

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СТАБІЛЬНОГО РІЗАННЯ В УМОВАХ РЕГЕНЕРАТИВНИХ КОЛИВАНЬ

Механічна обробка є одним із найпоширеніших виробничих процесів у промисловості завдяки її здатності виготовляти деталі з високою точністю. Однак продуктивність і якість обробки можуть бути обмежені через динаміку процесу різання. Коливання можуть виникати внаслідок динамічної взаємодії між процесом різання та структурою верстат-інструмент-деталь як замкненої системи. Такі коливання призводять до погіршення якості обробленої поверхні та зниження стійкості інструменту. Основне джерело самозбудження (виникнення регенеративних коливань), пов'язане з обробкою по сліду та зворотним зв'язком між наступними проходами на поверхні обробки, що призводить до хвилястості на оброблених поверхнях, і, отже, зміни товщини стружки [1]. Для певної швидкості різання існує гранична глибина різання, вище якої система стає нестабільною, і розвиваються коливання.

Рівняння руху для системи з одним ступенем вільності в разі дії на неї збурюючої сили F має вигляд

При ортогональному різанні з урахуванням регенеративного коливання сила різання F пропорційна площі різання (добутку ширини стружки або глибини зрізу b на товщину h)

$$F(t) = k_s b h = k_s b [x(t - \tau) - x(t)], \quad (1)$$

де k_s - жорсткість різання або питома сила різання; x - переміщення різця по нормалі до зрізу; t - час; τ - інтервал часу між попереднім і поточним зрізами.

Рівняння руху для системи з одним ступенем вільності в разі дії на неї збурюючої сили F має вигляд

$$\ddot{x} + 2\zeta \omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{\omega_0^2}{k} F(t), \quad (2)$$

де $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$; $\zeta = \frac{c}{\sqrt{2km}}$.

Динамічна характеристика системи

$$G(i\omega) = \frac{x(\omega)}{F(\omega)} = \frac{\omega_0^2}{k} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + i2\zeta\omega_0\omega}. \quad (3)$$

Дійсну G_R і уявну частину G_I динамічної характеристики визначимо

$$G_R = \frac{1}{k} \frac{1-r^2}{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}, \quad G_I = \frac{1}{k} \frac{-2\zeta r}{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}, \quad (4)$$

де $r = \omega/\omega_0$.

При спільному розв'язку рівнянь (1) і (2), ширина стружки b залежить від частоти коливань верстата через співвідношення частот r . В процесі обробки на верстаті кожній частоті коливань, відповідає визначена критична ширина стружки b . Перевищення цього значення зумовлює нестабільний процес різання, обробка на режимах з шириною стружки меншою критичного значення забезпечує стабільний режим.

Граничне значення глибини різання може бути визначене за формулою [2]

$$b_{lim} = \frac{-1}{2K_f G_R}, \quad (5)$$

де K_f — коефіцієнт сили різання в напрямку подачі (питома сила різання, Н/м²).

Розв'язок стійкості існує лише тоді, коли дійсна частина динамічної характеристики є негативною, тобто $G_R < 0$.

Результати розрахунків граничної глибини різання наведені на рис. 1. Розрахунок виконувався для обробки кінцевою фрезою діаметром 25 мм з числом зубів -2, жорсткість деталі $k = 12,3 \cdot 10^6$ Н/м, частота власних коливань деталі $\omega_0 = 231$ Гц, коефіцієнт демпфування $\zeta = 0,017$, коефіцієнт сили різання $K_f = 796 \cdot 10^6$ Н/м².

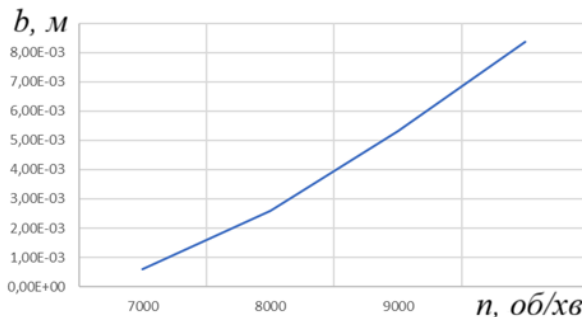


Рисунок 1 – Залежність граничної глибини різання від частоти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Erhan Budak. Machining stability and machine tool dynamics. *11th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology"*, TMT 2007, Hammamet, Tunisia, 05-09 September, 2007. P.30.

2. Altintas Y., Stepan G., Budak E., etc. Chatter Stability of Machining Operations. *Transactions of the ASME. Journal of Manufacturing Science and Engineering*. – 11. 2020, Vol. 142. -110801, 19 p.