

Київський політехнічний інститут

На правах рукопису

ЗЕЛЕНСЬКИЙ КОСТЯНТИН ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.914.22

СИНТЕЗ ЗБІРНИХ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ З
ПРУЖНО-ДЕМПФУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Спеціальність 05.03.01 - Процеси механічної і
фізико-технічної обробки,
верстати та інструмент

Автореферат

*дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук*

КИЇВ - 1995

Робота є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі "Верстати та інструменти"
Тернопільського приладосудівного інституту.

Науковий керівник - Заслужений винахідник України,
академік АН вищої школи України,
доктор технічних наук, професор,
Нагорняк Степан Григорович.

Офіційні опоненти - Заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор
Кузнецов Юрій Миколайович
- кандидат технічних наук
Муковоз Юрій Олександрович

Провідне підприємство - АТ "Тернопільський комбайновий завод".

Захист дисертації відбудеться *27.02* 1995 року о 15 годині ауд.Н340 корп.19 на засіданні спеціалізованої ради КО68.14.15 в Київському політехнічному інституті.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту: 252056, м.Київ, пр.Перемоги, 37.

Автореферат розіслано *26.01.* 1995р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
к.т.в., доцент

В.В. Романенко
Романенко В.В.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00756201 (L)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність. Торцеве фрезерування є одним із вископродуктивних і широко розповсюджених способів обробки деталей в машинобудуванні. Воно характеризується змінністю сил і температури різання, високим рівнем динамічних навантажень в привідній системі. Негативний вплив від дії динамічних явищ проявляється в зменшенні довговічності елементів приводів, верстатного обладнання і інструментального оснащення, являється однією з причин підвищеного зносу і передчасного виходу з ладу ріжучого інструменту, супроводжується високим рівнем шуму і вібрацій. Тому розробка прогресивних ріжучих інструментів, які забезпечують підвищення ефективності процесу торцевого фрезерування, а також методик їх проектування є актуальною задачею.

Дослідження, проведені в дисертації, безпосередньо пов'язані з виконанням держбюджетних тематик Міносвіти України №ДЗ1-92 "Розробка прогресивного верстатно-технологічного оснащення та металорізальних інструментів на основі керування кінематикою лезової обробки" та №ДЗ40-94 "Розробка вископродуктивних різальних інструментів для обробки плоских, циліндричних та гвинтових поверхонь і дослідження їх продуктивності".

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу торцевого фрезерування на основі створення прогресивних конструкцій збірних торцевих фрез (ЗТФ) з пружно-демпфуючими елементами (ПДЕ) і розробки методики їх проектування.

Для реалізації даної мети було розв'язано ряд питань, з яких на захист виносяться наступні: 1) принципи побудови структурних схем ЗТФ з ПДЕ; 2) апарат кодування і вибору нових структурних схем структурно-схемного синтезу ЗТФ з ПДЕ; 3) методику і алгоритми проведення векторного, геометричного, топологічного та динамічного синтезів ЗТФ з ПДЕ; 4) методику вибору раціональних конструкцій ЗТФ з ПДЕ; 5) нові конструкції ЗТФ з ПДЕ, захищені авторськими свідоцтвами на винаходи; 6) практичні рекомендації по застосуванню і проектуванню ЗТФ з ПДЕ.

Загальна методика досліджень. Теоретичні дослідження базувалися на теорії різання металів і теорії проектування

інструментів, сучасних положеннях теорії синтезу і методів системного підходу, законів динаміки і статички з використанням диференційного та інтегрального числення та автоматизованих розрахунків.

Експериментальні дослідження проводилися з використанням спеціально розробленого виміривального оснащення, здатного реєструвати динамічні навантаження, із застосуванням загальноприйнятих методик і стандартного обладнання. Обробка експериментальних даних проводилася на основі методів математичної статистики і теорії планування експериментів.

Наукова новизна. Запропоновані і сформульовані принципи побудови структурних схем ЗТФ з ПДЕ на основі дискретного, неперервного повороту та проєкціонування формуючої лінії в просторі. Вирішено питання автоматизованого вибору нових структурних схем ЗТФ з ПДЕ. Розроблені алгоритми геометричного, топологічного, динамічного синтезів та автоматизованого розрахунку раціональних конструктивних параметрів ЗТФ з ПДЕ. Теоретично доведено та експериментально підтверджено доцільність введення ПДЕ безпосередньо в корпус ЗТФ. Виявлено, що форма і розташування ПДЕ, зв'язки між елементами ЗТФ впливають на рівень динамічних навантажень в процесі обробки.

Практична цінність. Розроблені методики дозволяють скоротити трудоемність процесу проєктування нових ЗТФ з ПДЕ з врахуванням конкретних умов експлуатації. Вони підвищують ефективність і якість проєктних розрахунків в інженерній практиці і можуть використовуватись в підсистемах САПР інструментів. Запропоновані принципи також можуть бути використані при проєктуванні інших вузлів і деталей машин, що працюють в умовах підвищеного рівня динамічних навантажень.

Реалізація результатів роботи. Дослідно-виробнича перевірка результатів досліджень проводилася в АТ "Тернопільський комбайновий завод". Розроблені конструкції нових ЗТФ з ПДЕ рекомендовані для застосування в серійному виробництві. Очікуваний економічний ефект від використання однієї фрези складає 7665 крб. в цінах 1990р. Матеріали досліджень впроваджені в учбовий процес на кафедрі верстатів та інструментів в Тернопільському приладобудівному інституті

при читанні курсів "Теорія проектування інструменту", "Автоматизоване проектування ріжучого інструменту", в курсовому і дипломному проектуванні по спеціальності 1202.

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на міжнародній ("Автоматизація і діагностика в механообробці", м.Луцьк) та 4 республіканських ("Станки-91/", м.Чернігів, 1991р.; "Станки-92", м.Київ, 1992р.; "Прогресивні технології та обладнання...", м.Тернопіль, 1992, 1993 рр.) науково-технічних конференціях, а також на семінарі кафедри верстатів та інструментів Тернопільського приладобудівного інституту (1994р.) та розширеному засіданні кафедри конструювання верстатів та машин Київського політехнічного інституту (1994р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 14 друкованих робіт, з них 5 авторських свідоцтв на винаходи.

Структура та об'єм. Дисертація складається з п'яти розділів, основних висновків та додатку. Містить: 149 сторінок машинописного тексту, 55 рисунків, 12 таблиць, список літератури з 179 джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

У першому розділі представлено огляд вітчизняних та зарубіжних літературних джерел по проблемі зменшення рівня динамічних навантажень при торцевому фрезеруванні, проектування прогресивних інструментів та оснащення, визначені мета та завдання дослідження.

Процес торцевого фрезерування (а особливо чорнового) характеризується: імпульсним характером сили різання і різким зростанням температури різання на етапі врізання та охолодженням леза при його виході із тіла заготовки; непостійністю напрямку дії сили різання; нестабільністю процесу різання; можливістю виникнення вібрацій та резонансу. Такі явища сприяють підвищеному рівню динамічних навантажень і деформацій в оброблючій системі, зменшенню довговічності елементів приводів і оснащення, викривуванню інструментального матеріалу і передчасному виходу з ладу ріжучого інструменту, підвищеному шумовому фону та ін.

Дослідженнями динамічних явищ при торцевому

фрезеруванні, зменшенням їх негативної дії і проектуванням прогресивних ріжучих інструментів та оснащення займалися: Даниелян В.О., Розенберг О.М., Андреев Г.С., Зорев М.М., Шашков В.Д., Кудінов В.О., Семенченко І.І., Родін П.Р., Дворянкін А.М., Кузнецов Ю.М., Нагсрняк С.Г., Решетов Д.М., Гігакс Р.Е., Лоладзе Г.Н., Кацев П.Г. та багато інших.

Традиційними методами боротьби з негативним впливом динамічних явищ на оброблювану систему є: підвищення (зменшення для умов ударного і короткотривалого навантаження) жорсткості елементів системи; підвищення демпфування; використання інструментів з ПДЕ; введення пружних муфт в привід верстату; застосування віброгасників; використання інструментальних матеріалів з високою втомною міцністю і покращеною якістю поверхневого шару; вибір раціональних геометричних параметрів ріжучого клину і схеми розташування фрези відносно заготовки та ін.

Однак питання проектування і використання інструментів з ПДЕ вивчене недостатньо, а сучасні методи проектування та розрахунків інструментів не враховують впливу конструктивних параметрів ЗТФ на рівень динамічних навантажень в приводі верстату. Такий стан справ обумовлює необхідність розробки методик проектування раціональних конструкцій ЗТФ з ПДЕ, які б забезпечували підвищення ефективності фрезерної обробки.

В другому розділі проведені теоретичні дослідження впливу конструктивних параметрів ЗТФ з ПДЕ на рівень динамічних навантажень в приводі головного руху верстату з врахуванням характеру зміни навантаження на етапі врізання. В якості моделі дотичної складової сили різання P_z прийнято:

$$P_z = k \cdot A / \cos \lambda, \quad (1)$$

де k - питомий тиск різання; A - миттєва площа поперечного перерізу зрізаного шару; λ - кут нахилу ріжучої кромки лека.

Миттєва площа A на етапі врізання визначалася для випадків: симетричного фрезерування з кутом врізання $\alpha \approx 0^\circ$; зустрічного фрезерування з кутом врізання $0^\circ < \alpha < 90^\circ$; та $\alpha = 90^\circ$. Встановлено і описано траєкторію руху ріжучої кромки лека фрези відносно оброблюваної деталі по сплюсненій циклоїді. При цьому миттєва товщина зрізу a^* (в напрямку подачі D_z) описується виразом:

$$a^* = R - \sqrt{R^2 - S_z^2 \cos^2 \theta} + S_z \sin \theta, \quad (2)$$

де R - радіус фрези, S_z - подача на зуб; θ - миттєвий кут різання.

Миттєва площа A з врахуванням криволінійної ділянки ріжучої кромки з радіусом заокруглення r , головним ϕ та допоміжним ϕ_1 кутами в плані, заданов глибиною різання t , визначена як сума елементарних площ і описується відповідно:

1) при $a_{\max}^* \leq 2r \sin \phi_1$

$$A = a^* \left(t - r + \frac{1}{4} \sqrt{4r^2 - a^{*2}} \right) + \arcsin \left(\frac{a^*}{2r} \right); \quad (3)$$

2) при $a_{\max}^* > 2r \sin \phi_1$

$$A_1 = A + 4a^* \cos \phi_1 (r-1) + \left\{ \frac{y_1}{2} m + \frac{r^2}{2} \arcsin \left(\frac{y_1}{r} \right) \right\}_j^i + \left\{ \frac{n}{2} \sqrt{r^2 - n^2} + \frac{r^2}{2} \arcsin \left(\frac{n}{r} \right) \right\}_j^i \cdot \begin{cases} i = \frac{1}{2} \left\{ a^* \sin \phi_1 - \sqrt{(4r^2 - a^{*2}) \cos^2 \phi_1} \right\}, \\ m = \sqrt{r^2 - y_1^2}, \quad j = a^* \sin \phi_1 - r, \\ n = y_1 - a^* \sin \phi_1. \end{cases} \quad (4)$$

де A_1 - миттєва площа поперечного перерізу; y_1 - ордината в повернутій системі координат (на кут ϕ_1 за годинниковов стрілок).

Отримані залежності (3), (4) визначають характер площ A (A_1) і відповідного їм навантаження: для симетричного різання з кутом врізання $\alpha = 0^\circ$ - по синусоїдальному закону; для $0^\circ \ll \alpha < 90^\circ$ і $\lambda = 0^\circ$, починаючи від моменту дотику зуба із заготовкою до повного врізання, - по гіперболічному закону; для $\alpha = 90^\circ$, $a^* = S_z$ - відбувається миттєве зростання навантаження на всю площу A (A_1). При $\lambda > 0^\circ$ характер зміни навантаження на етапах врізання не визначається однозначно і переважно змінюється послідовно від лінійного до гіперболічного і до \sin -ного законів.

Для визначення рівня динамічних навантажень, як в приводі головного руху верстату, так і в ріжучому елементі фрези, розглядався випадок однозубого торцевого фрезерування, а в якості критерію було прийнято коефіцієнт динамічності $K_d = M_{\max} / M_p$, де M_p - максимальне значення моменту різання, M_{\max} - максимальне значення динамічного моменту в приводі, викликаного дією на систему M_p .

Для спрощення розрахунків і отримання аналітичних залежностей розрахована динамічна модель приводу,

оснащеного ЗТФ з ПДЕ, приймалася двоохмасовою, з пружним та дисипативним зв'язками і такими позначеннями: I_2 - момент інерції маси фрези, жорстко з'єднаної із різцем; I_1 - момент інерції мас приводу, приведений до шпинделя верстату; $C_{\Sigma} = C_{\text{пр}} \cdot C_{\text{фр}} / (C_{\text{пр}} + C_{\text{фр}})$ - сумарна кутова жорсткість відведеної до шпинделя жорсткості приводу $C_{\text{пр}}$ і жорсткості ПДЕ фрези $C_{\text{фр}}$; $h_{\Sigma} = h_{\text{пр}} (C_{\Sigma} / C_{\text{пр}})^2 + h_{\text{фр}} (C_{\Sigma} / C_{\text{фр}})^2$ - сумарне демпфування відведеного до шпинделя демпфування приводу $h_{\text{пр}}$ і демпфування ПДЕ фрези $h_{\text{фр}}$. Після розгону система перебуває в обертовому русі з частотою обертання ω , а при підводі фрези до заготовки на систему діє момент $M_p(t)$.

Додатково на систему було накладено умови: 1) ПДЕ має лінійну характеристику ($C_{\text{фр}} = \text{const}$) так само як і всі елементи приводу, причому $C_{\text{пр}} \gg C_{\text{фр}}$; 2) привід оснащений двигуном, здатним змінювати крутний момент в широких межах без суттєвої зміни ω . Тому в розрахунках ω приймається постійною величиною і це надає можливість двоохмасову систему звести до одномасової; 3) заготовка вважається абсолютно жорсткою ($C_3 \rightarrow \infty$).

Накладені умови дозволили записати системи рівнянь руху двоохмасової механічної обертової системи з врахуванням характеру навантаження, в результаті розв'язку яких отримано залежності коефіцієнта динамічності K_d відповідно для:

а) сіп-ного закону зміни навантаження

$$(M_p(t) = P_z \cdot R = KR(R - \sqrt{R^2 - S_z^2 \cos^2 \omega t} + S_z \sin \omega t));$$

$$K_d = \frac{C_{\Sigma}}{KRS_z} \left\{ e^{\alpha t} \sqrt{B_0^2 + B_1^2} - B_2 - B_4 + B_6 \right\}, \quad (5)$$

де: $B_0 = -(B_2 + B_3 + B_5)$; $B_1 = -(aB_0 - \omega(B_4 + 2B_6)) / \beta$; $a = -h_{\Sigma} / (2I_2)$;

$$\beta = \sqrt{C_{\Sigma} / I_2 - h_{\Sigma}^2 / (4I_2^2)}; \quad B_2 = -kS_z^2 (8R^4 + 3S_z^2 R^2 + S_z^4) / (32R^4 C_{\Sigma});$$

$$B_3 = -\frac{h_{\Sigma} \omega k R S_z}{(I_2 \omega^2 - C_{\Sigma})^2 + h_{\Sigma}^2 \omega^2}; \quad B_5 = -\frac{kS_z^2 (16R^4 + 12S_z^2 R^2 + 3S_z^4) (C_{\Sigma} - 4\omega^2 I_2)}{64R^4 [(C_{\Sigma} - 4\omega^2 I_2)^2 + 4h_{\Sigma}^2 \omega^2]}$$

$$B_4 = -\frac{KRS_z (I_2 \omega^2 - C_{\Sigma})}{(I_2 \omega^2 - C_{\Sigma})^2 + h_{\Sigma}^2 \omega^2}; \quad B_6 = -\frac{2h_{\Sigma} \omega k S_z^2 (16R^4 + 12S_z^2 R^2 + 3S_z^4)}{64R^4 [(C_{\Sigma} - 4\omega^2 I_2)^2 + 4h_{\Sigma}^2 \omega^2]}$$

б) лінійного ($M_p(t) = M_p \omega t / \text{tg} \lambda$, де $\tau_0 = \text{tg} \lambda / \omega$ - час, на протязі якого навантаження змінюється від нуля до значення M_p):

$$K_d = \frac{e^{\alpha \tau_0}}{\beta \tau_0} (e^{\alpha \tau_0} + 1) + 1; \tag{6}$$

в) ударного ($M_p(t) = M_p$):

$$K_d = e^{\alpha t_m} \frac{\beta^2 - \alpha^2}{\beta \sqrt{\beta^2 + \alpha^2}} + 1, \quad t_m = \frac{1}{\beta} \operatorname{arctg}(-\alpha/\beta). \tag{7}$$

Аналіз залежностей (5-7) показує, що зменшення K_d досягається: зменшенням моменту інерції I_2 інструменту і жорсткості ПДЕ $C_{Фр}$; підвищенням демпфуючих властивостей матеріалу ПДЕ $h_{Фр}$; збільшенням часу врізання τ_0 . Дані висновки підтверджують доцільність введення ПДЕ безпосередньо в корпус ЗТФ і обґрунтовують необхідність розробки методик синтезу ЗТФ з ПДЕ.

В третьому розділі сформульовані основні принципи структурно-схемного та векторного синтезів ЗТФ з ПДЕ.

Загальна методика синтезу ЗТФ з ПДЕ передбачає поетапне проведення:

- 1) структурно-схемного,
- 2) векторного,
- 3) геометричного,
- 4) топологічного,
- 5) динамічного синтезів.

Для побудови структурних схем ЗТФ при проведенні структурно-схемного синтезу сформульовані два принципи: 1) зменшувати момент інерції інструменту I_2 шляхом розтину його корпусу площинами і поверхнями у напрямках, утворених дискретним або неперервним поворотом формуючих ліній навколо осі ЗТФ, або навколо точки на осі, чи навколо точки, зміненої відносно осі, з використанням методів дзеркального відображення, обертання та лінійного переміщення; 2) підвищувати податливість різців шляхом введення ПДЕ в місця розтину корпусу ЗТФ.


Застосування даних принципів дало можливість синтезувати 15 відмінних між собою структурних схем ЗТФ з ПДЕ, для формалізації опису яких запропоновано матричну форму:

$$a = \|a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6\|, \quad b = \|b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4\|, \\ c = \|c_1 \ c_2 \ c_3\|, \quad d = \|d_1 \ d_2\|, \tag{8}$$

де $a_1 - a_6, b_1 - b_4, c_1 - c_3, d_1, d_2$ - буквенні позначення структурних схем, об'ємі зображення яких представлено в 1-й

Таблиця І

Принципи побудови і об'ємне зображення структурних схем
площинного структурно-схемного синтезу

Об'єкт синтезу		Межі кута φ						
		$\varphi = 0, \pi$	$0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2} < \varphi < \pi$	$\varphi = \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4} < \varphi < \pi$	
Етапи синтезу	Межі кута φ	Поворот променя навколо т.О						
	Поворот променя (т. #) навколо т.О	Поворот формуючої лінії (ФЛ) навколо осі						
Добуток елементів матриці A на елементи матриць B, C, d	Переміщення формуючої лінії (ФЛ) вздовж осі	Структурні схеми матриці A						
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	
	Структурні схеми матриці B	b_1						
		b_2						
		b_3						
		b_4						
	Структурні схеми матриці C	c_1						
		c_2						
		c_3						
	Структурні схеми матриці d	d_1						
d_2								

стрічці 1 і 4-й колонці таблиці 1.

Об'єднання всіх елементів матриць (8) формує лінійний, або одновимірний, структурно-схемний синтез: $[S_{\Pi}] = \|a \ b \ c \ d\|$, ($S_{\Pi} = 15$).

Наступний етап структурно-схемного синтезу отримується добуток матриці $[S_{\Pi}]$ на транспоновану до неї матрицю $[S_{\Pi}]^T$ і названо площинним, або двовимірним, структурно-схемним синтезом:

$$[S_{\Pi}] = [S_{\Pi}] \cdot [S_{\Pi}]^T = \begin{vmatrix} aa^T & ba^T & ca^T & da^T \\ ab^T & bb^T & cb^T & db^T \\ ac^T & bc^T & cc^T & dc^T \\ ad^T & bd^T & cd^T & dd^T \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Структурні схеми площинного синтезу $[S_{\Pi}]$ є симетричними відносно головної діагоналі матриці (9). Тому тільки половина елементів матриці $[S_{\Pi}]$, крім елементів матриці $[S_{\Pi}]$, являють собою нові структурні схеми ЗТФ: $S_{\Pi} = (S_{\Pi}^2 + S_{\Pi})/2$. В табл.1 показано принципи побудови і об'ємне зображення структурних схем ЗТФ з ПДЕ, описаних елементами матриці (9), виділених прямокутником.

Структурні схеми об'ємного, або тривимірного, структурно-схемного синтезу отримуються добуток попередніх етапів синтезу на матрицю $[S_{\Pi}]^T$:

$$[S_0] = [S_{\Pi}] \cdot [S_{\Pi}]^T = [S_{\Pi}] \cdot ([S_{\Pi}]^T)^2, \quad (10)$$

а загальна кількість нових структурних схем, синтезованих після проведення $[S_0]$, визначається:

$$S_0 = \sum_{n=1}^{S_{\Pi}} (S_{\Pi} - n) + \sum_{n=2}^{S_{\Pi}} (S_{\Pi} - n) + \dots + \sum_{n=S_{\Pi}-1}^{S_{\Pi}} (S_{\Pi} - n) + S_{\Pi}. \quad (11)$$

Кількість всіх етапів, або порядок структурно-схемного синтезу ЗТФ з ПДЕ, визначається кількістю елементів матриці $[S_{\Pi}]$, а загальна кількість відмінних між собою синтезованих структурних схем після проведення k -го етапу синтезу визначається відповідно:

$$S_k = \sum_{p=2}^{S_{\Pi}} \sum_{r=p}^{S_{\Pi}} \dots \sum_{m=1}^{S_{\Pi}} \sum_{n=m}^{S_{\Pi}} (S_{\Pi} - n) + S_{\Pi}, \quad (12)$$

де p, r, i, m, n - індекси при відповідних їм знаках сум: 1-й, 2-й, k -3-й, k -2-й, k -1-й.

Однак виведені залежності не дають наглядного представлення про синтезовані структурні схеми ЗТФ з ПДЕ. Тому для визначення виду синтезованих структурних схем ЗТФ всіх етапів структурно-схемного синтезу розроблений алгоритм і програма автоматизованого визначення коду нової структурної схеми, в якій буквенне позначення схем замінено цифровим (від 1 до 9) і обраховується за формулою:

$$X(I, J) = I \cdot 10000 + J \cdot 1000 + \dots + P \cdot 0,001 + R \cdot 0,0001, \quad (13)$$

де $X(I, J)$ – позначення структурної схеми як елемента двовимірної матриці; I, J, P, R – змінні відповідних етапів структурно-схемного синтезу.


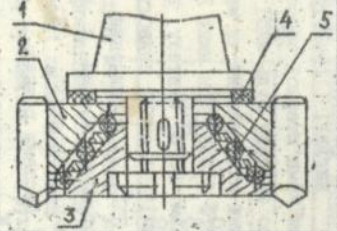
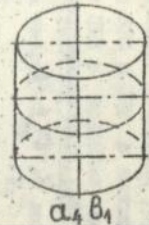
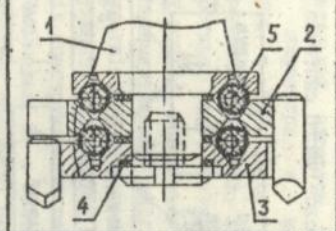
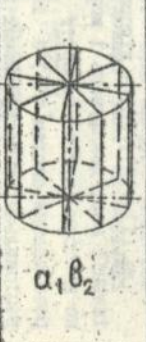
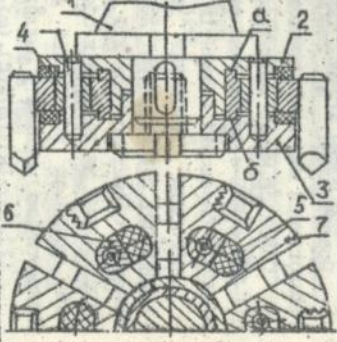

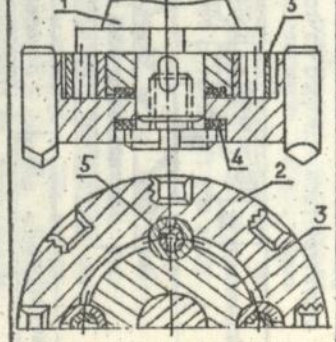
До принципів, що визначають умови проведення векторного синтезу синтезованих структурних схем, віднесено врахування напрямків переміщень податливого різця (відносно корпусу фрези) в момент візання: паралельно та радіально до осі ЗТФ; в коловому і дотичному напрямках; комбіновано. Доцільними у проведенні векторного синтезу прийнято колові та дотичні напрямки відносних змінень різця. Прийняті допущення накладають обмеження і можуть служити основою вибору раціональних структурних схем із числа отриманих структурно-схемним синтезом.

У четвертому розділі сформульовані принципи побудови, етапів і алгоритми проведення геометричного, топологічного та динамічного синтезів.

Внаслідок тісного взаємозв'язку між геометричним і топологічним синтезами було прийнято проводити їх разом в три етапи. I) Геометричний синтез, який проводиться разом із структурно-схемним і розглядає можливі варіанти розтинів структурних схем заданими січними площинами в рамках прийнятої схеми (ілюструється на прикладі добутку елемента B_3 на матрицю $\|a\|$, табл.1). II) Геометричний синтез, який формує конструкції ЗТФ з ПДЕ згідно з прийнятою структурною схемою (табл.2). В конструкції ЗТФ входять: 1 – оправка; 2 – корпус; 3 – проміжний диск; 4 – підшипник ковзання; 5 – ПДЕ; 6 – передавальний елемент; 7 – сектор-державка. III) Геометричний і топологічний синтези, які формують варіанти раціональної компоновки елементів ЗТФ і забезпечують мінімальний шлях передачі крутного моменту від оправки ЗТФ до різця (рис.1). Для формалізації опису зв'язків між

Таблиця 2

Геометричний синтез ЗТФ з ПДЕ за прийнятими структурними схемами

№	Структурна схема	Конструкція ЗТФ з ПДЕ.	№	Структурна схема	Конструкція ЗТФ з ПДЕ.
1	 <p>$a_2 b_1$</p>		3	 <p>$a_4 b_1$</p>	
2	 <p>$a_1 b_2$</p>		4	 <p>$a_4 d_1$</p>	

Структура геометричного та топологічного синтезів ЗТФ з ПДЕ.



рис.1

елементами ЗТФ використано матриці відповідних синтезів:

$$\begin{aligned} [G] &= \|g_1 \ g_2 \ g_3 \ g_4 \ g_5 \ g_6\|; \quad g_6 = \|m \ n \ k\|; \\ [T] &= \|t_1 \ t_2 \ t_3 \ t_4 \ t_5 \ t_6 \ t_7 \ t_8\|. \end{aligned} \quad (14)$$

де m , n , k - матриці-стрічки, елементи яких позначають різні конструкції ПДЕ.

Представлені в такому вигляді геометричний і топологічний синтези зручні для комп'ютерної обробки.

Основною метою динамічного синтезу будь-якої конструкції ЗТФ з ПДЕ є визначення таких мінімальних чи максимальних розмірів складових елементів ЗТФ і ПДЕ, при яких $K_d \rightarrow \min$.

Алгоритм проведення динамічного синтезу передбачає:

- 1) розробку розрахункової динамічної схеми приводу верстату, оснащеного синтезованою ЗТФ з ПДЕ; 2) позначення пружних і дисипативних зв'язків між обертовими масами з врахуванням всіх можливих комбінацій таких зв'язків; 3) розробку математичних моделей у вигляді системи рівнянь:

$$[I] \cdot (\ddot{\varphi}) + [H] \cdot (\dot{\varphi}) + [C] \cdot (\varphi) = (M_p), \quad (15)$$

де $[I]$, $[H]$, $[C]$ - відповідно квадратні матриці моментів інерції мас, демпфувань і жорсткостей; (φ) , (M_p) - відповідно вектори кутів повороту мас та моментів різання; 4) розв'язання систем (15) з використанням ЕОМ і визначення раціональних конструктивних параметрів ЗТФ і ПДЕ, при яких $K_d = K_{d \min}$.

Для ЗТФ з ПДЕ (табл.2) за даним алгоритмом наведено приклад виконання динамічного синтезу з розробкою відповід-

них математичних моделей (15), а для ЗТФ з кодом $a_1 b_2$ розроблено детальний алгоритм і розраховані раціональні конструктивні параметри з використанням БОМ. Дана конструкція ЗТФ з ПДЕ ($a_1 b_2$) визнана раціональною за системов розроблених критеріїв, які формують цільові функції прямої та зворотної задач безумовної оптимізації ЗТФ з ПДЕ.

У п'ятому розділі наводяться програма, методика та результати експериментальних досліджень, метою яких було: встановити придатність синтезованих ЗТФ з ПДЕ для умов торцевого фрезерування; підтвердити теоретичні передбачення залежності K_d від конструктивних параметрів ЗТФ з ПДЕ; побудувати математичні моделі K_d в залежності від режимів різання (V, t, S_z); виробити практичні рекомендації по застосуванню і проектуванню ЗТФ з ПДЕ. В якості дослідних зразків були прийняті ЗТФ з ПДЕ з кодовими позначеннями: 1) $d_1 a_1$; 2) $b_1 a_4$; 3) $a_1 b_2$ (табл.2), значення конструктивних параметрів яких зведені в табл.3 ($\lambda_{фр}$ - логарифмічний декремент для матеріалу ПДЕ).

Таблиця 3.

Конструктивні параметри дослідних зразків ЗТФ з ПДЕ.

№	код ЗТФ з ПДЕ	Значення параметрів			
		$m_2, \text{кг}$	$I_2, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$C_{фр}, \text{Н} \cdot \text{м} / \text{рад}$	$\lambda_{фр}$
1.1	$d_1 a_4$	6.68	-0.0271	37	0.4
2.1	$b_1 a_4$	3.05	0.0126	5	1.2
3.1	$a_1 b_2$	0.37	0.0015	0.9	1.2

Для побудови математичних моделей $K_d = f(V, t, S_z)$ було вибрано некомпозиційні поліноми другого порядку. Вимірювалися значення дотичної складової сили P_z і P_{zd} і визначалася $K_d = P_{zd} / P_z$. Для прийнятих конструкцій ЗТФ з ПДЕ (табл.3) на режимах різання $t=0,5+1,5$ мм, $S_z=0,11+0,21$ мм/зуб, $V=50+250$ м/хв і кутах $\alpha=90^\circ$ та $\lambda=11^\circ$ побудовано такі математичні моделі K_d :

$$K_{d1} = 2,5843 - 0,0015 \cdot V - 0,7614 \cdot t - 11,7322 \cdot S_z + 0,0015 \cdot V \cdot t - 3,2 \cdot t \cdot S_z + 0,6792 \cdot t^2 + 40,96 \cdot S_z^2;$$

$$K_{d2} = 2,78096 - 0,0038 \cdot V - 1,5925 \cdot t - 14,355 \cdot S_z -$$

$$-0,00001087 \cdot v^2 + 0,835 \cdot t^2 + 41,5 \cdot S_z^2; \quad (16)$$

$$K_{д3} = 2,8806 - 0,0032 \cdot v - 0,8875 \cdot t - 15,565 \cdot S_z + \\ + 0,00000865v^2 + 0,34 \cdot t^2 + 42,0 \cdot S_z^2.$$

Графічно залежності (16) представлені на рис.2. Вони підтверджують ефективність прийнятих змін в конструкціях ЗТФ з ПДЕ (зменшення I_2 та $C_{фр}$, підвищення $h_{фр}$ і $\lambda_{фр}$) і дають можливість виробити практичні рекомендації по застосуванню і проектуванню синтезованих ЗТФ з ПДЕ.

Залежності K_d від режимів різання для трьох синтезованих ЗТФ з ПДЕ.

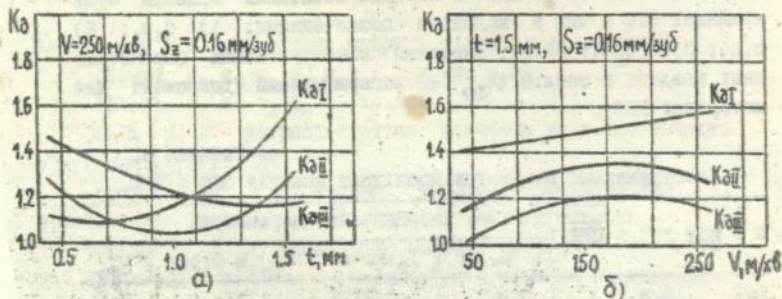


рис.2

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Основний результат роботи — синтезовані нові конструкції ЗТФ з ПДЕ, які забезпечують зменшення рівня динамічних навантажень в оброблючій системі, підвищують стійкість ріжучих елементів фрез.

В процесі виконання роботи отримані такі результати:

1. Сформульовано цілі і основні положення багатоступеневого синтезу ЗТФ з ПДЕ на основі ієрархії структурно-схемного, векторного, геометричного, топологічного та динамічного синтезів.

2. Запропоновано основні принципи розвитку N -мірного структурно-схемного синтезу ЗТФ з ПДЕ на основі проєкціонування формульної лінії в просторі. Запропоновано матричну форму формалізації кодів структурних схем ЗТФ з ПДЕ.

3. Розроблено алгоритм і програму автоматизованого

вибору нових структурних схем в результаті проведення структурно-схемного синтезу ЗТФ з ПДЕ.

4. Сформульовані задачі і розроблені етапи та алгоритми розвитку векторного, геометричного, топологічного та динамічного синтезів ЗТФ з ПДЕ. Розроблено систему критеріїв, які формують цільові функції прямої та зворотної задач безумовної оптимізації для вибору раціональної конструкції ЗТФ з ПДЕ.

5. Розроблено алгоритм і програму автоматизованого розрахунку раціональних конструктивних параметрів ЗТФ з ПДЕ.

6. Отримано математичну модель дотичної складової сили різання P_z для процесу однозубого торцевого фрезерування в залежності від товщини зрізаного шару з врахуванням кінематики рухів формоутворення, яка дала можливість встановити реальний характер навантаження на етапі різання.

7. Проведено дослідження динаміки та кінематики процесу однозубого торцевого фрезерування збірними торцевими фрезами з ПДЕ із врахуванням характеру навантаження і досліджено вплив конструктивних параметрів ЗТФ і ПДЕ на рівень динамічних навантажень в приводі верстату.

8. На основі розробленої методики синтезовані чотири конструкції ЗТФ з ПДЕ, на 4 з яких отримано авторські свідоцтва на винаходи.

9. За результатами експериментальних досліджень побудовані математичні моделі $K_d = f(V, t, S_z)$ для трьох синтезованих ЗТФ з ПДЕ. Підтверджено ефект зменшення динамічних навантажень в оброблючій системі на глибинах різання $t > 1,1$ мм, підвищення стійкості ріжучих елементів фрез для сплаву Т15К6 на 33%, сплаву ТН20 - на 120%. Вироблені практичні рекомендації по застосуванню та проектуванню ЗТФ з ПДЕ.

Основні положення і результати дисертації викладені в наступних роботах:

1. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. Синтез сборных торцевых фрез с упруго-демпфирующими элементами // Известия вузов. Машиностроение. - 1991, №10-12, с.123-126.

2. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. Снижение ударных нагрузок при торцевом фрезеровании // Информатизация и новые технологии. - 1993, №1, с.30-31.

3. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В., Петров В.И. Двухфрезерная

- обработка деталей малой жесткости // Информатизация и новые технологии. -1993, №2, с.18-19.
4. А.С. 1703296 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. -Опубл. Б.И. №1, 1992.
5. А.С. 1750859 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. -Опубл. Б.И. №28, 1992.
6. А.С. 1763103 СССР, МКИ В23С 3/00. Способ фрезерования. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. -Опубл. Б.И. №35, 1992.
7. А.С. 1771894 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. -Опубл. Б.И. №40, 1992.
8. А.С. 1780942 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. -Опубл. Б.И. №46, 1992.
9. Розробка прогресивного верстатно-технологічного оснащення та металорізальних інструментів на основі керування кінематикою лезової обробки. Звіт про НДР. //ТНІ, Тернопіль; Керівник І.В.Луців.-Інв.№02941000186.-Київ, 1994. -16с.: Виконавці:С.Г.Нагорняк, К.В.Зеленський, В.В.Шанайда.
10. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. Сборные торцовые фрезы с упруго-демпфирующими элементами //Тезисы докладов конф. "Типовые механизмы и технологическая оснастка станков-автоматов, станки с ЧПУ и ГПС /Станки-91/", Чернигов, 1991. -с.64.
11. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В., Зинь М.М. Повышение стойкости сборных торцовых фрез и вихревых головок с упруго-демпфирующими элементами //Тезисы докладов конф. "Станки-92", Киев, 1992. -с.3.
12. Зеленський К.В. Вибір раціональних параметрів пружно-демпфуючих елементів збірних торцевих фрез //Тези доп. 1-ї науково-техн. конф. "Прогресивні технології та обладнання в машино- і приладобудуванні", Тернопіль, 1992. -с.150.
13. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. Методология создания и выбора рациональных конструктивных схем сборных торцовых фрез с УДЗ //Тезисы докладов междунар. конф. "Автоматизация и диагностика в механообработке", Луцк, 1993. -с.63.
14. Зеленський К.В. Експериментальні дослідження збірних торцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами //Тези доповідей 2-ї науково-техн. конф. "Прогресивні матеріали, технології та обладнання в машино- і приладобудуванні", Тернопіль, 1993, -с.31.

Аннотация

Зеленский К.В. Синтез сборных торцовых фрез с упруго-демпфирующими элементами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01. - Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструмент. Тернопольский приборостроительный институт. Тернополь.1995.

Защищается 9 печатных работ и 5 авторских свидетельств на изобретения, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований сборных торцовых фрез с упруго-демпфирующими элементами. В результате развития теории проектирования инструментов на основе иерархии структурно-схемного, векторного, геометрического, топологического и динамического синтезов получены рациональные конструкции сборных торцовых фрез с упруго-демпфирующими элементами, позволяющие повысить стойкость режущих пластин из сплава Т15К6 на 33%, сплава ТН20 - на 120%.

Осуществлена промышленная апробация разработок, приводятся данные об их эффективности.

Abstract

Kostyantyn Zelenski. Synthesis of sectional cutters with elastic-damping elements. Thesis for a degree of Candidate of Sciences (Engineering) speciality 05.03.01 - processes of mechanical and physical-technical treatment, machines and tools. The Ternopil Instrument-Making Institute. Ternopil. 1995.

9 published articles and 5 author's certificates which cover the results of theoretical and experimental research of sectional cutters with elastic-damping elements are defended. As a result of cutting tools design theory on the hierarchic structure-scheme, vectoric, geometric, topological and dynamic synthesis basis rational structures of sectional cutters with elastic-damping elements were obtained. It allows to raise the resistance of cutting plates made of hard alloy T15K6 by 33% and of TN20 by 120%.

Industrial application of the developments is carried out; data of its efficiency are submitted.

Ключевые слова: сборные торцовые фрезы, синтез, упруго-демпфирующие элементы.

Спішунок

Зеленський

К.В.Зеленський

АВ 31.802
АВ 31.802

Здано в набір 23.ХП.94 р. Підписано до друку 26.ХП.94 р.
Формат 60x84/16. Зам. 2154. Тираж 120

ОП ТВГК "Збруч"
м.Тернопіль, вул.Живова.11