

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

В.І. Солодкий



ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ФРЕЗИ

ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ

Матеріал для самостійної роботи

Електронне мережеве навчальне видання

2-ге видання, перероблене і доповнене

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2024

УДК 621.914(075.8)
С60

Автор: *Солодкий Валерій Іванович*, канд. техн. наук, доц.

Рецензент *Охріменко О.А.*, док. техн. наук, професор,
КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Відповідальний *Адаменко Ю.І.* канд. техн. наук, доцент,
редактор КПІ ім. Ігоря Сікорського.

*Вчена рада навчально-наукового
механіко-машинобудівного інституту
(протокол № 8 від 25.03.2024 р)*

Солодкий В. І.

С60 Проектування різальних інструментів. Фрези, геометричні параметри [Електронний ресурс]: метод. вказівки для здобувачів ступеня бакалавр за освіт. програмою “Конструювання та дизайн машин” спец. 131 – Прикладна механіка/ В. І. Солодкий : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2-ге вид. перероблене та доповн. – Електрон. текст. дані (1 файл). — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 23 с.

Наведено теоретичні та практичні відомості з проектування фрез загального та спеціального призначення. Теоретичні положення супроводжуються практичними рекомендаціями. Розглянуто особливості проєктування фрезерного інструмента різного призначення. Наведені методики та приклади профілювання та проєктування черв'ячних фрез цільної конструкції для обробки шліцьових та багатограних валів.

Для викладачів та студентів усіх форм навчання за технічними спеціальностями.

УДК 621.914(075.8)

© В. І. Солодкий
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024

ДО СТУДЕНТІВ

Викладений матеріал призначений для
самостійної роботи за темою “Проектування фрез”
та роботи над дипломним проєктом
освітнього рівня бакалавр.

Зміст

1. Геометричні параметри	6
1.1. Елементи зрізаного шару	6
1.1.1. Зрізуваний шар	6
1.1.2. Глибина різання	7
1.2. Передні кути	7
1.3. Задні кути	9
1.4. Кут нахилу стружкової канавки	9
1.4.1. Вплив кута нахилу кромки на кути різання	10
1.4.2. Вплив кута нахилу кромки на зусилля різання	12
1.4.3. Кут нахилу кромки та кількість зубців	13
1.4.4. Особливість торцевих фрез	14
1.5. Кути у плані	15
1.5.1. Загальні зауваження	15
1.5.2. Фрези торцеві	15
1.5.3. Фрези кінцеві та дискові	16
1.5.4. Вплив подачі	17
1.5.5. Бічні та торцеві кромки	17
2. Узагальнення	20
Контрольні запитання	21
Посилання	22

Перелік ілюстрацій

1.1.	Елементи зрізаного шару	6
1.2.	Бічна стрічка	9
1.3.	Нахил канавки та напрям зусиль	12
1.4.	Рівномірне фрезерування	13
1.5.	Фаски торцевих фрез	15
1.6.	Зубець кінцевих фрез	16
1.7.	Зубець дискових фрез	16
1.8.	Торцеві та бічні кромки	19

Перелік таблиць

1.1.	Передні кути фрез	8
1.2.	Передній кут	8
1.3.	Задні кути	9
1.4.	Кінематичні передні кути $\gamma_{\text{кін}}$	11
1.5.	Кут нахилу канавки	11
1.6.	Кути у плані	18

Перелік прикладів

1.1.	Кількість зубців	13
------	------------------------	----



1. Геометричні параметри

Основними геометричними параметрами фрези є передній γ та задній α кути зубця, а також кут ω нахилу стружкової канавки[1, 2]. Всі ці кути впливають на технологічні умови обробки.

1.1. Елементи зрізаного шару

Товщиною зрізу a при фрезуванні називається найкоротша відстань між двома послідовними положеннями лініями траєкторій двох сусідніх зубців (різальних елементів інструмента) фрези (рис. 1.1).

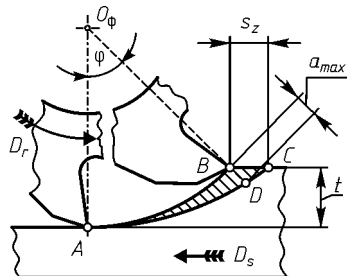


Рис. 1.1. Елементи зрізаного шару

1.1.1. Зрізуваний шар

Товщина a шару, що зрізується кожним окремим зубцем фрези є змінною величиною, вона є функцією від кута φ і може бути розрахована за наступною математичною залежністю

$$a = s_z \sin \varphi, \quad (1.1)$$

де s_z – подача на зубець;

φ – кут повороту різальної кромки за рис. 1.1.

Якщо відома товщина t припуску, то найбільшу величину (товщину) зрізаного шару a_{max} можливо визначити як

$$a_{max} = s_z \sqrt{\frac{t}{R}}, \quad (1.2)$$

де t – глибина різання (товщина припуску);

R – радіус фрези.

1.1.2. Глибина різання

Глибину різання t визначають як відстань між точками оброблюваної та обробленої поверхонь, що знаходяться в площині різання, виміряну в напрямку, перпендикулярному напрямку руху подачі¹.

Глибину різання вибирають залежно від припуску на обробку, потужності та жорсткості верстата. Треба прагнути вести чорнове та напівчистове фрезерування за один прохід, якщо це дозволяє потужність верстата.

Зазвичай глибина різання становить 2...6 мм. На потужних фрезерних верстатах при роботі торцевими фрезами глибина різання може досягати 25 мм. При припуску на обробку більше 6 мм і при підвищених вимогах до величини шорсткості поверхні, фрезерування здійснюють у два переходи – чорновий та чистовий.

При чистовому переході глибину різання приймають у межах 0,75 ... 2 мм. Різальна кромка має деякий радіус округлення, який у міру зношування інструменту збільшується. При меншій глибині різання матеріал поверхневого шару замість зрізування піддається пластичному деформуванню (різання немає). Тому при невеликих припусках на обробку та необхідності проведення чистової обробки (величина шорсткості $Ra = 2 \dots 0,4$ мкм) глибину різання приймають у межах 1 мм.

Ширина зрізу b при циліндричному фрезеруванні дорівнює загальній довжині контакту різальних кромок фрези з оброблюваною заготовкою.

1.2. Передні кути

Передній кут γ призначений для полегшення роботи зубця при деформуванні стружки. Чим більше кут γ , тим легше здійснюється процес різання, зменшуються тепловиділення і потужність, що витрачається на різання, але одночасно послаблюється різальна кромка.

Із зменшенням кута γ різальне лезо зміцнюється, але потужність, що витрачається на різання, зростає, зростає і тепловиділення.

Граничні значення передніх кутів залежать від типу інструмента та інструментального матеріалу і коливаються у межах:

- від мінус 15° для фрез оснащених мінералокерамікою;
- до плюс 30° у фрез для обробки легких сплавів.

¹В окремих випадках ця величина може вимірюватися як різниця відстаней точок оброблюваної та обробленої поверхонь до столу верстата або до будь-якої іншої постійної бази, паралельної до напрямку руху подачі.

Величини передніх кутів залежать від механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Для циліндричних, торцевих, кінцевих, дискових, шпонкових фрез величину переднього кута γ_N в перерізі перпендикулярному до головної різальної кромки фрези, рекомендується приймати за табл. 1.1.

Табл. 1.1. Передні кути фрез

Деталь		γ_N , град	
		сталь	тв.сплав
Сталь	$\sigma_B \leq 580$ МПа	20	15
	$\sigma_B = (580 \dots 980)$ МПа	15	-5 ... +5
	$\sigma_B > \sigma_B \leq 580$ МПа МПа	10 ... 12	-10 ... +15
Чавун	$HB < 150$	15	-5 ... +5
	$HB > 150$	10	

За можливістю визначення коефіцієнта усадки K оброблюваного матеріалу для конструкційних сталей величину переднього кута γ рекомендується приймати за табл. 1.2.

Коефіцієнт усадки K розраховують за формулою

$$K = \frac{l_o}{l}, \quad (1.3)$$

де l_o – довжина зрізаної стружки;

l – номінальна довжина стругання.

Коефіцієнт K усадки стружки визначають експериментально при струганні без використання охолодження токарним різцем за наступних умов обробки:

- передній кут стругального різця $\gamma = 10^\circ$,
- задній кут стругального різця $\alpha = 8^\circ$
- кут нахилу різальної кромки $\lambda = 0^\circ$.
- довжина стругання не менше ніж $l > 100$ мм;
- товщина шару, що знімається $t = 0,5$ мм,
- ширина стругання $b = 4$ мм.

У конструкціях фрез із пластинками із твердих сплавів при обробці високоміцних та загартованих сталей застосовують, за аналогією з різцями, від'ємні передні кути γ величиною до $\gamma = -10^\circ$.

Табл. 1.2. Передній кут

K	γ , град
$\leq 0,45$	20
$0,45 \dots 0,55$	15
$> 0,55$	10

1.3. Задні кути

Величину заднього кута α зубця фрези (рис. 1.2) орієнтовно можна приймати згідно за табл. 1.3.

При заточуванні фрез можна залишати циліндричну стрічку f за рис. 1.2 :

- $f < 0,02$ мм для фрез діаметром до 30 мм;
- $f < 0,05$ мм діаметром понад 30 мм.

Однак дискові, пазові, шліцові, фрези-пили і Т-подібні пазові фрези слід заточувати “нагостро” не залишаючи ніяких стрічок.

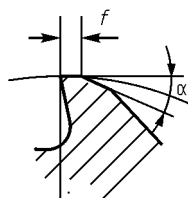


Рис. 1.2. Бічна стрічка

Табл. 1.3. Задні кути

Тип фрез	α , град
Циліндричні та торцеві	12 ... 16
Дискові	12 ... 20
Кінцеві	16 ... 25
Шліцові	30
Пили (відрізні фрези)	20
Кутові	14 ... 16

1.4. Кут нахилу стружкової канавки

При прямому зубці фреза працює нерівномірно, так як вхід і вихід кожного зубця відбуваються відразу по всій його довжині. Навантаження на фрезу змінюється, особливо у моменти виходу окремих зубців із роботи. Тому фреза працює поштовхами.

Кут ω нахилу гвинтових зубів (стружкових канавок) впливає на ряд параметрів інструмента, а саме:

- на напрямок сходу стружки;
- на величину переднього кута торцевого зубця у кінцевих фрез (якщо цей кут не заточується);
- на плавність роботи фрези;
- на переріз стружки (при роботі зубцями, розташованими на циліндричній частині фрези);
- на міцність і жорсткість фрези.

Якщо зубці фрези розташовані по гвинтовій лінії, вони входять в деталь і виходять з неї поступово, а значить коливання зусиль різання будуть вирівнюватися. Оформлення фрез з гвинтовими зубцями значно покращує процес обробки².

З точки зору відведення стружки доцільно збільшувати кут ω нахилу стружкової канавки до величин $\omega = 45 \dots 60^\circ$, але при цьому зростає осьова складова сил різання, що приводить до небажаного збільшення навантаження направлено вздовж осі шпинделя верстата (рис. 1.3 на с. 12).

Зазвичай кут ω нахилу стружкової канавки (а відповідно і різальної кромки фрези) приймають у межах $20 \dots 30^\circ$.

1.4.1. Вплив кута нахилу кромки на кути різання

Величини передніх γ_N та задніх α_N кутів у площині нормальній до різальної кромки можна орієнтовно визначити за формулами:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_N &= \operatorname{tg} \gamma \cos \omega, \\ \operatorname{tg} \alpha_N &= \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega}, \end{aligned} \quad (1.4)$$

де γ – передній кут торцевий;
 α – задній кут торцевий;
 ω – кут нахилу стружкової канавки.

Кут ω має позитивний вплив на реальні (кінематичні) передні кути $\gamma_{\text{кін}}$, які доцільно визначати в напрямку сходу стружки за формулами:

$$\sin \gamma_{\text{кін}} = \sin^2 \omega + \frac{\cos^2 \omega \operatorname{tg} \gamma_N}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \omega + \operatorname{tg}^2 \gamma_N}}, \quad (1.5)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \operatorname{tg} \gamma \cos \omega. \quad (1.6)$$

Результати розрахунків за наведеними формулами (1.5) та (1.6) зведені до табл. 1.4.

²При цьому необхідно враховувати, що чим довша фреза, тим більший ефект дасть нахил стружкової канавки. У фрез невеликої довжини (коли довжина різальної кромки більш співпадає з її діаметром) замість гвинтових канавок виконують прямі канавки під кутом ω . Це значно спрощує виготовлення інструменту і ніяк не впливає на його працездатність.

Табл. 1.4. Кінематичні передні кути $\gamma_{\text{кін}}$

$\gamma_{\text{інстр}}^{\circ}$	8	10	12	14	16	18
ω°	кінематичні передні кути $\gamma_{\text{кін}}$					
$\omega = 15$	10°51'	12°37'	14°23'	16°10'	17°57'	19°44'
$\omega = 20$	13°03'	14°39'	16°15'	17°52'	19°30'	21°08'
$\omega = 25$	15°50'	17°14'	18°39'	20°05'	21°31'	22°59'
$\omega = 30$	19°11'	20°23'	21°36'	22°49'	24°04'	25°19'
$\omega = 35$	23°05'	24°05'	25°04'	26°05'	27°07'	28°10'

Кут ω нахилу стружкових канавок (нахилу різальних кромок) приймають у залежності від типу фрез за табл. 1.5.

Табл. 1.5. Кут нахилу канавки

Тип фрези	ω , град
Циліндричні:	
– однонаправлені	30
– різнонаправлені	35
Кінцеві	30
Шпонкові	15
Дискові:	
– односторонні	10
– тристоронні	15
– кутові	0
Торцеві	10

Дослідження стійкості фрез з різними значеннями кута ω нахилу стружкової канавки показали, що зі збільшенням кута нахилу зубців ω від 10 до 60° стійкість фрези зростає від трьох до п'яти разів. Сприятливий відвід стружки сприяє зниженню питомого навантаження та питомих сил різання на фрези.

Значний вплив, який має кут ω на кінематичний передній кут $\gamma_{\text{кін}}$, дозволяє зменшувати величину інструментального кута $\gamma_{\text{інст}}$ з метою зміцнення різального леза, компенсуючи різницю збільшенням кута ω .

Особливо ефективне таке зменшення кута $\gamma_{\text{інст}}$ при обробці матеріалів, які потребують великих передніх кутів (легкі сплави, деякі жароміцні сталі).

1.4.2. Вплив кута нахилу кромки на зусилля різання

Збільшення кута ω сприяє також і більш плавній роботі фрези за рахунок збільшення коефіцієнта перекриття, тобто збільшення кількості зубців, що одночасно перебувають у контакті з поверхнею різання. Однак великі значення кутів ω призводять до збільшення передніх кутів і ослаблення торцевих зубців фрез, до ускладнення заточування та переточування зубців при експлуатації. Рекомендовані діапазони значень кута ω для різних видів фрез наведено у згадуваній вище табл. 1.5.

На рис. 1.3 наведені фрези з двома типами гвинтових зубців – правим та лівим при показаному напрямку обертання фрези. Зусилля в процесі різання Q , нормальне до гвинтового зубця, при куті його нахилу до осі фрези, що дорівнює ω , можна розкласти на два зусилля:

- P – таке, що нормальне до осі фрези;
- R – таке, що паралельне до осі фрези.

При першому положенні (рис. 1.3, *права*) гвинтової лінії та напрямку обертання фрези осьове зусилля витягуватиме фрезу зі шпинделя верстата. У другому положенні (рис. 1.3, *ліва*), навпаки, буде вдавлювати в шпиндель.

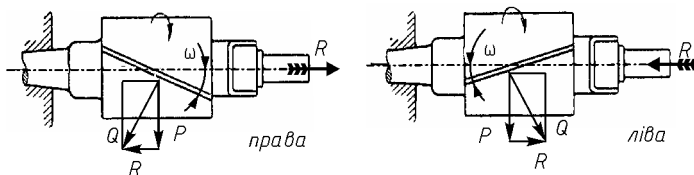


Рис. 1.3. Нахил канавки та напрям зусиль

Кут нахилу ω гвинтової канавки зазвичай беруть з урахуванням забезпечення, з одного боку, більш рівномірної роботи фрези, з іншого – можливо меншого осьового зусилля.

Для нейтралізації впливу осьового зусилля R у фрезах з гвинтовими зубцями з'єднують разом дві фрези з різними напрямками гвинтових зубців так, що осьові зусилля взаємно врівноважуються. Тобто замість однієї довгої фрези на верстаті встановлюють дві короткі, але з різним (протилежним) напрямком зубців (права+ліва).

1.4.3. Кут нахилу кромки та кількість зубців

Для створення умов рівномірного фрезерування необхідно, щоб сумарний переріз стружки та зусилля різання, що діє на фрезу, залишалися постійними протягом процесу фрезерування.

Ця сталість може бути досягнута тільки при роботі циліндричними фрезами з гвинтовими зубцями, якщо ширина фрезерування буде кратно осьовому кроку (рис. 1.4), тобто за умови

$$B = K t_o, \quad (1.7)$$

де B – ширина фрезерування;
 t_o – осьовий крок зубців;
 K – кількість зубців, що працюють одночасно.

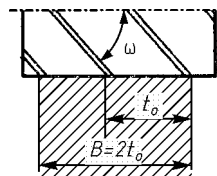


Рис. 1.4. Рівномірне фрезерування

Таким чином, якщо ширина B поверхні, що фрезерується, кратно осьовому кроку t_o ціле число разів K , то сумарний переріз стружки в процесі фрезерування залишатиметься постійним, і робота в такому випадку буде рівномірною.

Враховуючи що

$$t_o = \frac{\pi D_\phi}{Z} \operatorname{tg} \omega \quad (1.8)$$

математичну залежність (1.7) можливо переписати як

$$B = K \frac{\pi D_\phi}{Z} \operatorname{tg} \omega, \quad (1.9)$$

звідки маємо

$$Z = K \frac{\pi D_\phi}{B} \operatorname{tg} \omega. \quad (1.10)$$

Таким чином, для забезпечення рівномірного фрезерування залежно від ширини фрезерування B необхідно підбирати фрезу, що має певний діаметр D_ϕ , кількість зубців Z та кут ω нахилу гвинтової стружкової канавки.

Приклад 1.1 (Кількість зубців).

Визначити доцільну кількість зубців, яка забезпечує плавність роботи дискової фрези.

Вихідні дані:

- $D_{\phi} = 63 \text{ мм}$ – діаметр циліндричної фрези;
 $B = 45$ – ширина фрезерування (ширина деталі);
 $K = 3$ – кількість зубців, що працюють одночасно;
 $\omega = 25^{\circ}$ – кут нахилу стружкової канавки.

Рішення:

1. За (1.10) маємо

$$Z = K \frac{\pi D_{\phi}}{B} \operatorname{tg} \omega = 3 \frac{\pi 63}{45} \operatorname{tg} 25 = 6,153 \text{ зубця.}$$

2. Отже, для того щоб фреза плавно працювала вона повинна мати 6,153 зубця, що нереально. Таким чином приймаємо кількість зубців $Z = 6$ та працюємо за наявності відносно невеликих коливань зусиль різання, які становлять

$$\left| \frac{Z_{\text{роз}} - Z_{\text{прий}}}{Z_{\text{прий}}} 100\% \right| = \frac{6,153 - 6}{6} 100\% = 2,55 \%$$

від середньої величини зусиль.

2.1. До речі, якщо прийняти кількість зубців рівну $Z = 7$ то величина коливань зусилля різання становить

$$\left| \frac{6,153 - 7}{7} 100\% \right| = 12,1 \%.$$

1.4.4. Особливість торцевих фрез

Кут λ – кут нахилу різальної кромки у циліндричних фрез збігається з кутом ω нахилу стружкової канавки. У торцевих фрез він визначається, як кут між вектором швидкості в даній точці кромки і нормаллю до головної різальної кромки в тій точці, що вимірюється в площині різання.

Кут λ додатний, якщо вектор швидкості та проекція різальної кромки на площину різання утворюють гострий кут, і від’ємний якщо цей кут тупий. Кут λ впливає на напрям відведення стружки, на міцність різальних кромки, на послідовність вступу в роботу та виходу з оброблюваної деталі різних точок різального леза.

Так, при $\lambda > 0$ першими вступають у роботу і першими закінчують її точки різальної кромки, віддалені від вершини леза, що створює сприятливий розподіл навантажень, а сама різальна частина зміцнюється.

Навпаки, при $\lambda < 0$ першими в роботу вступають і першими за закінчують ділянки різальної кромки, розташовані біля вершини зубця, що при обробці по кірці дозволяє починати роботу з менш твердих ділянок оброблюваної поверхні.

У торцевих фрез кут λ нахилу різальної кромки зазвичай непостійний за величиною, він змінюється залежно від форми та розташування різальної кромки.

1.5. Кути у плані

1.5.1. Загальні зауваження

Головний кут у плані ϕ визначає товщину зрізуваного шару металу в залежності від глибини різання t та подачі s . Із зменшенням кута ϕ товщина зрізу зменшується, ширина збільшується, покращується відведення тепла, але при цьому зростає питома робота різання, змінюється в гіршу сторону співвідношення між складовими сил різання[3].

Для того щоб знизити негативний вплив малих кутів ϕ , іноді різальну кромку виконують з двома кутами ϕ

- перший (біля вершини) – з малими значеннями кута
- і другий – з збільшеними значеннями кута.

Співвідношення між цими кутами дорівнює 1:2 (малий у два рази менше великого).

Величина кута у плані ϕ визначається конструкцією інструмента. Для кінцевих, циліндричних і дискових фрез кут $\phi = 90^\circ$. Для кутових фрез кут ϕ визначається призначенням інструмента.

1.5.2. Фрези торцеві

Різальні кромки торцевих фрез завжди мають додаткові захистні фаски f шириною $f = 0,5 \dots 2,0$ мм (рис. 1.5). Ця фаска має подвійне призначення.

По-перше, вона зміцнює вершину різального елемента (вершина елемента стає більш широкою).

По-друге, більш “тупа” вершина різального елемента краще відводить теплові потоки, які супроводжують процес утворення стружки.

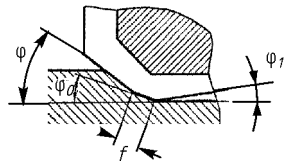


Рис. 1.5. Фаски торцевих фрез

Кут φ_0 нахилу фаски f приймають у межах $3 \dots 5^\circ$. Фаска утворює остаточно оброблену поверхню деталі, її називають “зміцнювальною”.

Кут φ приймають залежно від умов обробки:

- для чорнової обробки $\varphi = 15 \dots 60^\circ$;
- для чистової $\varphi = 30^\circ$.

Кут φ_1 це кут “піднутрення” торця, зазвичай його величина не перевищує $\varphi_1 = 2 \dots 5^\circ$.

1.5.3. Фрези кінцеві та дискові

Кінцеві (рис. 1.6) та дискові (рис. 1.7) фрези також мають певні особливості оформлення різальних кромek.

З метою зміцнення та покращення відводу тепла вершини леза при-тупляють виконуючи на них фаску f шириною $1 \dots 2$ мм під кутом 45° для дискових фрез. У кінцевих фрез цей кут приймають меншим $\varphi = 30 \dots 35^\circ$, це пояснюється тим, що кінцева фреза формує поверхню деталі своїм торцем і зменшення кута φ дозволяє зменшити шорсткість обробленої поверхні.

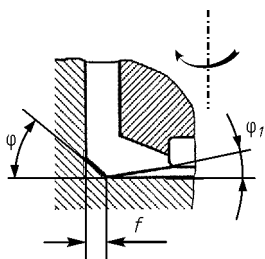


Рис. 1.6. Зубець кінцевих фрез

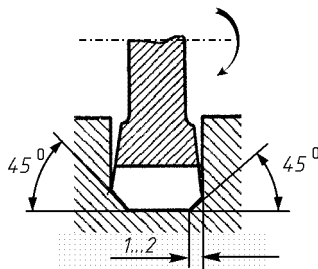


Рис. 1.7. Зубець дискових фрез

Інколи (досить рідко) у дискових фрез замість прямолінійної фаски виконують округлення за певним радіусом [4, 5, 6]. Теоретично це краще ніж пряма фаска – різальна кромка має плавну форму, але на практиці це не суттєво, тому оформлення вершини леза у вигляді кривої практично не використовують³.

Торцеві кромки кінцевих фрез завжди виконують з кутом “піднутрення” $\varphi_1 = 2 \dots 3^\circ$. Призначення “піднутрення” – запобігти утворення

³ Деякі німецькі фірми за спеціальним замовленням виготовляють фрези з радіусними фасками замість прямолінійних. Але це дуже специфічні обставини.

конічного торця фрези через похибки заточування (встановлення інструмента при заточуванні).

1.5.4. Вплив подачі

При значній величині подачі якість оброблюваної поверхні виходить низькою через великі залишкові гребінці. Ця обставина є основною причиною обмеження застосування значних подач.

Однак шляхом введення додаткової кромки l_0 за табл. 1.6 можна досягти збільшення подачі без погіршення якості обробленої поверхні.

Додаткова кромка розташовується паралельно напрямку подачі, тобто з кутом у плані $\varphi = 0$. Довжина її повинна бути не менше ніж 1,1 ... 1,2 величини подачі. Це, з одного боку, забезпечує перекриття, необхідне для видалення гребінців, що залишилися від попереднього проходу, а з іншого, не викликає великого підвищення тертя інструмента по заготованці.

1.5.5. Бічні та торцеві кромки

Бічні та торцеві різальні кромки фрез повинні мати додатні задні кути різання та забезпечувати вертикальний/горизонтальний напрям оброблених поверхонь.

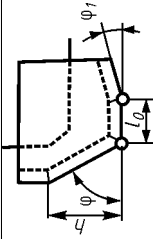
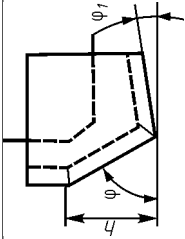
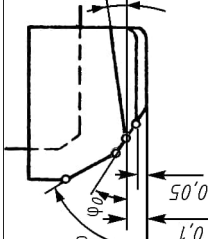
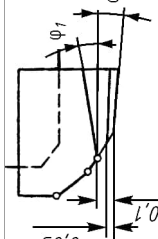
У випадку, якщо різальні торцеві кромки торцевої фрези будуть мати конічну форму, така фреза утворить відповідно канавки на обробленій поверхні.

З метою запобігання пошкодження оброблених поверхонь такі фрези конструктивно оформлюють за рис. 1.8.

Допоміжний кут у плані φ_1 – кут між проекцією допоміжної різальної кромки леза на основну площину, впливає на чистоту обробленої поверхні. Зі зменшенням φ_1 покращується чистота поверхні, але зростає сила тертя.

Кут φ_1 зазвичай виконують у межах $1 \dots 2^\circ$, якщо немає особливих вимог до інструмента або деталі. Для відрізних фрез кут φ_1 приймають рівним $\varphi_1 = 30'$. Відрізна фреза заглиблюється в оброблювану деталь на значну глибину через що “потоншення” інструмента викликане наявністю більшого кута φ_1 буде занадто великим.

Табл. 1.6. Кути у плані

Ескіз	φ°	φ_0°	φ_1°	Характеристика фрези
	20 ... 30	0 ... 20	2 ... 3	Торцеві фрези діаметром більше ніж 150 мм для великосерійного та масового виробництва при чорновій обробці жорстких заготовок. При глибині різання більш 3 мм кут $\varphi_0 = 20^{\circ}$. Фаска $l_0 = (3 \dots 6) s_z$.
	45 ... 60	—	2 ... 3	Торцеві фрези діаметром більше ніж 150 мм для великосерійного та масового виробництва при чистовій обробці заготовок.
	45 ... 60	20	2 ... 3	Торцеві фрези діаметром менше ніж 150 мм. Довжина вичищувального зубця має бути більше подачі на один зубець.
	45 ... 60	20	2 ... 3	Кут φ_1' на зубцях торцевих фрез: — при обробці чавуну становить 0° ; — при обробці сталі $6 \dots 12^{\circ}$.

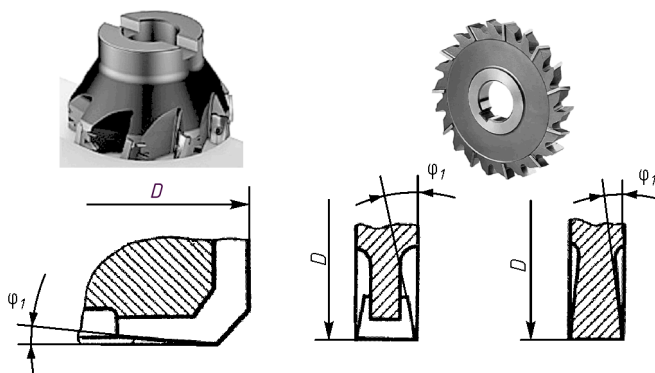


Рис. 1.8. Торцеві та бічні кромки

Кути в плані φ та φ_1 мають значний вплив на працездатність інструмента. Значення геометричних параметрів для різних фрез та умов обробки наведені у довідниках за режимами фрезерування та довіднику технолога⁴.



⁴Sandvik Coromant. *Sandvik Coromant*. URL: <http://surl.li/juuys> (дата звернення: 06.08.2023).

Online Machining Calculators - Machining Doctor. *Machining Doctor*. URL: <https://www.machiningdoctor.com/calculators/> (дата звернення: 06.08.2023).

Machining Feeds and Speeds Calculator. Engineers Edge - Engineering Reference Data and Tools. URL: <https://www.engineersedge.com/calculators/machining-cutting-speeds-calc.htm> (date of access: 06.08.2023).

2. Узагальнення

Зовнішній діаметр фрези, розміри і форма западини зубця для розміщення і виходу стружки, висота і профіль зубця, їх кількість а також крок є елементами фрези котрі визначає конструктор.

Головний передній кут γ може бути як додатнім так і від'ємним. У циліндричних фрез виготовлених із швидкорізальних сталей кут γ приймають в межах $10 \dots 20^\circ$.

Головний задній кут α у фрез з швидкорізальних сталей дорівнює $12 \dots 30^\circ$. У циліндричних, кінцевих і дискових фрез кут λ дорівнює куту ω нахилу гвинтового зубця, тобто $\lambda = \omega$. Величина кута λ нахилу різальної кромки впливає на міцність і стійкість зубця фрези і може бути в межах від 0 до 15° .

Головний кут у плані ϕ впливає на такі параметри обробки:

- товщину і ширину зрізу (при одній і тій же подачі і глибині);
- стійкість фрези і якість обробленої поверхні.

для торцевих фрез головний кут у плані ϕ приймають зазвичай рівним $\phi = 45 \dots 60^\circ$. Найменші значення кута $\phi = 10 \dots 30^\circ$ використовують за наявності верстатів підвищеної жорсткості та вібростійкості.

Допоміжний кут у плані ϕ_1 служить для зменшення тертя допоміжної різальних кромок об оброблену поверхню і приймається для торцевих фрез рівним $\phi = 1 \dots 10^\circ$. Головний кут у плані перехідної різальної кромки приймають рівним $15 \dots 30^\circ$. Перехідна кромка заточується у торцевих фрез з напаяними пластинами твердого сплаву та сприяє підвищенню стійкості інструмента.

Всі різальні кромки фрез мають додаткове оформлення своїх елементів у вигляді фасок та кромок єдиним призначенням якого є покращення працездатності інструмента.



Контрольні запитання

1. В яких межах призначають передні кути у фрез?
2. Чи залежить величина переднього кута фрези від коефіцієнта усадки стружки?
3. Яку ширину має циліндрична стрічка на бічних поверхнях зубців фрези?
4. У яким межах призначають величину заднього кута для фрез?
5. Як впливає напрям стружкової канавки на зусилля різання?
6. Чому кількість зубців має бути кратною ширині оброблюваної деталі?
7. Яку величину мають кути у плані зубців фрезерного інструмента?
8. Яку величину мають допоміжні кути у плані фрезерного інструмента?
9. Чи змінюється товщина зрізаного шару при фрезеруванні?
10. Навіщо застосовують гвинтові стружкові канавки?
11. У яких межах приймають величину нахилу стружкової канавки?
12. Навіщо застосовують комплект фрез з різнонаправленими зубцями?



Посилання

1. Кукляк І. А., Афтаназів І. А., Юрчишин І. І. Металорізальні інструменти. Львів : Львівська політехніка, 2003. 556 с.
2. Блюмберг В. А., Зазерський Ю. І. Довідник фрезерувальника. Київ : Техніка, 1984. 288 с.
3. Глоба О. В., Вислоух С. П., Іваненко Р. О. Комплексна оптимізація процесу фрезерування на верстатах із ЧПК. *Розвиток транспорту*. 2021. № 2(9). С. 7–19.
4. Родін П. Р., Равська Н. С., Солодкий В. І. Металорізальні інструменти. Частина 1 : навч. посіб. Київ : УМК ВО, 1992. 228 с.
5. Равська Н. С., Петренко П.П., Родін Р.П. Технологія інструментального виробництва. Житомир : Житом. технол. ін-т, 2001. 356 с.
6. Солодкий В. І., Плівак О. А., Майданюк С. В. Проектування різальних інструментів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 170 с.

Електронне мережеве видання

Солодкий Валерій Іванович

ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ
ФРЕЗИ

2-ге видання, перероблене і доповнене

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056 <https://kpi.ua>
Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.