чим менше номер структури, тим щільніше розташовані абразивні зерна.

Правильно призначений структурою абразивний інструмент сприятиме меншому заповненню, пір стружкою, отже, і підвищення продуктивності. Дослідження показують також, що при підвищенні номера структури прийоги обробленої поверхні зменшуються.

На рис. 10.3 схематично показана структура абразивних інструментів різної структури (пористості).

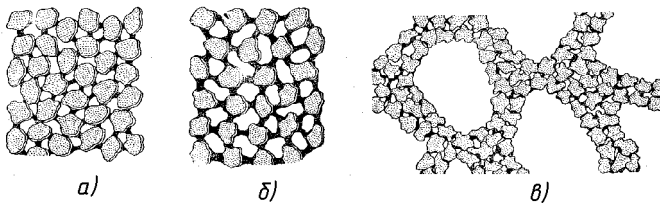


Рис. 10.3. Структура абразивного інструмента

- а* – щільна структура (чистове оброблення);
- б* – структура середньої щільності (загальне оброблення);
- в* – відкрита структура (чорнове оброблення).

Структури поділяються на три групи:

- щільні (№ 0, 1, 2 і 3);
- середньої щільності (№ 4, 5 і 6);
- і відкриті (№ 7, 8, 9, 10, 11 і 12).

Кожному номеру структури відповідає певний відсоток основної фракції абразивних зерен в інструменті:

Номер структури	Відсоток основної фракції	Номер структури	Відсоток основної фракції
0	62	7	48
1	60	8	46
2	58	9	44
3	56	10	42
4	54	11	40
5	52	12	38
6	50		

Зауваження. Відсоток основної фракції, це відсоток абразивного матеріалу в абразивному інструменті. Все інше, це об'єм зв'язки та пор між зернами.

Зауваження. Отже, абразивні інструменти, що мають однакові зернистість та твердість, але мають різну структуру – мають різну кількість абразивних зерен.

Залежно від відсотка вмісту основної фракції номер структури додатково позначають літерним індексом:

- В – висока концентрація
- П – підвищена концентрація
- Н – нормальна концентрація
- Д – мінімальна допустима концентрація

Рекомендовані галузі застосуванні абразивних кругів різної структури (різного номеру структури):

- № 0-3 – круги для оброблення кулькових підшипників.
- № 3-4 – профільне шліфування, відрізні круги.
- № 4-6 – кругле завішане шліфування, безцентрове, плоске периферією кругу.
- № 7-9 – заточка різального інструмента, внутрішнє шліфування.
- № 8-10 – загострення інструментів оснащених твердим сплавом.
- № 8-12 – шліфування різьб та інших профілів малого розміру.

10.3 Маркування

Для конкретних умов обробки потрібен абразивний інструмент із певними фізико-механічними властивостями. У зв'язку з цим він

піддається маркуванню, в якому коротко дано повну характеристику абразивного інструмента (шліфувальний матеріал, зернистість, твердість, зв'язка, структура, форма, розмір і максимальна окружна швидкість обертання).

Маркування абразивного інструмента, крім марки заводу виробника і сорту продукції, включає цілу низку параметрів залежно від зовнішнього вигляду і точності геометричної форми:

- характеристику абразивного матеріалу й зв'язки інструмента, номер зернистості, ступінь твердості, рід зв'язки, номер структури;
- позначення, що характеризують форму перетину і основні розміри;
- граничні робочі окружні швидкості або граничну частоту обертів круга;
- клас статичного дисбалансу .

Абразивний інструмент маркується повністю або частково залежно від його розміру і форми.

Приклад 10.1 (Маркування кругів).

Абразивний круг має такі позначення:

КАЗ 14А 40 П С2 6 К5
А 2кл
ПП 500×50×305
35 м/сек

Розшифровка маркування:

КАЗ	–	марка заводу виробника
14А	–	марка абразивного матеріалу
40	–	номер зернистості
П	–	індекс зернистості
С2	–	ступінь твердості
6	–	номер структури
К5	–	тип зв'язки
А	–	клас точності інструмента

2 кл	–	клас неврівноваженості
ПП	–	форма круга
500	–	зовнішній діаметр круга
50	–	висота (товщина круга)
305	–	діаметр посадкового отвору
35 м/сек	–	допустима швидкість

10.4 Вибір абразивного інструмента

Правильний вибір абразивного інструмента в значній мірі визначає успішність роботи на шліфувальному верстаті. Доброякісний інструмент може виявитися непридатним, якщо його характеристики не відповідають умовам роботи.

Різальні зерна шліфувального круга, що обертається з великою швидкістю, зрізують велику кількість тонких стружок. Велика кількість стружок (до сотні мільйонів в одну хвилину) та їх мала товщина (декілька мікрометрів) обумовлюються малим розміром самих різальних зерен-різців і великою кількістю зерен, що одночасно беруть участь у зрізуванні-дряпанні. Тому “процес шліфування” можна розглядати, як процес масового дуже тонкого надшвидкісного різання.

Внаслідок малого перерізу зрізаного шару та великої швидкості різання шліфування забезпечує як високу точність, так і хорошу чистоту обробленої поверхні.

Процес стружкоутворення при шліфуванні супроводжується тими самими явищами, як і процес стружкоутворення, що здійснюється зубом фрези. Тут також мають місце пружне та пластичне деформування, тепловиділення, зміцнення, знос та ін.

Незважаючи на малі розміри шару, що зрізується, одержувана при шліфуванні стружка має ту ж будову і вигляд, що і стружка одержувана при інших видах обробки металів різанням. Але оскільки не всі зерна однаково беруть участь у роботі, то поряд з нормальною (дрібною) стружкою при шліфуванні виходить ще й металічний пил, який при високій температурі спікається.

Висока температура при шліфуванні (до 1000...1500 С°) виникає в результаті наявності у зерен різної, неправильної геометрії різальної частини (передній кут негативний) і значної швидкості різання.

Температура під час шліфування підвищується зі збільшенням зносу зерен, що може спричинити деформацію виробу, припал, структурні зміни та тріщини в обробленій поверхні.

Тому шліфування сталей зазвичай супроводжується застосуванням рясного (10...60 л/хв) охолодження змащувально-охолоджувальними рідинами, які поряд зі зниженням температури сприяють видаленню абразивного і металевого пилу, підвищують продуктивність і покращують чистоту обробленої поверхні.

Особливості шліфування

Поряд із загальними явищами, властивими іншим видам обробки металів різанням, процес шліфування має і специфічні особливості.

Переривчаста різальна кромка

На відміну, наприклад, від фрези шліфувальний круг має не суцільну, а переривчасту різальну кромку, так як зерна відстоять один від одного на деякій відстані.

Від'ємний передній кут

На відміну від зуба фрези зерна шліфувального кола мають неправильну, округлену у вершинах геометричну форму і довільно розташовані в крузі, що викликає, як правило, від'ємне і непостійне значення переднього кута.

Нестабільність товщини зрізу

Внаслідок пірамідальної та округленої форми різальної частини зерна при шліфуванні має місце певна залежність між товщиною (глибиною) та шириною зрізу. Але ці параметри є стохастичними і тому різні зерна одного і того ж абразивного інструмента зрізують шар різної ширини та товщини.

Самозагострювання інструмента

У процесі роботи шліфувальний круг може самозаточуватися, тобто під дією підвищеного навантаження на затуплене зерно останнє може розколотися, або найчастіше викиритися із зв'язки, оголивши нові гострі зерна, які і продовжуватимуть різання.

Нестабільність різання

Внаслідок малої товщини зрізу і округлення вершини зерна в момент, що передує дряпанню-зрізанню (тобто при врізанні), має місце сильне ковзання зерен по поверхні різання, утворену попереду

зерном-різцем. Як результат, зрізування зерном певного шару не гарантовано, зерно може зрізати, а може і не зрізати припуск.

Малий час різання

Процес зняття стружки зерном (час різання) відбувається за дуже короткий проміжок часу (0,0001 ... 0,00005 сек.). Різання практично відбувається миттєво.

Все вище передічене призводить до того, що круг вибирають враховуючи: фізичні властивості оброблюваного матеріалу, припуски на обробку, вимоги до шорсткості поверхні деталі, розмірів і геометрії оброблюваної поверхні, кут контакту між кругом і деталлю, конструкцію і тип верстата.

Зв'язка

Вибір зв'язки залежить від характеру тиску на круг у процесі шліфування, від впливу тепла на оброблювану поверхню деталі і від ступеня й інтенсивності теплоутворення та видалення тепла.

- | | |
|-----------------|---|
| Керамічна (К) | – усі види абразивної роботи за винятком розрізки та утворення вузьких пазів. |
| Силікатна (С) | – плоске шліфування торцем круга. Загострювання великих широких ножів. Застосування охолоджувальної рідини неможливо. |
| Магnezійна (М) | – тільки “сухе” оброблення без застосування охолоджувальної рідини. |
| Бакелітова (Б) | – будь які види абразивного оброблення. Застосування в рідині, що містить більш 1,5 % лужного розчину небажано. |
| Вулканітова (В) | – відрізні та прорізні роботи. Утворення вузьких пазів. Фасонне шліфування. |

Зі зв'язок найбільше поширення знаходить керамічна зв'язка, яка забезпечує високу продуктивність і дозволяє вести шліфування із застосуванням змашувально-охолоджувальної рідини.

Вулканітова і бакелітова зв'язки застосовуються лише для тонких кругів і для кругів, що працюють в умовах великих бокових навантажень.

Абразивний матеріал

Абразивний матеріал зерен круга вибирається в залежності від роду оброблюваного металу. Так, електрокорунди застосовуються при шліфуванні сталей (незагартованих та загартованих), ковкого чавуну та м'яких бронз. Чорний карбід кремнію застосовується при шліфуванні сірого чавуну, бронзового лиття, алюмінієвого лиття, твердих сплавів. Зелений карбід кремнію застосовується переважно при заточуванні твердосплавного інструмента.

Вибір абразивного матеріалу визначається в основному характеристикою оброблюваного металу

Електрокорунд нормальний	– сталь конструкційна, вуглецева, легрована (окрім швидкорізальної). Чавун ковкий.
Електрокорунд білий	– загартована інструментальна сталь усіх марок.
Корунд	– ведучі круги при безцентровому шліфуванні.
Карбід кремнію зелений	– інструмент оснащений твердим сплавом.
Карбід кремнію чорний	– чавун білий, відбілений.

Зернистість

Зернистість круга вибирається залежно від необхідної якості обробленої поверхні, якості оброблюваного металу та від величини поверхні зіткнення кола із заготовкою.

При чорновому шліфуванні застосовуються круги з більшим зерном, ніж при чистовому шліфуванні. При шліфуванні в'язких і м'яких металів, щоб уникнути швидкого засолювання круга, рекомендуються круги крупнозернисті; при шліфуванні ж крихких і твердих металів - дрібнозернисті.

Чим більша поверхня контакту круга із заготовкою, тим більш крупнозернистим має бути круг.

Вибір зернистості абразивного матеріалу залежить від необхідної шорсткості і “точності” обробки поверхні, характеристик оброблюваного металу (твердість, пластичність) і величини припуску, що знімається.

Зернистість #1

Чим вище вимоги до шорсткості та “точності” розміру і форми оброблюваної поверхні, чим вище твердість оброблюваного матеріалу, тим більш дрібнозернистим повинен бути круг.

Грубозернисті круги застосовують при шліфуванні м'яких і в'язких матеріалів, а також при обдирному шліфуванні де є небезпека засалювання робочої поверхні круга стружкою.

Круги середньої зернистості використовують для більшості абразивних робіт.

Зернистість #2

На фінішних операціях необхідно застосовувати абразивні круги малої зернистості.

В інструментальному виробництві для загострювання різального інструмента виготовленого із інструментальної сталі застосовують круги, що мають зернистість за номерами в межах 40...16.

Твердість

Під час роботи абразивним інструментом, правильно підібраним по твердості, зв'язка повинна утримувати абразивні зерна при навантаженнях (що виникають під час роботи) до певного стану їх затуплення (зносу).

Однак, після втрати зерном своїх різальних властивостей, зв'язка повинна зруйнуватись та визволити зерно. У протилежному випадку абразивне зерно, втративши свої різальні здатності, почне перешкоджати процесу різання.

Виконання цієї вимоги забезпечує нормальний знос і достатню стійкість абразивного круга до правки при режимах шліфування, що задовольняють умовам раціонального ведення процесу шліфування.

На вибір твердості шліфувального круга впливає дотримання умов, що забезпечують самозагострення ккругу в процесі шліфування (хоча б часткове самозагострення). Тому чим твердіше оброблюваний

метал, тим м'якше має бути круг, і навпаки, так як при твердому оброблюваному металі зерно круга зношуватиметься інтенсивніше і в інтересах самозаточування воно має швидше (легше) випасти з круга і звільнити місце новому, гострому зерну.

Більш твердими кругами, щоб уникнути обсіпання, повинні бути крупнозернисті круги, оскільки за інших однакових умов на зерно великозернистого круга припадає більше навантаження, ніж на зерно дрібнозернистого круга.

Чим більше дуга контакту круга із заготовкою, тим менша глибина різання припадає на одне зерно, тим більше умов для засалювання круга та перегріву обробленої поверхні, а тому тим м'якше має бути шліфувальний круг.

Таким чином, при однакових умовах круг має бути м'якшим при плоскому шліфуванні, ніж при зовнішньому круглому шліфуванні.

У самих загальних випадках можливо враховувати наступні рекомендації призначення твердості абразивного інструмента:

- | | |
|---------------|---|
| М3, СМ1 | – шліфування та заточування твердого сплаву та інструмента із інструментальної сталі. |
| СТ1, СТ2, СТ3 | – чорнові роботи з великим припуском. |
| С2, СТ1, СТ2 | – операції відрізки. |
| М2, С2 | – шліфування конструкційних сталей. |

Рекомендується користуватися наступним правилом вибору твердості круга.

Вибір твердості

Чим твердішим є оброблюваний матеріал заготовки, тим м'якішим має бути абразивний інструмент. І навпаки.

Структура

Вибір структури абразивного інструмента залежить від характеристики оброблюваного матеріалу. Структурні круги рекомендується застосовувати для наступних операцій:

- № 7, 8, 9 плоске шліфування торцем круга, відрізка, шліфування і заточування твердого сплаву;
- № 5, 6 більшість видів абразивного оброблення і заточування різального інструмента;
- № 3, 4 шліфування, при якому потрібно зберегти профіль абразивного інструмента.

Вибір структури

Чим грубіше оброблення, тим більш відкритою повинна бути структура абразивного інструмента.

За структурою круги вибирають, виходячи з умов обробки. Так, круги із щільною структурою добре зберігають форму, рекомендуються для чистових та фасонних робіт.

Круги із середньощільною структурою рекомендуються для обробки заготовок із загартованих сталей, для заточування різального інструмента, для всіх видів круглого шліфування та для плоского шліфування периферією кола.

Круги з відкритою структурою застосовують при обробці м'яких і в'язких металів і при плоскому шліфуванні торцем кола.

10.5 Кріплення

В даний час є велика кількість видів шліфування. Найбільше поширення мають зовнішнє кругле шліфування (у центрах і безцентрове), внутрішнє шліфування, плоске шліфування, спеціальне шліфування (різьбошліфування, зубошліфування). Кожен тип шліфування має свої особливості які впливають на кріплення абразивного інструмента.

При зовнішньому круглому шліфуванні з поздовжньою подачею шліфувальний круг має два рухи:

- обертальний навколо осі
- і поступальний в глибину оброблюваної заготовки (поперечна подача для поступового зняття припуску).

Заготовка має обертальний рух навколо осі і поступальний рух уздовж осі (подовжня подача з метою обробки по всій довжині заготовки). Поступальний рух шліфувального круга, тобто поперечна подача на певну глибину, здійснюється в кінці поздовжнього ходу

заготовки і може відбуватися за один хід або за два ходи (за один подвійний хід).

Є такі конструкції круглошліфувальних верстатів, у яких заготовка має тільки один обертальний рух, а шліфувальний круг здійснює три рухи (обертальний, поступальний у напрямку поперечної подачі або глибини шліфування і поступальне вздовж осі заготовки, тобто у напрямі поздовжньої подачі).

Зовнішнє кругле шліфування з подовжною подачею застосовується для шліфування круглих заготовок значної довжини. Припуск на шліфування на бік призначається в межах 0,15...1,15 мм і залежить від довжини і діаметра заготовки, чистоти та точності попередньої обробки, ступеня спотворення геометричної форми після термічної обробки та ін.

Загалом 60...80% від загальної величини припуску відводиться під чорнове (попереднє) шліфування, а 40...20% – під чистове, остаточне.

Глибинне шліфування застосовується для обробки коротких (жорстких) заготовок.

При зовнішньому круглому шліфуванні з поперечною подачею або методом врізання поздовжнє переміщення круга або заготовки відсутні. Шліфувальний круг перекриває всю ширину (довжину) оброблюваної поверхні заготовки, яка має лише обертальний рух навколо своєї осі. Шліфувальний круг обертається і одночасно переміщається в поперечному напрямку (0,0025...0,02 мм/об заготовки). Цей спосіб застосовується при шліфуванні заготовок невеликої довжини (особливо при фасонному шліфуванні) та забезпечує високу продуктивність.

Правильне і надійне кріплення й установка круга на верстаті повинні забезпечити: безпечну роботу і виключити можливість вібрації верстата і деталі, яка знижує точність обробки, спотворює форму оброблюваної поверхні та підвищує знос круга.

Залежно від типу і конструкції верстата, а також від форми і розмірів круга застосовують за рис. 10.4 або механічне кріплення (гвинтом, фланцями, у фланцях з гайкою, у фланцях гвинтом), або кріплення склеюванням (наклейка кільцеподібних кругів, насадка на шпильку).

Між затискними фланцями і довкруги з обох боків, повинні ставитися прокладки з пружного матеріалу (картон, шкіра) завтовшки 0,5...3 мм (залежно від діаметру круга). Прокладки повинні перекри-

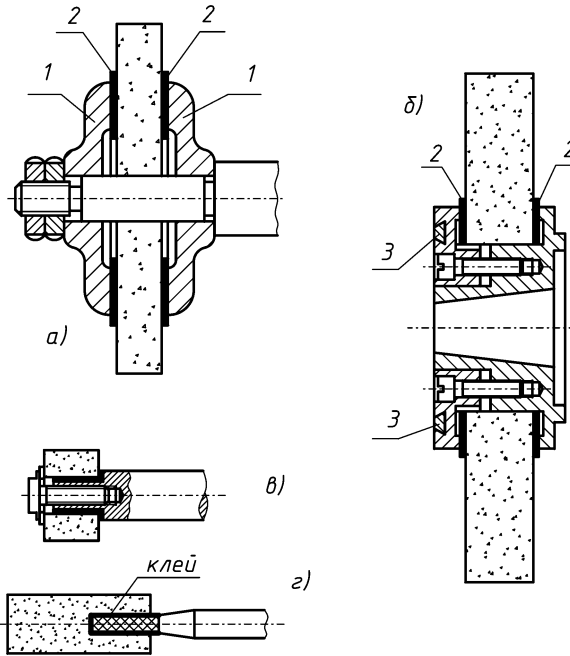


Рис. 10.4. Кріплення абразивних кругів

- а* – кріплення звичайного кругу;
- б* – кріплення кільцевого кругу на перехідних фланцях;
- в* – кріплення на гвинті;
- г* – кріплення на шпильці (склеювання);
- 1* – бокові металеві фланці;
- 2* – картонні запобіжні прокладки;
- 3* – вставки для балансування.

вати всю затискну поверхню фланців і виступати по всьому колу назовні за фланець на 3...5 мм.

Поверхні контакту затискних фланців, прокладок і круга повинні бути чистими і добре прилягати одна до одної.

Застереження. Ні в якому разі неприпустимо застосовувати в якості прокладок пластики або гуму³⁴. Ці матеріали мають схильність змінювати свою форму та розміри під впливом тиску (навантажень). Через це з часом кріплення погіршується і круги починають коливатись під час роботи.

Наклейку кругів малого розміру виконують целулоїдом, розчиненим в ацетоні до в'язкості сметани, рідким склом, сіркою, цементом Сореля, бакелітовим лаком.

10.6 Випробування та балансування

Круги великого діаметра, що призначені для роботи з окружними швидкостями 15 м/сек і більш, безпосередньо перед установкою на шліфувальний верстат необхідно випробувати на міцність при частоті обертання на 50 % більшою, ніж та яка буде під час роботи інструмента. Випробування проводять протягом 5...10 хвилин.

Балансування суцільних і набірних кругів проводять на спеціальному пристрої (рис. 10.5), що має паралельні горизонтальні вали. Балансування кругів проводиться на тих оправках на яких вони будуть встановлені на верстаті.

Розрізняють чотири класи нерівновагі (незбалансованості) абразивних кругів. Незбалансованість кругів визначають умовним параметром “маса незбалансованості”.

Маса незбалансованості

Це умовна маса (у грамах) умовної точки, яка розташована на зовнішньому радіусі круга.

Отже, маємо такі класи незбалансованості виражені в грамах маси умовної точки, що умовно розташована на периферії круга

³⁴Ці матеріали під навантаженням просто витікають зовні. Результат непередбачуваний, але зазвичай дуже неприємний, особливо, коли круг розривається на великій швидкості.

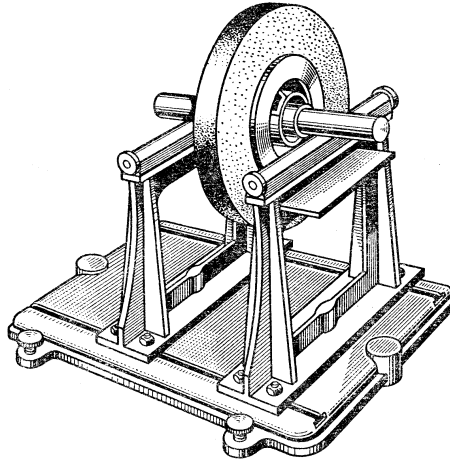


Рис. 10.5. Пристрій для балансування кругів

Маса круга, кг	Клас незбалансованості			
	1	2	3	4
0,2 – 0,25	2,5	4,0	6,0	12,0
2,0 – 2,50	7,5	12,0	20,0	40,0
4,0 – 5,0	11,0	17,0	27,0	55,0
8,0 – 10,0	15,0	25,0	40,0	75,0

У роботі шліфувальні круги повинні бути захищені спеціальними кожухами належної міцності.

Кожен круг, після його установки на шліфувальному верстаті, повинен бути пущений в хід “в холосту” при робочій частоті обертання на час не менше 5 хв.

10.7 Відновлення працездатності

Зазвичай відновлення працездатності круга забезпечується його правкою. Часовий період між двома правками називають періодом стійкості абразивного інструмента.

У середньому, період стійкості абразивного інструмента залежить від характеру технологічної операції і може біти прийнятий таким:

- для зовнішнього круглого шліфування 3...15 хв;
- для внутрішнього круглого шліфування 1...8 хв;
- для плоского шліфування 10...20 хв.

Отже, як бачимо для абразивного інструмента період стійкості значно менший ніж для лезового.

Правка круга

Правка це процес примусового подрібнення абразивних зерен приповерхневого шару абразивного інструмента з метою відновлення їх різальної здатності.

Метою правки є:

- відновлення різальної здатності, втраченої в результаті притуплення кромки різальних зерен або засмічення пор стружкою і роздробленою зв'язкою;
- надання кругу потрібного профілю і розмірів, що змінилися через нерівномірності зносу;
- усунення радіального (або торцевого) буття, що виникло в результаті нерівномірного зносу робочих поверхонь абразивного круга.

Момент затуплення круга і порушення правильності форми і розташування його робочої поверхні проявляється наступними зовнішніми ознаками:

- погіршенням чистоти і зменшенням точності розмірів оброблюваної поверхні;
- появою припикання (якщо це не є наслідком надмірно “жорсткого” режиму шліфування);
- зменшенням інтенсивності зняття припуску на обробку;
- появою додаткових шумів, пов'язаних з вібрацією оброблюваної деталі або частин верстата (при справному стані верстата і належному кріпленні деталі).

Для правки абразивних кругів застосовують:

- алмаз синтетичний (алмазні олівці);
- металевий інструмент – ролики із зернами надтвердого матеріалу;
- шарошки (набори металевих дисків).

Алмазні олівці

Насправді алмазні олівці не є алмазними. Алмазним олівцем називають полий металевий циліндр 2 (рис. 10.6) заповнений дрібним алмазним порошком 1 синтетичного походження.

Робочу частину (вершину) алмазного олівця розташовують нижче осі обертання абразивного круга на 2...3 мм. Одночасно його нахиляють під кутом 15...20°. Таке розташування олівця необхідне з огляду на безпеку його використання.

Режим правки

Режим правки алмазними олівцями: поперечна подача 0,02...0,035 мм, подовжня подача 0,2...0,3 м/хв; швидкість круга нормальна робоча.

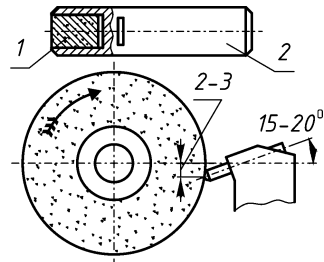


Рис. 10.6. Правка олівцем

Правка роликками

Безалмазну правку роликком виконують таким чином. Правильний інструмент (ролик), укріплений на верстаті в пристрої, вільно обертається навколо своєї осі та щільно притискається до поверхні круга, що підлягає правці. Рух обертання передається від круга до ролика.

Правильний ролик натискає на зерна абразивного круга і ті під дією тиску (від ролика) руйнуються (розколюються) відновлюючи працездатність абразивного інструмента.

Правка шарошкою

Шарошка складаються з штампованих хвилястих дисків (рис. 10.7) з маловуглецевої сталі, загартованої до твердості HRC 50-60. Правку шарошками застосовують переважно для правки шліфувальних кругів, що виконують попередню обробку.

Такі диски набирають на оправку по 5...7 штук. Процес правки аналогічний до правки роликками.

Диски хвилясті, без отворів застосовують для правки кругів, що виконують попередню і остаточну обробку поверхонь на верстатах безцентрового шліфування і плоского шліфування торцем круга.

Інколи замість хвилястих дисків застосовують плоскі диски (без хвиль), але якість правки значно гірша – на поверхні круга можуть утворюватись кільцеві канавки.

Шарошки з фасонним профілем (накатний ролик) застосовують для правки фасонних кругів, що призначаються для нарізування багатониткового різьб, шліфування дискових різців та інших фасонних деталей. Фасонні шарошки виготовляють з інструментальної вуглецевої, легованої або швидкорізальною сталей і гартують на твердість HRC 62-64.

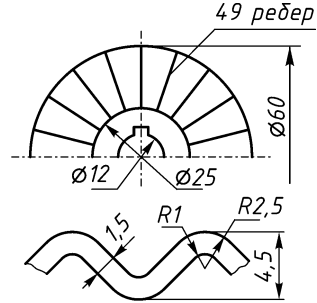


Рис. 10.7. Шарошка

Якість правки значною мірою залежить від правильної наладки механізму верстата і пристрою (в якому встановлюють правильний інструмент), дотримання режимів і методів ведення процесу правки.

10.8 Загострення різального інструмента

Загострення та доведення є основними операціями, що забезпечують формування геометричних параметрів різальних інструментів та відновлення їх різальних властивостей після затуплення.

Продуктивність та якість загострення та доведення інструментів залежать від матеріалу різальних елементів, матеріалу абразивних інструментів та їх технічних характеристик, режимів оброблення.

Твердий сплав

Для загострювання різального інструмента, оснащеного твердим сплавом, застосовують синтетичні алмазні круги, або круги із надтвердих матеріалів [1, 6].

Шліфування твердих сплавів електрокорундом практично неможливе. Це пояснюється тим, що твердість електрокорунду близька до твердості карбідів вольфраму і нижче твердості карбідів титана. Тому зерна електрокорунду в процесі шліфування швидко затуплюються і шліфувальний круг втрачає працездатність.

Для загострення інструментів з твердого сплаву використовують алмазні круги зернистістю 125/100... 80/63. Доведення здійснюється алмазними кругами зернистістю 50/40... 20/16.

Але треба враховувати, що в сучасному інструментальному виробництві, інструмент оснащений твердим сплавом – це інструмент із змінними різальними елементами виготовленими із твердого сплаву. Тому сучасний різальний інструмент оснащений змінними різальними твердосплавними елементами зазвичай не переточують. Зношені різальні елементи просто замінюють новими³⁵.

Інструментальна сталь

На відміну від твердосплавного інструмента, інструмент виготовлений із інструментальних сталей зазвичай переточують для поновлення працездатності. Для загострення різального інструмента виготовленого з інструментальних сталей доцільно враховувати наступні рекомендації:

Матеріал деталі	Операція	Зернистість	Твердість	Структура
Сталь вуглецева	чорнова	40-25	СМ1 - СМ2	8
	чистова	25-16		8
Сталь швидкорізальна	чорнова	50-25	СМ2 - С1	6
	чистова	25-16		5

Круги з електрокорунду нормального зернистістю 40. . . 16 можуть використовуватись для загострення інструмента з високовуглецевих та низьколегованих інструментальних сталей.

Круги з електрокорунду білого зернистістю 40. . . 10 використовують для загострення інструмента із високовуглецевих, низьколегованих та середньо легованих інструментальних сталей.

³⁵Більш того, сучасні фірми-виробники твердосплавних різальних елементів обмінюють зношені пластини на нові. Заощаджуючи, таким чином, на сировині.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну “абразивний інструмент”.
2. Перелічить відмінності абразивного інструмента від лезового.
3. У чому полягає самовідновлення різальної здатності абразивного інструмента?
4. Перелічить типи руйнації абразивних зерен абразивного інструмента.
5. Назвіть основні (геометричні) форми абразивного інструмента.
6. Дайте визначення терміну “зернистість” абразивного інструмента або матеріалу.
7. Перелічить види зв'язок абразивного інструмента.
8. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування керамічної зв'язки.
9. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування силікатної зв'язки.
10. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування магнетитової зв'язки.
11. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування бакелітової зв'язки.
12. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування вулканітової зв'язки.
13. У чому полягає твердість абразивного інструмента?
14. Поясніть у чому різниця між твердістю абразивного матеріалу, та твердістю абразивного інструмента.
15. Назвіть основні марки твердості абразивного інструмента.
16. Що таке структура абразивного інструмента?
17. Які групи структур абразивного інструмента існують?
18. Як позначають зернистість абразивного інструмента?
19. Яке повинно бути співвідношення між твердістю абразивного інструмента і оброблюваної деталі?
20. Для чого виконують правку абразивного інструмента і як?

Посилання

1. Дубицкий Г.А. Сверхтвердые сверхпроводящие материалы на основе алмаза и кубического нитрида бора / Г.А. Дубицкий, В.Д. Бланк, С.Г. Буга, Е.Е. Семенов, В.А. Кульбачинский, А.В. Кречетов, В.Г. Кытин // Письма в ЖЭТФ. – 2005. – Т. 81. – Вып. 5–6. – С. 323–326.
2. Кремень З. И. Технология шлифования в машиностроении / З.И. Кремень, В. Г. Юрьев, А. Ф. Бабошкин. – Санкт-Петербург: Политехника, 2007. – 425 с.
3. Кашук В. А. Справочник шлифовщика / В. А. Кашук, А.Б. Верещагин. – Москва: Машиностроение, 1988. – 480 с.
4. Пушкарев О.И. Микромеханические и эксплуатационные характеристики зёрен абразива при шлифовании / О.И. Пушкарев, В.М. Шумячер // Технология машиностроения. – 2006. – №12. – С. 29–32.
5. Хараева М.И. Абразивный инструмент. Выбор и применение / М.И. Хараева. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 140 с.
6. Юношев, А.С. Ударно-волновой синтез кубического нитрида кремния / А.С. Юношев // Физика горения и взрыва. – 2004. – Т. 40 – №3. – С. 132–135.

ДОДАТКИ

А Глосарій за ISO 13399

Додаток А.1 (Терміни за позначеннями).

- a_p – **глибина різання** – ширина зрізання шару, перпендикулярна напрямку подачі. Вимірюється у міліметрах, мм.
- DC – **діаметр різання** – діаметр кола, що створюється точкою різальної кромки, яка обертається навколо осі інструменту та здійснює різання. Примітка: цей діаметр відноситься до обробленої периферійної поверхні. Вимірюється в міліметрах, мм.
- D_{cap} – **діаметр різання при даній глибині різання** – діаметр на відстані a_p від робочої площини, виміряний в основній площині. Вимірюється у міліметрах, мм.
- D_m – **оброблюваний діаметр** – оброблюваний (початковий) діаметр заготовки. Вимірюється у міліметрах, мм.
- F_f – **зусилля подачі** – складова сили різання, одержувана проекцією на напрямок подачі (тобто у напрямку вектора v_f). Вимірюється в ньютонах, Н.
- f_n – **подача на оборот** – переміщення інструменту у напрямі подачі за один оборот заготовки чи інструменту. Не залежить від кількості ефективних різальних кромки інструмента. У випадку точіння відстань вимірюється за один повний оберт заготовки. Вимірюється у міліметрах на оборот, мм/об.
- f_z – **подача на зуб** – величина переміщення центру обертання інструмента у напрямі подачі за час його повороту на один ефективний зуб (Z_c). Вимірюється у міліметрах на зуб, мм/зуб.
- h_{ex} – **максимальна товщина стружки** – максимальна товщина недеформованої стружки, яка залежить від величини радіального врізання, обробки крайок пластини та подачі на зуб. Слід пам'ятати, що варіювання радіальної ширини різання та кутів у плані вимагає коригування подачі для підтримки належної товщини стружки. Вимірюється в міліметрах, мм
- h_m – **середня товщина стружки** – середня товщина недеформованої стружки, залежить від величини радіального

врізання, обробки кромek пластини та подачі на зуб. Слід пам'ятати, що варіювання радіальної ширини різання та кутів у плані вимагає коригування подачі підтримки на-
лежної товщини стружки. Вимірюється в міліметрах, мм.

- KAPR* – **кут у плані** – кут в основний площині між площиною різання та робочою площиною (напрямом подачі).
- k_{c1}* – **коефіцієнт питомої сили різання** – сила різання на одиницю площі для товщини стружки 1 мм у тангенціальному напрямі. Вимірюється Н/мм².
- l_m* – **довжина обробки** – сумарна довжина різання з урахуванням усіх проходів. Вимірюється у міліметрах, мм.
- M_c* – **збільшення питомої сили різання** – збільшення питомої сили різання зі зменшенням товщини стружки. Вказано в властивості матеріалу заготовок у таблицях параметрів різання та вимірюється у вигляді коефіцієнта. Також тісно пов'язаний з коефіцієнтом питомої сили різання (*k_{c1}*).
- n* – **швидкість шпинделя** – частота обертання шпинделя верстата. Вимірюється в оборотах за хвилину, об/хв.
- k_c* – **питома сила різання** – сила різання на одиницю площі для даної товщини стружки у тангенціальному напрямку. Вимірюється в Н/мм².
- P_c* – **потужність різання** – потужність різання, що створюється видаленням стружки. Вимірюється в кіловатах, кВт.
- T_c* – **сумарний час різання** – час різання з урахуванням усіх проходів. Вимірюється у хвилинах.
- Q* – **швидкість знімання матеріалу** – обсяг матеріалу, що видаляється інструментом за одиницю часу. Параметр *Q* можна назвати також "миттєвою" швидкістю знімання матеріалу, тобто це швидкість, з якою поперечний переріз матеріалу, що видаляється рухається через заготовку. Вона вимірюється см³/хв.
- v_c* – **швидкість різання** – миттєва швидкість різального руху обраної точки на різальній кромці щодо оброблюваної деталі. Вимірюється в метрах у хвилину, м/хв.
- v_f* – **швидкість подачі/хвилинна подача** – Відстань в міліметрах, яку різальний інструмент проходить вздовж заго-

товки за хвилину. Вимірюється в міліметрах у хвилину, мм/хв.

- γ_o – **ефективний передній кут** – кут між передньою поверхнею різця (або дотичної до неї) та основною площиною у точці головної різальної кромки, що розглядається. Питома сила зменшується на один відсоток за кожен градус переднього кута. Вимірюється у градусах.
- Z_c – **ефективна кількість різальних кромок** – кількість різальних кромок інструмента, що беруть участь у різанні.
- Z_n – **кількість різальних кромок** – кількість різальних кромок інструмента.

Додаток А.2 (Терміни за абеткою).

- a_p – **глибина різання** – ширина зрізання шару, перпендикулярна напрямку подачі. Вимірюється у міліметрах, мм.
- DC – **діаметр різання** – діаметр кола, що створюється точкою різальної кромки, яка обертається навколо осі інструменту та здійснює різання. Примітка: цей діаметр відноситься до обробленої периферійної поверхні. Вимірюється в міліметрах, мм.
- D_{cap} – **діаметр різання при даній глибині різання** – діаметр на відстані a_p від робочої площини, вимірюваний в основній площині. Вимірюється у міліметрах, мм.
- Z_c – **ефективна кількість різальних кромок** – кількість різальних кромок інструмента, що беруть участь у різанні.
- γ_o – **ефективний передній кут** – кут між передньою поверхнею різця (або дотичної до неї) та основною площиною у точці головної різальної кромки, що розглядається. Питомі сила зменшується на один відсоток за кожен градус переднього кута. Вимірюється у градусах.
- M_c – **збільшення питомої сили різання** – збільшення питомої сили різання зі зменшенням товщини стружки. Вказано в властивості матеріалу заготовок у таблицях параметрів різання та вимірюється у вигляді коефіцієнта. Також тісно пов'язаний з коефіцієнтом питомої сили різання (k_{c1}).
- F_f – **зусилля подачі** – складова сили різання, одержувана проекцією на напрямок подачі (тобто у напрямку вектора v_f). Вимірюється в ньютонах, Н.
- Z_n – **кількість різальних кромок** – кількість різальних кромок інструмента.
- k_{c1} – **коефіцієнт питомої сили різання** – сила різання на одиницю площі для товщини стружки 1 мм у тангенціальному напрямі. Вимірюється Н/мм².
- $KAPR$ – **кут у плані** – кут в основній площині між площиною різання та робочою площиною (напрямом подачі).
- h_{ex} – **максимальна товщина стружки** – максимальна товщина недеформованої стружки, яка залежить від величини радіального врізання, обробки крайок пластини та подачі

- на зуб. Слід пам'ятати, що варіювання радіальної ширини різання та кутів у плані вимагає коригування подачі для підтримки належної товщини стружки. Вимірюється в міліметрах, мм
- D_m – **оброблюваний діаметр** – оброблюваний (початковий) діаметр заготовки. Вимірюється у міліметрах, мм.
- k_c – **питома сила різання** – сила різання на одиницю площі для даної товщини стружки у тангенціальному напрямку. Вимірюється в Н/мм².
- f_z – **подача на зуб** – величина переміщення центру обертання інструмента у напрямі подачі за час його повороту на один ефективний зуб (Z_c). Вимірюється у міліметрах на зуб, мм/зуб.
- f_n – **подача на оборот** – переміщення інструменту у напрямі подачі за один оборот заготовки чи інструменту. Не залежить від кількості ефективних різальних кромek інструмента. У випадку точіння відстань вимірюється за один повний оберт заготовки. Вимірюється у міліметрах на оборот, мм/об.
- P_c – **потужність різання** – потужність різання, що створюється видаленням стружки. Вимірюється в кіловатах, кВт
- h_m – **середня товщина стружки** – середня товщина недеформованої стружки, залежить від величини радіального врізання, обробки кромek пластини та подачі на зуб. Слід пам'ятати, що варіювання радіальної ширини різання та кутів у плані вимагає коригування подачі підтримки належної товщини стружки. Вимірюється в міліметрах, мм.
- T_c – **сумарний час різання** – час різання з урахуванням усіх проходів. Вимірюється у хвилинах.
- n – **швидкість шпинделя** – частота обертання шпинделя верстата. Вимірюється в оборотах за хвилину, об/хв.
- Q – **швидкість знімання матеріалу** – обсяг матеріалу, що видаляється інструментом за одиницю часу. Параметр Q можна назвати також "миттєвою" швидкістю знімання матеріалу, тобто це швидкість, з якою поперечний переріз матеріалу, що видаляється рухається через заготовку. Вона вимірюється см³/хв.

- v_c – **швидкість різання** – миттєва швидкість різального руху обраної точки на різальній кромці щодо оброблюваної деталі. Вимірюється в метрах у хвилину, м/хв.
- v_f – **швидкість подачі/хвилинна подача** – Відстань в міліметрах, яку різальний інструмент проходить вздовж заготовки за хвилину. Вимірюється в міліметрах у хвилину, мм/хв.

Посилання

1. Девин Л. Н. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания / Л. Н. Девин, А. Г. Сулима. // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностика (ПиКАД). – 2008. – №3. – С. 24–26.
2. Девин Л. Н. Исследование влияния износа резца из композита на основе КНБ на вероятность его разрушения при чистовом точении закаленных сталей / Л. Н. Девин, Н. Е. Стахив. // Сверхтвердые материалы. – 2012. – №4. – С. 74–77.
3. Деркач Ю. А. Фрезы затылованные. / Ю. А. Деркач. Кременчуг, 2007 –158 с.
4. Родін П. Р. Різальний інструмент. Лабораторний практикум. / П. Р. Родін, Н. С. Равська, В. І. Солодкий та ін. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 298 с.
5. Розенберг А. М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / А. М. Розенберг. – Київ: Наукова думка, 1990. – 320 с.
6. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущих инструментов. / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. - М.: Машгиз, 1962. - 952 с.
7. Солодкий В. І. Різальний інструмент. Лабораторний практикум. / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Київ: Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського., 2018. – 278 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27533>
8. Солодкий В. І. Основи формоутворення поверхонь різанням / В. І. Солодкий, Д. О. Красновид О. А. Плівак. - Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського. -2018. – 441 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27531>
9. Солодкий В. І. Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну / В. І. Солодкий, В. В. Вовк. Ю. І. Адаменко, Н. В. Мініцька. Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського. -2020. – 202 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/33069>
10. Солодкий В. І. Різальний інструмент. Лабораторний практикум / В. І. Солодкий, О. А. Плівак Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського. -2020. – 224 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/38458>

11. Солодкий В.І. Проектування металорізальних інструментів: Навч. посіб. / В.І. Солодкий, С.В. Майданюк, О.А. Плівак. – Київ: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 -170 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27532>
12. Солодкий В. І. Основи проектування різального інструмента. Частина 1 / В.І. Солодкий, О.А. Плівак. – Київ: НТУУ КПІ ім.. Ігоря Сікорського, 2020 -220 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/37258>
13. Солодкий В. І. Основи проектування різального інструмента. Частина 2 / В.І. Солодкий, О.А. Плівак. – Київ: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021 -178 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/39956>
14. Справочник инструментальщика-конструктора. /В.И. Климов, А.С. Лернер, М.Д. Пекарский. - М.: Машгиз, 1958. - 608 с.
15. Четвериков С.С. Металлорежущие инструменты. / С.С. Четвериков. - М.: Высшая школа. 1965 - 731 с.
16. Todd, Robert H.; Allen, Dell K.; Alting, Leo (2019), Manufacturing Processes Reference Guide, Industrial Press Inc., pp. 43–48, ISBN 978-0-8311-3049-7.

Електронне мережне навчальне видання

Солодкий Валерій Іванович

КОНСТРУКТОРСЬКЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СИСТЕМ
ОСНОВИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
Київ – 2022 р.