

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра технології виробництва літальних апаратів (№ 104)

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи

з навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЛІТАКІВ І ВЕРТОЛЬОТІВ»

**«Розрахунок режимів різання при контурній обробці
кінцевими фрезами заготовок на фрезерному верстаті з ЧПК»**

Розробники:

професор Д'яченко Ю. В.

професор Сікульський В. Т.

доцент Воронько І. О.

Харків 2020

1 Загальні вказівки для розрахунку режимів різання

Студент отримує від викладача завдання на проектування технології виготовлення деталі методом розмірного оброблення і виконує індивідуальну розрахунково-графічну роботу самостійно, консультуючись з викладачем.

Для виконання розрахунково-графічної роботи необхідно розглянути методику розрахунку режимів різання для контурного оброблення заготовок зі сталей, алюмінієвих і титанових сплавів кінцевою фрезею на фрезерному верстаті з ЧПК.

Після конструктивно-технологічного аналізу креслення деталі розробляють маршрут виготовлення деталі.

Для виконання операції «4234 Фрезерна з ЧПК» механічного оброблення заготовки з видаленням припуску попередньо вибирають модель верстата з ЧПК за двома основними критеріями:

- розміри робочого простору фрезерного верстата з ЧПК, які забезпечать оброблення заготовки відповідно до виконавчих розмірів деталі згідно з кресленням.
- паспортна точність фрезерного верстата з ЧПК, яка забезпечить точність виконавчих розмірів для даної операції.

1.1 Особливості оброблення на фрезерних верстатах з ЧПК

Вертикально-фрезерні верстати з ЧПК із автоматичною зміною інструменту призначені для оброблення за керуючою програмою деталей складної криволінійної форми. На верстатах з ЧПК можна виконувати фрезерування площин, пазів, зовнішніх фасоних контурів з високою точністю.

Для виконання операції «4234 Фрезерна з ЧПК» в розрахунково-графічній роботі рекомендується обрати фрезерний верстат з ЧПК, подібний верстату моделі MA-655A, загальний вигляд якого наведено на рисунку 1.1, а основні технічні характеристики наведені у таблиці 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд фрезерного верстата з ЧПК моделі MA-655A

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики верстата з ЧПК моделі MA-655A

Клас точності за ГОСТ 8-82	H
Розміри робочої поверхні, мм	1250x500
Найбільше вертикальне переміщення каретки Z, мм	630
Межі частот обертання шпинделя, 1/хв	20-2500
Потужність привода головного руху, кВт	17
Швидкості робочих переміщень X, Y мм/хв	1-10000
Швидкості робочих переміщень Z мм/хв	1-7000
Прискорене переміщення за координатами X, Y, мм/хв	10000
Прискорене переміщення по координаті Z, мм/хв	7000
Кількість інструментів у магазині, шт.	8
Дискретність завдання переміщення, мм	0,001
Точність позиціонування X (стола), мм	0,02
Точність позиціонування Y (повзуна), мм	0,02
Точність позиціонування Z (вертикальна), мм	0,02
Габаритні розміри верстату (ДхШхВ), мм	3950x3490x3650
Маса верстату, кг	10000

Для здійснення адаптивного керування режимами різання верстата нового покоління оснащують датчиками сили різання й крутного моменту й спеціалізованою обчислювальною технікою.

1.2 Порядок розрахунку режимів різання для фрезерування

Рекомендований порядок розрахунку або вибору по нормативним даним режимів різання є загальним для всіх видів фрезерування і передбачає:

- 1) встановлення типу фрези (наприклад, кінцева, циліндрична);
- 2) вибір виду інструментального матеріалу і його марки;
- 3) вибір геометричних параметрів ріжучої частини фрези;
- 4) встановлення глибини різання t ;
- 5) встановлення подачі на зуб фрези S_z розрахунковим шляхом;
- 6) вибір за нормативами або розрахунок періоду стійкості T ;
- 7) вибір або розрахунок швидкості різання і розрахунок частоти обертання шпинделя n :
 - визначення розрахункової швидкості різання V ;
 - підрахунок частоти обертання шпинделя n ;
 - уточнення частоти обертання шпинделя за паспортом верстата n_n ;
 - визначення хвилинної подачі S_m ;
 - уточнення хвилинної подачі за паспортом верстата $S_m(n)$;
- 8) визначення сили різання P ;
- 9) визначення потужності різання N ;
- 10) визначення машинного часу оброблення t_m .

2 Методика розрахунку режимів різання при фрезеруванні

2.1 Тип, конструкція і геометричні параметри фрез

Тип, конструкція і геометричні параметри фрез в основному залежать від форми габаритних розмірів виробу, від оброблюваного матеріалу, виду, характеру і умов оброблення (фрезерування площин, уступів, колодязів та поверхонь складної криволінійної форми).

Кінцеви фрези використовують для оброблення пазів, уступів та для контурного оброблення заготовок. Кінцеві фрези застосовують для чистового і напівчистового оброблення конструкційних, легованих і жароміцних важкооброблюваних сталей, титанових сплавів.

Хвостовик кінцевої фрези або циліндричний (для фрез діаметром 3...28 мм), або з конусом Морзе (для фрез діаметром 14...63 мм). Діаметр фрези для скорочення основного технологічного часу і витрат інструментального матеріалу вибирають за можливістю найменшої величини, враховуючи при цьому жорсткість технологічної системи.

Глибина фрезерування і ширина фрезерування – поняття, пов'язані з розмірами шару заготовки, що зрізається при фрезеруванні кінцевою фрезою (рисунок 2.1, а). Глибину фрезерування t вимірюють в напрямку, перпендикулярному до осі фрези. Ширину фрезерування B вимірюють в напрямку, паралельному осі фрези (рисунок 2.1, б).

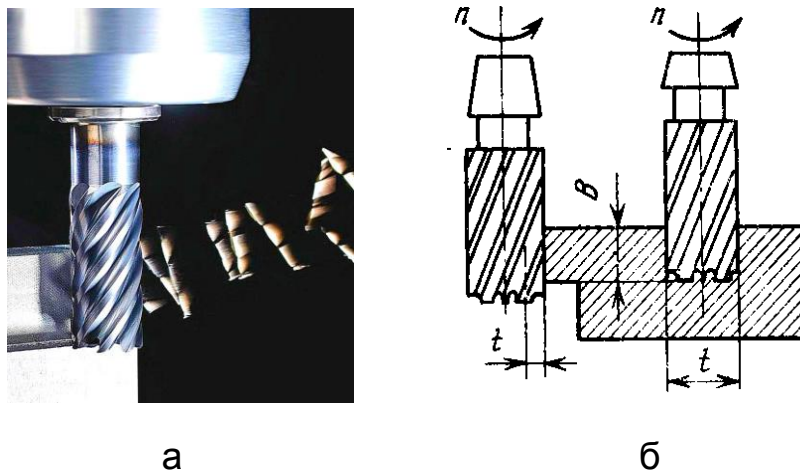


Рисунок 2.1 – Глибина і ширина фрезерування для кінцевої фрези

При чистовому обробленні контурів максимальний діаметр кінцевої фрези обмежується найменшим радіусом, що створює увігнутість на контурі. Бажано вибирати радіус фрези меншим, ніж мінімальний радіус увігнутої ділянки на контурі заготовки.

При обробленні глибоких контурів необхідно забезпечити достатню жорсткість кінцевої фрези щоб уникнути віджиму фрези і виключення конусності обробленої поверхні. Бажано, щоб діаметр кінцевої фрези D задовольняв умову $D > 0,4B$. Конструкцію і геометричні параметри фрез слід вибирати за нормативними даними довідників, віддаючи перевагу стандартним фрезам.

У таблиці 2.1 показано зовнішній вигляд і геометричні параметри кінцевих фрез з циліндричним хвостовиком нормальної серії за ГОСТ 17025-81.

Таблиця 2.1 – Зовнішній вигляд і геометричні параметри кінцевої фрези

Зовнішній вигляд і геометричні параметри кінцевих фрез нормальної серії з циліндричним хвостовиком									
									
D	L	l	z	d	D	L	l	z	d
6	57	13	4(3)	6	12	83	26	5(4)	12
7	60	16		8	14				
8	63	19		10	16	92	32	5	16
9	69				18				
10	72	23		20	104	38	6	20	

Необхідно, щоб форма ріжучої частини кінцевої фрези відповідала конфігурації оброблюваної поверхні (наприклад, конус або радіус галтелі).

2.2 Вибір матеріалу ріжучої частини інструменту і його марки

Тверді сплави є основним інструментальним матеріалом, що забезпечує високопродуктивне оброблення різанням, дає можливість приблизно в 2-3 рази підвищувати, в порівнянні з фрезами зі швидкорізальної сталі, режими різання.

Тому твердий сплав слід застосовувати для всіх видів фрезерування, в першу чергу для оброблення високоміцних і жароміцних сталей.

Виробництво твердих сплавів належить до області порошкової металургії. Пластинки твердого сплаву кріплять до державки напайкою або механічно за допомогою гвинтів і притискачів.

Монолітний твердосплавний інструмент може виготовлятися з остаточно спечених твердосплавних циліндричних заготовок з наступним шліфуванням профілю алмазними кругами.

В авіабудуванні досить широко застосовуються такі групи твердих сплавів:

- вольфрамкові марок ВК8 і ВК8В – для чорного оброблення високоміцних матеріалів, аналогічні тверді сплави дрібнозернистої структури марок ВК6М і ВК10М й особливо дрібнозернистої структури марок ВК60М і ВК100М – для напівчистового й чистового оброблення;
- титановольфрамкові – як для чорного (сплав марки Т5К10), так і для чистового (сплав марки Т15К6) оброблення заготовок;
- титанотанталовольфрамкові марок ТТ10К8А і ТТ10К8Б – замість сплаву ВК8 для оброблення сталевих заготовок.

Для оброблення спочатку використовували швидкорізальні сталі марок Р18, Р9, Р12, Р6М3, що відрізнялися від інструментальних матеріалів, які застосовувалися раніше, значно більшим вмістом

легувальних елементів (ванадію, молібдену, хрому, вольфраму).

Ці швидкорізальні сталі зберігають свої властивості за умов підвищення температури в зоні оброблення до 600°C, що дало можливість збільшити швидкість різання в 2-3 рази.

Далі було введено нові марки швидкорізальних сталей підвищеної продуктивності, які за складом можна поділити на три групи:

– *кобальтові* (P9K5, P9K10, P10K5Ф5, P12Ф4K5), що мають високу твердість і червоностійкість і призначені для чорнового й напівчистового оброблення високоміцних матеріалів;

– *ванадієві* (P9Ф5, P14Ф4, P12Ф5М), що мають підвищену зносостійкість за умов роботи в зоні невисоких температур і добре себе зарекомендували під час чистового оброблення;

– *кобальто-молібденові* (P6M5K5, P9M4K8, P12Ф2K8M3), що мають високу твердість і червоностійкість і забезпечують високі показники під час оброблення жароміцних і титанових сплавів.

Швидкорізальні сталі нових марок забезпечили підвищення стійкості інструменту в 2-3 рази порівняно зі швидкорізальною сталлю марки P18.

2.3 Встановлення глибини різання і подачі на зуб фрези

При підвищених вимогах до точності і шорсткості поверхонь фрезерування проводиться за два робочих ходи – чорновий і чистовий.

Глибина фрезерування t при чорновому (попередньому) обробленні береться максимально можливою, щоб весь покладений на даній операції припуск був знятий за один робочий хід. При чистовому обробленні – залежно від вимог точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні.

Вихідною величиною при фрезеруванні є подача на зуб S_z , так як вона визначає жорсткість зуба фрези. При чистовому обробленні подача на зуб вибирається залежно від необхідної точності і параметрів, що характеризують якість поверхневого шару. У таблиці 2.2 наведено емпіричні формули для подачі на зуб для кінцевих фрез.

Таблиця 2.2 – Формули для розрахунку подачі на зуб S_z , мм/зуб для кінцевих фрез діаметром D

Інструментальний матеріал	Розрахункова формула
Фрезерування сталі і титанових сплавів	
Твердий сплав	від $0,014 \frac{D^{0,65}}{t^{0,5}}$ до $0,0021 \frac{D^{1,5}}{t^{0,7}}$
Швидкорізальна сталь	від $0,0097 \frac{D}{t^{0,6}}$ до $0,053 \frac{D}{t^{0,5}}$
Фрезерування алюмінієвих и магнієвих сплавів	
Твердий сплав	від $0,036 \left(\frac{D}{t}\right)^{0,75}$ до $0,27 \left(\frac{D}{t}\right)^{0,75}$

При виконанні чистового фрезерування кінцеву фрезу слід підводити до оброблюваної поверхні по дотичній або по прямій лінії під гострим кутом (рисунок 2. 2, а, б).

При перпендикулярному врізанні в заготовку (рисунок 2. 2, в) кінцева фреза піддається раптовому навантаженню, це може привести до поломки фрези або утворення нерівностей в місці входу фрези в заготовку.

Поблизу заготовки швидкий підхід фрези до заготовки має бути змінено на робочу подачу, для цього має бути передбачена технологічна точка зміни подачі (на рисунку 2. 2, г - це точка 1, 1').

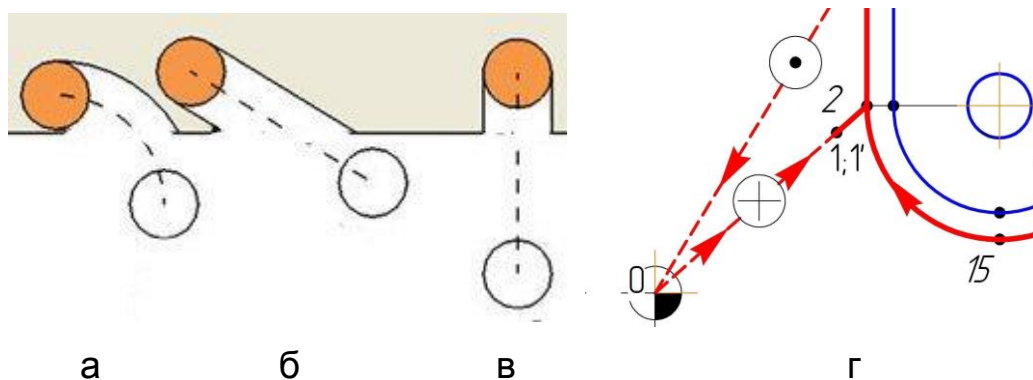


Рисунок 2.2 – Варіанти підведення кінцевої фрези до оброблюваної поверхні: а – рекомендований; б – допустимий; в – небезпечний; г - фрагмент розрахунково-технологічної карти

2.4 Встановлення періоду стійкості фрези

Стійкість T – період роботи інструменту до затуплення, що наводиться для різних видів оброблення, відповідає умовам одноінструментного оброблення.

Період стійкості T в залежності від типу, матеріала ріжучої частини і діаметра фрези може бути підрахований за емпіричною формулою виду $T = CD^x$, хв. У таблиці 2.3 наведено дані для розрахунку періоду стійкості для кінцевих фрез в залежності від інструментального матеріалу.

Таблиця 2.3 – Дані для розрахунку періоду стійкості для кінцевих фрез діаметром D , мм

Інструментальний матеріал	Дані для розрахунку	
	C	X
швидкорізальна сталь	2,50	0,80
твердий сплав	0,81	1,10

2.5 Розрахунок швидкості різання при фрезеруванні

Швидкість різання при фрезеруванні може бути розрахована за емпіричною формулою

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B_z^u z^p} K_v, \text{ м/хв}, \quad (2.1)$$

де C_v – константа, що залежить від типу фрези, ріжучого і оброблюваного матеріалу і від подачі на зуб; D – діаметр фрези, мм; z – кількість зубців фрези; t – глибина різання, мм; B – ширина фрезерування мм; T – період стійкості фрези, хв. Величини показників степеня q, m, x, y, u, p беруться з довідників; K_v - поправочний коефіцієнт, що враховує конкретні умови фрезерування.

Складові поправочного коефіцієнта $K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv}$ враховують вплив на швидкість різання:

K_{mv} - фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки;

K_{nv} - стану поверхні заготовки;

K_{uv} - інструментального матеріалу.

У таблиці 2.4 наведені дані для розрахунку швидкості різання згідно з формулою (2.1) при фрезеруванні сталей кінцевими фрезами.

Таблиця 2.4 – Розрахункові дані для визначення швидкості різання сталей

Інструментальний матеріал	Коефіцієнт і показники степеня у формулі швидкості різання						
	C_v	q	x	y	u	p	m
швидкорізальна сталь	46,70	0,45	0,50	0,60	0,10	0,10	0,33
твердий сплав	234	0,44	0,24	0,26			0,37

Поправочний коефіцієнт K_{mv} для сталі, що враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання, рассчитывается по формуле

$$K_{mv} = K_r (750 / \sigma_g)^n, \quad (2.2)$$

де K_r – коефіцієнт, що характеризує групу сталі за оброблюваністю; показник степеня n беруть з довідників.

У таблиці 2.5 наведені значення коефіцієнта оброблюваності K_r і показника степеня n при фрезеруванні кінцевими фрезами для деяких найбільш уживаних сталей.

Таблиця 2.5 – Значення коефіцієнта оброблюваності K_r і показника степеня n

Сталі, σ_g , МПа	Коефіцієнт K_r		Показник степеня n	
	інструментальний матеріал			
	швидкорізальна сталь	твердий сплав	швидкорізальна сталь	твердий сплав
вуглецеві				
<450	1,0	1,0	-0,90	1,0
450 --550			0,90	
>550				
хромисті				
≤900	0,70	0,75	0,80	1,45
>900	0,65	0,60		2,00
хромонікелеві				
≤900	0,55	0,75	0,90	1,35
>900	0,45	0,65	1,25	2,00

Значення поправного коефіцієнта K_{nv} , що враховує вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання, наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Значення поправного коефіцієнта K_{nv}

Стан поверхні заготовки			
без кірки	з кіркою		
	сталеві та титанові штамповки	сталеві та титанові виливки	штамповки і виливки з алюмінієвих сплавів
значення поправного коефіцієнта K_{nv}			
1,00	0,80	0,85	0,90

Значення поправного коефіцієнта K_{uv} , що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання, наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Значення поправного коефіцієнта K_{uv}

Оброблювальний матеріал	Значення коефіцієнта K_{uv} залежно від марки інструментального матеріалу						
	сталь конструкційна, кольорові сплави	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T15K6	T30K4
0,35		0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
сталь гартована	<i>HRC 35-50</i>				<i>HRC 51-62</i>		
	T15K6	T30K4	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8
	1,00	1,25	0,85	0,83	1,00	0,92	0,74

2.5.1 Оброблення різанням алюмінієвих і магнієвих сплавів

Кольорові сплави на основі алюмінію і магнію мають найкращу оброблюваність в порівнянні зі сталями. Причина – низька міцність і твердість даних сплавів і їх висока теплопровідність.

Для оброблення алюмінієвих і магнієвих сплавів за нормативними даними подача на зуб і швидкість різання розраховується наступним чином.

Подача на зуб для кінцевих фрез може бути розрахована за емпіричною формулою

$$S_z = 0,0432 \frac{D^{0,45}}{t^{0,22} B^{0,1}} K_m, \text{ мм/зуб}, \quad (2.3)$$

де поправочний коефіцієнт K_m залежить від шорсткості оброблюваної поверхні за кресленням і береться для значень шорсткості Ra_{25} , $Ra_{12,5}$; $Ra_{6,3}$; $Ra_{3,25}$ відповідно $K_m = 1,5$; $1,0$; $0,65$; $0,4$. При необхідності рекомендується використовувати співвідношення $Rz = 4Ra$.

Швидкість різання алюмінієвих і магнієвих сплавів кінцевими фрезами може бути розрахована за емпіричною формулою

$$V = \frac{37,3D^{0,45}}{t^{0,3}S_z^{0,2}B^{0,1}z^{0,1}} K_v, \text{ м/хв}, \quad (2.4)$$

де поправочний коефіцієнт K_v залежить від виду і марки оброблюваного матеріалу і вибирається з таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Значення поправного коефіцієнта K_v

Оброблюваний матеріал	АЛ2 АЛ4 АЛ5	АК4 АК6 АК8	Д16 АВТ АЛ9	В95 АЛ19	АЛ8 АМ9	МЛ5	АМГ МА2
Коефіцієнт K_v	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,6

2.5.2 Оброблення різанням титанових сплавів

Титанові сплави мають ряд особливостей, що обумовлюють їх низьку оброблюваність різанням:

1. Знижені пластичні властивості титанових сплавів в процесі їх деформації сприяють розвитку випереджальних мікротріщин.

2. Висока хімічна активність до кисню, азоту, водню викликає інтенсивне окрихчування поверхневого шару сплавів.

3. Титанові сплави мають погану теплопровідність, тому при різанні титанових сплавів виникає температура, що більш ніж в два рази перевищує рівень температур при обробленні сталі 45.

4. Внаслідок вмісту в титанових сплавах карбідів матеріал ріжучого інструменту з великою вірогідністю схильний до абразивного впливу.

5. При обробленні титанових сплавів особливу увагу необхідно приділяти питанням техніки безпеки, так як утворення тонкої стружки і тим більше пилу може привести до її самозаймання та інтенсивному горінню.

Подачу на зуб для кінцевих фрез при фрезеруванні титанових сплавів розраховують за формулою

$$S_z = C_s \frac{D^q}{t^x B^u} K_u K_m, \text{ мм/зуб}. \quad (2.5)$$

В таблиці 2.9 представлені дані для розрахунку подачі на зуб S_z для кінцевих фрез при фрезеруванні титанових сплавів.

Таблиця 2.9 – Розрахункові дані для визначення подачі на зуб

Інструментальний матеріал	C_s	q	x	u	K_u	K_m	Параметр шерохватости
швидкорізальна сталь	0,014	0,75	0,22	0,1	1,0	1,5 0,5 0,3	<i>Ra12,5</i> <i>Ra6,3</i> <i>Ra3,25</i>
твердий сплав	0,014	0,75	0,22	0,1	0,8	1,5 0,5 0,3	<i>Ra12,5</i> <i>Ra6,3</i> <i>Ra3,25</i>

Для кінцевих фрез швидкість різання при фрезеруванні титанових сплавів розраховують за формулою

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v, \text{ м/хв} \quad (2.6)$$

В таблиці 2.10 представлені дані для розрахунку швидкості різання при фрезеруванні титанових сплавів кінцевими фрезами.

Таблиця 2.10 – Розрахункові дані для визначення швидкості різання

Інструментальний матеріал	Коефіцієнт і показники степеня							Примітка
	C_v	q	x	y	u	p	m	
швидкорізальна сталь	24	0,25	0,20	0,20	0,15	0,30	0,15	Для $S_z \leq 0,1$
	15			0,40				Для $S_z \geq 0,1$
твердий сплав	69,8	0,2	0,16	0,20	0,25	0,10	0,30	Для $S_z \leq 0,1$
	45			0,35				Для $S_z \geq 0,1$

Поправочний коефіцієнт K_v , залежить від марки оброблюваного титанового сплаву, вибирається з таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Значення поправного коефіцієнта K_v

Група і марка титанового сплаву	Термообробка	σ_e , МПа	K_v
сплави підвищеної пластичності			
BT1, BT1-1, BT1-2	отжиг	450-700	1,20
OT4-0, OT4-1		580-880	0,80
сплави середньої міцності			
OT4, BT4, BT4-1, BT5, BT5-1	відпал	588-1020	0,80
BT5Л	-	600	
BT6, BT20	відпал	833-1150	0,60
BT6Л, BT20Л	-	882-1150	
сплави високої міцності			
OT4-2, BT14	відпал	820-1100	0,50
BT15, BT16, BT22	гарт і старіння	1100-1350	0,48
жаростійкі сплави			
BT3-1, BT8, BT9, BT18	відпал, гарт і старіння	950-1200	0,40

Визначивши швидкість різання при фрезеруванні, знайдемо частоту обертання шпинделя, 1/хв

$$n = \frac{1000V}{\pi D} \quad (2.7)$$

Прийнявши найближчу меншу паспортну частоту n_n фрезерного

верстата з ЧПК, визначимо фактичну швидкість різання $V_\phi = \frac{\pi D n_n}{1000}$ м/хв.

Після цього знаходимо розрахункову хвилинну подачу, мм/хв

$$S_m = S_z z n_n. \quad (2.8)$$

Приймаємо найближчу меншу паспортну хвилинну подачу $S_{m(n)}$.

2.6 Визначення окружної сили фрезерування

Окружна сила різання при фрезеруванні може бути розрахована по емпіричній формулі

$$P = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z K}{D^q n^w}, \quad (2.9)$$

де C_p – константа, що залежить від оброблюваного матеріалу і типу фрези; величини показників x, y, u, q, w беруться з довідників; K – поправочний коефіцієнт, що враховує конкретні умови роботи, дорівнює добутку ряду приватних поправочних коефіцієнтів.

Значення коефіцієнта C_p і показників степеня у формулі (2.9) при контурному фрезеруванні конструкційної вуглецевої сталі кінцевими фрезами наведено у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахункові дані для визначення сили різання

Інструментальний матеріал	Коефіцієнт і показники степеня					
	C_p	x	y	u	q	w
твердий сплав	12,50	0,85	0,75	1,00	0,73	0,13
швидкоріжуча сталь	68,20	0,86	0,72		0,86	

Поправочний коефіцієнт $K = K_{m_p} K_{V_p} K_{\phi_p} K_{\gamma_p}$ враховує вплив на силу різання міцностних характеристик оброблюваного матеріалу, матеріалу ріжучої частини фрези, головного ϕ і переднього кута γ зуба фрези.

При обробленні сталі і титанових сплавів для кінцевих фрез з твердого сплаву $K_{m_p} = \left(\frac{\sigma_b}{750} \right)^{0,3}$. Колову силу при фрезеруванні алюмінієвих і магнієвих сплавів розраховують, як для сталі, з введенням коефіцієнта $K_{m_p} = 0,25$.

Поправочний коефіцієнт K_{V_p} враховує вплив швидкості різання на силу різання P , розраховується за емпіричними формулами $K_{V_p} = \frac{1,92}{V^{0,14}}$ – для позитивних передніх кутів γ зуба кінцевої фрези і $K_{V_p} = \frac{2,26}{V^{0,13}}$ – для негативних передніх кутів.

Головний кут в плані ϕ для кінцевих фрез найчастіше дорівнює 90° , поправочний коефіцієнт для якого $K_{\phi p} = 0,87$.

Поправочний коефіцієнт K_{γ_p} , що враховує вплив переднього кута γ зуба кінцевої фрези на окружну силу різання P , розраховується за формулами $K_{\gamma_p} = \frac{1,36}{\gamma^{0,15}}$ – для позитивних передніх кутів і $K_{\gamma_p} = 0,97\gamma^{0,2}$ – для негативних кутів.

Рекомендовані значення передніх кутів γ кінцевої фрези для різноманітних матеріалів заготовки и інструмента наведено у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Значення передніх кутів γ кінцевої фрези

Оброблюваний матеріал		Інструментальний матеріал	
		твердый сплав	швидкоріжуча сталь
сталь	σ_b , МПа		
	≤ 800	10	20
	> 800	-5	15
	> 1000	-10	10
титанові сплави		5	10
алюмінієві і магнієві сплави		15	25

2.7 Визначення потужності різання

За окружною силою різання і фактичною швидкістю різання підраховуємо потужність різання N , кВт за формулою

$$N = Pv / 61200 . \quad (2.10)$$

За прийнятим значенням частоти обертання шпинделя коректують швидкість різання і потужність різання з урахуванням умови

$$N \leq N_{np} \eta, \quad (2.11)$$

де N – розрахункова потужність різання, кВт;

N_{np} – потужність електродвигуна приводу головного робочого руху фрезерного верстата, кВт (див. таблицю 1.1);

η – ККД фрезерного верстата з ЧПК ($\eta = 0,8 \dots 0,85$).

Ефективна потужність різання алюмінієвих і магнієвих сплавів кінцевими фрезами може бути розрахована за емпіричною формулою

$$N_e = (0,74 \dots 0,494) 10^{-5} n t^{0,86} S_z^{0,74} B_z D^{0,14}. \quad (2.12)$$

2.8 Визначення основного часу обробки кінцевими фрезами

Основний (машинний, технологічний) час визначається за формулою

$$t_m = \frac{L_H}{S_M} i, \quad (2.13)$$

де L_H – нормована довжина обробки; i – кількість робочих ходів;

$L_n = l + l_1 + l_2$. Тут l – довжина оброблюваної поверхні – береться з робочого креслення або расчетно-технологической карты обробки поверхні,
 l_1 і l_2 – відповідно довжини на врізання і перебіг кінцевої фрези згідно найкращим траєкторіях (див. рисунок 2.2).

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія виготовлення деталей літальних апаратів з вида-ленням припуску [Електронний ресурс] : підручник. Ч. 1 / Ю. В. Д'яченко, В. Т. Сікульський, І. О. Воронько, О. К. Горлов, К. В. Майорова, С. Ю. Миронова, О. В. Шипуль. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жу-ковського «Харків. авіац. ін-т», 2023. – 232 с.
2. ДСТУ 2233-93. Інструменти різальні. Терміни та визначення. – Введ. 01.07.94. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 43 с.
3. ДСТУ 2249-93. Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення. – Введ. 01.01.95. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 63 с.