

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВПЛИВУ НЕРІВНОМІРНОСТІ ПОДАЧІ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ, ОБРОБЛЕНИХ ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Отримання необхідної шорсткості поверхонь деталей, оброблених на токарних і фрезерних верстатах, можливо тільки при забезпеченні стабільності технологічних процесів їх обробки на режимах максимально наближених до розрахункових.

Встановлена в технологічному процесі швидкість різання і подача, або автоматично вибрані з баз даних системи ЧПК, є розрахунковими і залежними від оброблюваного матеріалу заготовки, матеріалу і геометрії інструменту, а також від технологічних і жорсткісних характеристик обладнання.

Якщо ж операція є фінішною, то швидкість і подача, безумовно, пов'язані з вимогами, висунутими до оброблених поверхонь в робочих кресленнях деталей.

При чистовій обробці з подачами не більше 0,05 мм значення величини шорсткості не збігається з розрахунковою більш, ніж на 30...50 % в бік збільшення.

Аналізуючи причину такої невідповідності, було звернуто увагу на нерівномірність руху робочих органів, особливо при чистових режимах обробки.

Для того щоб оцінити вплив процесів, які відбуваються у приводі подач робочих органів верстатів, на характер переміщення різального інструменту і в подальшому на шорсткість обробленої поверхні необхідно скласти математичну модель. Для опису механічної системи верстата достатньо використовувати математичну модель у вигляді системи диференціальних рівнянь, що описують: роботу привода подачі, переміщення супорту та переміщення вершини інструменту по координатам X та Z.

М. Л. Орликов, розглядаючи рух повзуна (супорта, столу), пов'язаного пружиною з привідною ланкою, що має постійну швидкість (привід), визначив величину стрибка повзуна при малих швидкостях задаючої ланки:

$$\xi = 2 \cdot \frac{\Delta F}{C}, \quad (1)$$

де: C – коефіцієнт жорсткості пружини.

$\Delta F = F_n - F_d$  – різниця сили тертя спокою і сили тертя руху.

Також виведені закони переміщення повзуна:

$$x = \vartheta t - \frac{\vartheta}{\omega_0} \sin \omega_0 t + \frac{\Delta F}{C} (1 - \cos \omega_0 t), \quad (2)$$

і зміни його швидкості:

$$\dot{x} = \vartheta - \vartheta \cos \omega_0 t + \frac{\Delta F}{C} \omega_0 \sin \omega_0 t, \quad (3)$$

де:  $\vartheta$  – швидкість приводного механізму;  $\omega_0 = \frac{c}{m}$ ; m – маса повзуна; t – час тривалості стрибка.

Крім того приведена залежність, через яку можна приблизно розрахувати критичну швидкість, менше якої завжди будуть відбуватися стрибки повзуна:

$$\vartheta_k = \frac{\Delta F}{\psi c t}, \quad (4)$$

де:  $\psi = 4\pi\xi$  – відносне розсіювання енергії при вібраціях (квазігармонійних і релаксаційних).

У роботі «Підвищення якості поверхні при механічній обробці шляхом раціонального налаштуванні приводів подач» Чечуга О. В. представила математичну модель переміщення ріжучої кромки інструменту при формуванні поверхні при токарній обробці. В якості приводу подачі використаний стандартний регульований привід з ПІ-регулятором швидкості і струму, який найбільш часто використовують в сучасних верстатах.

Для визначення сили різання при описанні переміщення інструмента використана емпірична залежність:

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{x_p} \cdot S_\phi^{y_p} \cdot \vartheta^{z_p}, \quad (5)$$

де:  $C_{pz}$  – постійна, відповідна певним умовам різання, матеріалам деталі та інструменту, геометрії інструменту; t – глибина різання;  $S_\phi$  – переміщення супорту;  $\vartheta$  – швидкість різання;  $x_p, y_p, z_p$  – відповідні показники степеню.

При описі руху супорта використовується математична модель запропонована М. Л. Орликовим:

$$F_{tr} = N_\Sigma \cdot \mu, \quad (6)$$

$$\mu = \mu_n + f^z, \quad (7)$$

де:  $N_\Sigma$  – результуюча сила, що прикладена до супорту по нормалі до напрямних;  $\mu$  – коефіцієнт тертя при русі;  $f^z$  – функція, що враховує зміну коефіцієнта тертя.

Сила різання, що перешкоджає руху супорту, представлена у вигляді змінної величини, що залежить від швидкості подачі. Провівши лінеаризацію сили різання відносно подачі в точці відповідній середньому значенню параметрів різання, представлена у вигляді:

$$P_R = C_{\vartheta o} \cdot S, \quad (8)$$

де:  $C_{\vartheta o} = P_{y o} \cdot s_o$ , – коефіцієнт різання, який визначається величиною сили різання і подачі при певних умовах обробки;  $P_{y o}$  – складова сили різання в точці лінеаризації;  $s_o$  – подача на оберт в точці лінеаризації.

При складенні математичної моделі використовуються модель, що описує роботу регульованого приводу подач з ПІ-регулятором швидкості і струму, але момент опору представлений з урахуванням реального навантаження, діючого на привід подачі.

$$M_c = C_c \cdot x - S_{\phi} \cdot k, \quad (9)$$

де:  $x$  – переміщення задаючої ланки;  $S_{\phi}$  – переміщення супорту;  $C_c$  – жорсткість супорту;  $k = h \cdot 2 \cdot \pi$  – перевідний коефіцієнт;  $h$  – шаг ходового гвинта, мм.

Математична модель, що описує рух супорту з урахуванням налаштування приводу подач, а також переміщення супорту при змінній подачі:

$$\begin{aligned} x_1 \cdot T_{pc} &= K_{pc} \cdot U_3 - K_{pc} \cdot K_c \cdot x_5; \\ x_2 \cdot T_{pm} &= K_{pm} \cdot U_c - K_{pm} \cdot K_m \cdot x_4; \\ x_3 \cdot \tau &= K_n \cdot U_m - x_3; \\ x_4 \cdot L_{я} &= x_3 - C \cdot x_5 - R_{я} \cdot x_4; \\ x_5 \cdot J &= C \cdot x_4 - M_c; \\ x_6 &= x_5 \cdot \frac{h}{2\pi}; \\ x_7 &= x_8; \\ x_8 \cdot m &= C_c \cdot x_6 - x_7 - F_{mp} - P_R + h_c \cdot x_6; \\ U_c &= x_1 + K_{pc} \cdot U_3 - K_c \cdot x_5; \\ U_m &= x_2 + K_{pm} \cdot U_c - K_m \cdot x_4; \\ m_p \cdot x_9 + h_{px} \cdot x_9 + C_{px} \cdot x_9 &= C_{px}^* \cdot x_8^{0.55}; \\ m_p \cdot x_{10} + h_{pz} \cdot x_{10} + C_{pz} \cdot x_{10} &= C_{pz}^* \cdot x_8^{0.75}; \end{aligned} \quad (10)$$

У математичній моделі введені наступні значення змінних:  $x_1$  – інтегральна складова ПІ-регулятора швидкості;  $x_2$  – інтегральна складова ПІ-регулятора струму;  $x_3 = U$  – вихідна напруга силового перетворювача;  $x_4 = i$  – струм якоря двигуна;  $x_5 = \Omega$  – швидкість двигуна;  $x_6 = x$  – переміщення задаючої ланки;  $x_7 = S$  – величина переміщення супорту;  $x_8 = x_7$  – швидкість переміщення супорту;  $x_9$  – відхилення різця по координаті X;  $x_{10}$  – відхилення різця по координаті Z.

Аналіз показав, що при роботі з даною математичною моделлю виникають труднощі в розрахунках, так як вона занадто громіздка. Наявність в системі параметрів, що змінюються в часі, зі швидкостями, що відрізняються на порядок, не дозволяє з достатнім ступенем точності оцінити їх вплив один на одного, що приводить до певних похибок в розрахунках.

У подальших дослідженнях планується створити математичну модель впливу нерівномірності подачі на шорсткість обробленої поверхні для фрезерних верстатів, та провести порівняння результатів експериментів з результатами математичного моделювання.