

Л.М. Данилова, канд.техн.наук, І.М. Пилипенко, студ.  
НТУ України “Київський політехнічний інститут”, г.Київ, Україна

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ РІВНОМІРНОСТІ ФРЕЗЕРУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИМИ ФРЕЗАМИ ШЛЯХОМ ЇХ ПІДБОРУ

*Возможности для уменьшения вибраций и повышения точности обработки заложены в достижении стабилизации числа одновременно режущих зубьев многозвучного инструмента. Предложен программный продукт выбора цилиндрической фрезы из стандартного ряда из условия равномерности фрезерования. На примерах получена количественная оценка неравномерности фрезерования.*

*Possibilities for reducing vibration and increasing processing precision are provided by reaching a stable number of concurrently cutting teeth of a multitoothed tool. We propose a software application for selecting a circular cutter from standard range based on the condition of uniform milling. Quantitative evaluation of nonuniformity of milling was obtained on the examples.*

При фрезеруванні циліндричними фрезами, коли  $\lambda=0$ , процес початку та завершення роботи зубця розпочинається в один і той же момент і закінчується одномоментно, закінчується по всій довжині різальної кромки. Сила від  $P_{\max}$  змінюється до 0, що може бути джерелом виникнення коливань в процесі оброблення. Тому сучасні конструкції фрез мають гвинтові зубці з  $\lambda \neq 0$ . Узгоджуючи кінематику та геометрію фрези можна створити умови близькі до рівномірного фрезерування. Під рівномірним фрезеруванням розуміють процес, коли сила різання постійна.

$$P_z = p \cdot f, \text{ де } p - \text{питома сила різання, що визначається за формулою } p = \frac{C_p C_\beta}{a^\kappa},$$

$C_p, \kappa$  - коефіцієнт і показник степеня, що залежать від механічних властивостей оброблюваного матеріалу,  $C_\beta$  - коефіцієнт, що ураховує вплив кута нахилу гвинтової канавки  $\beta$  фрези (його вплив не значний),  $a$  – товщина шару припуску, що зрізається зубом,  $f$  – площа зрізуваного шару. Таким чином процес різання близький до рівномірного коли сумарна площа перерізу зрізуваного шару всіма зубцями, що одночасно беруть участь у різанні, – величина постійна. Для циліндричних фрез з гвинтовими зубцями відносно рівномірне фрезерування може бути виконано при певних умовах, незважаючи на те, що кожним зубцем в даний момент часу зрізаються шари різної товщини в різні моменти часу – різної площі перерізу. Елементарна площа перерізу зрізуваного шару (рис. 1)  $dF = a_\varphi dl$ .

Площа перерізу зрізуваного шару одним зубцем в будь який момент часу

$$F = \int_{\varphi_b}^{\varphi_{b1}} \frac{s_z \sin \varphi D}{2 \sin \omega} d\varphi.$$

Інтегруючи цей вираз по всій довжині різальної кромки, що приймає участь в роботі, враховуючи, що подача на зуб фрези  $s_z$ , діаметр фрези  $D$  і кут нахилу зубців  $\omega$  є постійними величинами,  $\varphi_b, \varphi_{b1}$  – миттєві кути контакту початкової  $b_1$  і кінцевої  $b$  точок

різальної кромки зуба фрези із заготовкою, отримують сумарну площу перерізу зрізаного шару всіма зубцями, що одночасно знаходяться в роботі,

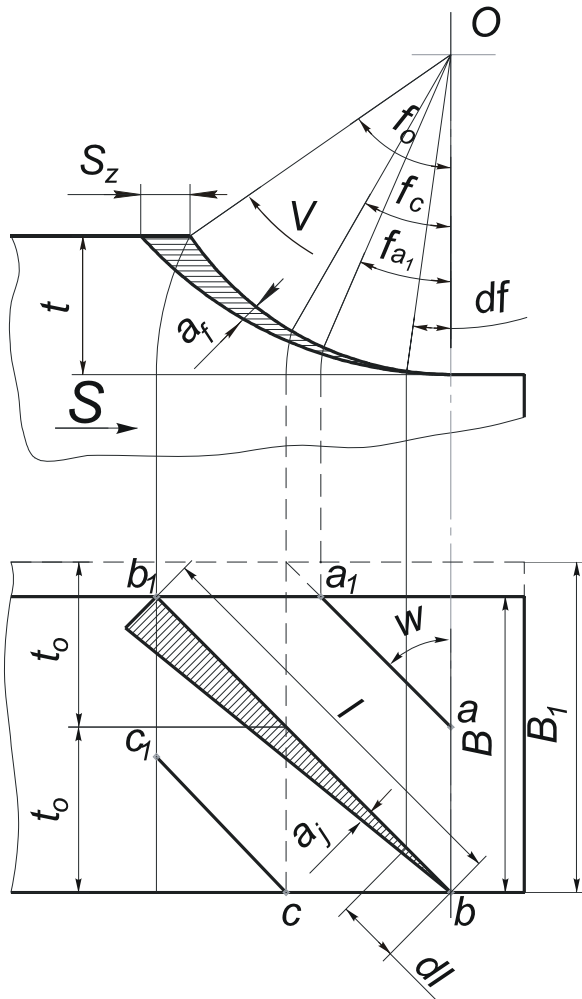


Рис.1. Визначення площі перерізу зрізаного шару

Це можливо, коли кути  $\varphi_c = \varphi_{a1}$ . Тоді кут контакту початкової точки  $a_1$  зубця, що входить буде рівним куту контакту кінцевої точки зубця, що виходить. В цьому випадку осьовий шаг  $t_0$  буде ціле число  $K$  раз вклатися на ширині  $B$  деталі, що фрезерується. Відома залежність  $K = \frac{Bz}{\pi D} \operatorname{tg} \omega$ , що як правило використовується для

розрахунку необхідного кута нахилу  $\omega$  зубців до осі фрези, при якому процес фрезерування буде рівномірним при проектуванні нових фрез. Проектування і виготовлення нових фрез не завжди входить в плани розробників технологічного процесу. Тоді мабуть треба спробувати підібрати найбільш підходящу стандартну фрезу з умови рівномірності фрезерування, габаритів і матеріалу деталі, а також величини припуску на обробку.

Наприклад: Вибрати циліндричну насадну фрезу для чорнового фрезерування плоскої поверхні шириною  $B=80\text{мм}$  заготовки із матеріалу сталь 40X із умови

$$F_{\text{сум}} = \frac{Ds_z}{2 \sin \omega} \sum_1^n (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_{i1}),$$

де  $\varphi_i, \varphi_{i1}$  відповідають миттєвим кутам контакту із заготовкою початкової і кінцевої точок різальних кромки,  $n$  – кількість зубців, що одночасно знаходяться в роботі. Якщо  $F_{\text{сум}} \neq \text{const}$ , то процес фрезерування нерівномірний. У вищенаведеному рівнянні параметри  $s_z, D$  і  $\omega$  є для даних умов величинами постійними, тому рівномірність процесу буде визначатися тільки різністю косінусів кутів.

$$\sum_1^n (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_{i1}) = 2 (\cos \varphi_{\min} - \cos \varphi_{\max}) + (\cos \varphi_c - \cos \varphi_{a1}).$$

Величина  $2 (\cos \varphi_{\min} - \cos \varphi_{\max})$  є постійною тому, що  $\varphi_{\min} = 0$ , а  $\varphi_{\max} = \varphi_0$ , тобто найбільшому куту контакту.

Вираз  $(\cos \varphi_c - \cos \varphi_{a1})$  не може бути постійним, але є умова при якій ця різниця дорівнює нулю.

рівномірності фрезерування. Для роботи з глибиною різання до 5 мм використовують фрези діаметром 60–90мм. Спочатку задаємось довжиною фрези для заданої ширини  $B=65\text{мм}$ . По нормативам цим умовам відповідають такі фрези:

	№1	№2	№3	№4
Зовнішній діаметр фрези $D_{\text{зов}}$ (мм)	60;	75;	90	110
Число зубів фрези $z$	16;	18;	20	22
Кут нахилу канавки $\omega = 30^0$				
Розрахований $K$	3,92;	3,53;	3,268;	2,94

Умови, близькі до рівномірного фрезерування, можна забезпечити при використанні першої або четвертої фрези. У четвертої отвір під оправку більший, тому і жорсткість такої фрези буде більшою.

Найбільші коливання сили різання повинна давати друга фреза із розрахунків коефіцієнта рівномірності фрезерування  $K$ . Для визначення відносної величини коливання сили різання при застосуванні другої фрези зроблена спроба використання аналітичної залежності сумарної сили різання і змінної її величини від кута повороту різального інструмента при багатолезовій обробці для аналізу коливання сили різання при циліндричному фрезеруванні [1]. Сила різання пропорційна площі  $F_{\text{сум}}$ . Найбільше коливання сили різання виникає коли коефіцієнт рівномірності фрезерування  $K$  рівний цілому числу і п'яти десятим.

$$F_{\text{сум}} = \frac{Ds_z}{2 \sin \omega} \sum_1^n (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_{i1}) = \frac{Ds_z}{\sin \omega} (-\cos \varphi_0) + \frac{Ds_z}{2 \sin \omega} (\cos \varphi_c - \cos \varphi_{a1})$$

$$\sin \varphi_0 = \frac{2 \cdot \sqrt{a(D-a)}}{D} = 2 \sqrt{\frac{a}{D} - \left(\frac{a}{D}\right)^2}$$

Постійна складова площі  $\frac{Ds_z}{\sin \omega} (-\cos \varphi_0) * 3 = 1977 \text{мм}^2 = \text{const}$ ,

Змінна складова площі  $\frac{Ds_z}{2 \sin \omega} (\cos \varphi_c - \cos \varphi_{a1}) = (26 \dots 369 \text{мм}^2) = \text{var}$

Із розрахунків коливання величини сумарної площі перерізу зрізаного шару всіма зубцями, що одночасно знаходяться в роботі, досягає 17%. Цей результат наближений до експериментального [2]. Автор експерименту досліджував найбільшу, найменшу і змінну сили різання при визначених кутах повороту різального інструмента, тобто вони відповідають певним точкам на осі  $\varphi$  (рис.2). Коливання сили різання можливо розрахувати для будь-якого варіанту вибору фрези і в подальшому розрахувати його вплив на точність обробки. Для цього достатньо взяти тільки змінну складову площі зрізаного шару, величина якої залежить не тільки від різниці кутів, але і від діаметру фрези теж. У нашому прикладі перша і четверта фрези мають різні діаметри при майже однаковій різниці кутів, але мізерність змінної величини складової дозволяє знехтувати порівняльними для вибору між першою і четвертою розрахунками і обрати фрезу меншого діаметру.

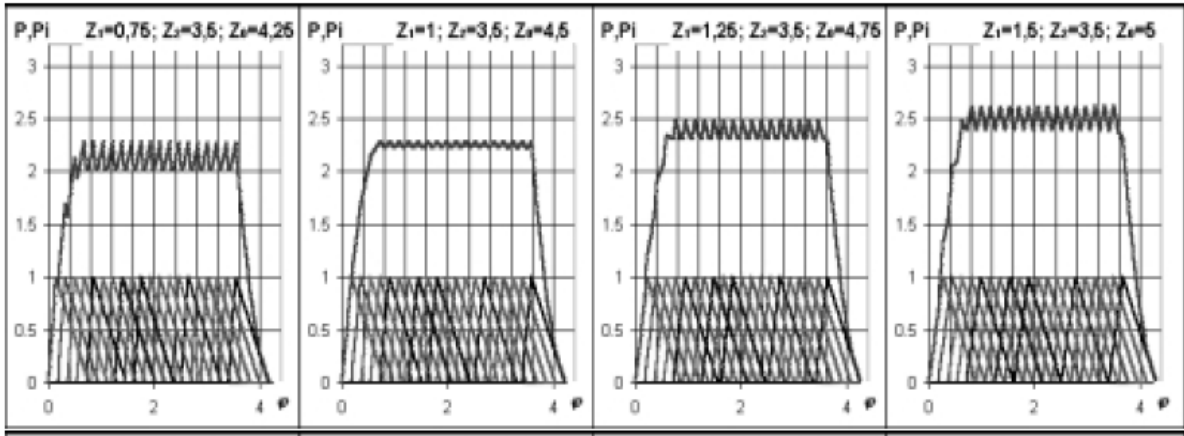


Рис.2. Зміна сумарної сили різання для різних умов обробки

Для швидкого підбору фрези, яка б відповідала умові рівномірності фрезерування розроблено програмне забезпечення, яке складається з каталогу стандартних циліндричних фрез з гвинтовим зубом і розрахункової частини, що забезпечує оптимальний з точки зору рівномірності фрезерування вибір з бажаною точністю (рис.3). Попередній вибір відбувається за довжиною фрези  $L$  і діаметром, цьому критерію відповідає деяка кількість фрез, серед яких обирається найбільш підходяща за наведеним вище алгоритмом.

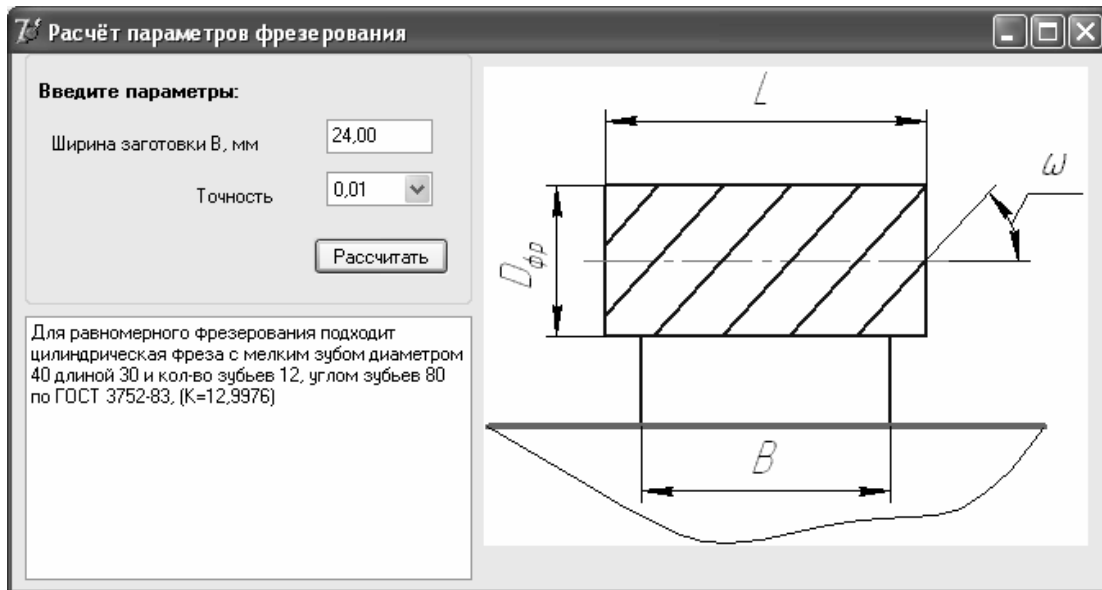


Рис.3. Інтерфейс програми по вибору циліндричних фрез

#### Список використаної літератури

1. Г.Г.Иноземцев Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1984. – 270 с.
2. Баласанян Б.С. Управление переменностью силы резания материалов многолезвийным инструментом //Известия Челябинского научного центра. – Челябинск. 2002, №4(17). – С. 72-76.