

### УПРАВЛІННЯ ПОПЕРЕДНЬОЮ ЛЕЗОВОЮ ОБРОБКОЮ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДИНАМІКИ

*Наведено новий спосіб управління операціями лезової обробки, що заснований на використанні динамічної моделі зносу різального інструменту і розрахункових залежностей граничного зносу від режимів різання.*

Головною метою управління процесом попередньої лезової обробки у відзнаку з викінчувальною обробкою не є досягнення максимальної точності розмірів і якості поверхні деталей, а є підвищення продуктивності обробки. Разом з тим до цього часу відсутні способи управління, що забезпечують сталість процесу обробки і засновані на принципі максимального використання працездатності різального інструмента [1,2]. Не має також науково визначених критеріїв граничного зносу інструменту, а сам граничний знос визначається тільки експериментально на основі дорогих, складних та тривалих стійкісних випробувань [3]. Тому в даній роботі поставлені такі задачі:

- розробити узагальнену динамічну модель зносу лезового інструменту;
- науково визначити поняття граничного зносу інструменту;
- розробити методику розрахунку граничного зносу інструменту без проведення стійкісних випробувань;
- встановити взаємозв'язки між величиною граничного зносу та режимами різання і на їх основі розробити спосіб управління операціями попередньої лезової обробки деталей.

В основу розробки покладена така логіка: управління продуктивністю та економічністю обробки звичайно зв'язано з інтенсифікацією режимів різання; режими різання певним чином зв'язані з розміром граничного зносу різального інструмента та швидкістю його зносу; знос інструмента у свою чергу зв'язаний із рівнем вібрацій у технологічній системі; граничний знос, як правило, супроводжується втратою сталості процесу обробки. Вказані взаємозв'язки дозволяють припустити, що, змінюючи режими різання в процесі обробки, можна зміщати розмір граничного зносу інструмента в бік більших його значень, а контроль досягнення граничного зносу можна з високим ступенем точності пов'язати з втратою сталості процесу різання. Крім того, через те, що вібросталість технологічної системи піддається теоретичним розрахункам, виникає можливість визначення розміру граничного зносу інструмента без проведення трудомістких стійкісних випробувань, які дорого коштують.

Отже, процес механічної обробки можна представити у вигляді одноконтурної замкненої динамічної системи (рис. 1), елементами якої є еквівалентна пружна система та процес різання [4]. Розірвавши один із зв'язків, можна досліджувати вплив параметрів процесу різання (наприклад, розмірів зносу) на параметри динамічної системи, що визначають її сталість.

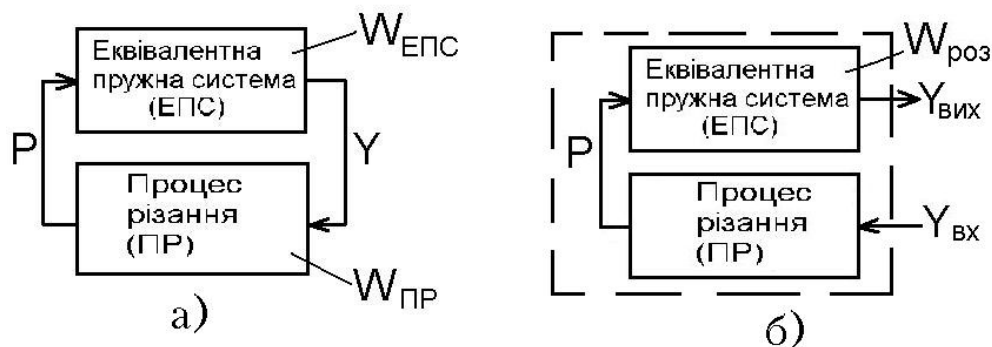


Рис. 1. Структурна схема одноконтурної динамічної системи верстата: а) замкненої; б) розімкненої

Відповідно до теорії автоматичного управління і регулювання передатна функція розімкненої системи визначається таким виразом:

$$W_{роз}(P) = \frac{K_p K_{yc} (1 + (T_\alpha - T_\gamma)P + T_\alpha T_p P^2)}{(1 + T_p P)(T_1^2 P^2 + T_2 P + 1)}, \quad (1)$$

де  $K_p$  - коефіцієнт різання;  $K_{yc}$  - приведена статична характеристика пружної системи;  $T_1$  - інерційна постійна часу;  $T_2$  - постійна часу демпфування;  $T_p$  - постійна часу стружкоутворення;  $T_\alpha$  - постійна часу заднього кута;  $T_\gamma$  - постійна часу переднього кута;  $P$  - оператор диференціювання за часом.

З погляду вивчення взаємозв'язків зносу інструмента з параметрами динамічної системи визначальною є постійна часу заднього кута

$$T_\alpha = \frac{h^2 H_\alpha}{2VK}, \quad (2)$$

де  $h$  - розмір фаски зносу по задній поверхні інструмента;  $H_\alpha$  - контактна жорсткість між задньою поверхнею інструмента і оброблюваною заготовкою;  $V$  - швидкість різання;  $K$  - питома сила різання.

У процесі обробки з ростом значення зносу інструмента відбувається безупинне збільшення постійної часу заднього кута  $T_\alpha$ , що призводить до росту передатної функції  $W_{роз}(P)$ . Збільшення модуля передатної функції знижує запас сталості динамічної системи і поступово приводить до втрати її сталості, що відповідає початку розвитку катастрофічного зносу інструмента. З урахуванням критерію сталості Найквіста визначене значення зносу по задній поверхні інструмента для межі сталості системи:

$$h_{np} = \sqrt{E \frac{A+B}{D}}, \quad (3)$$

де

$$A = \frac{5,06a^4 H}{C} \left( \frac{K_a}{V} \right)^4 + \frac{6,75a^3 H^2}{C^2} \left( \frac{K_a}{V} \right)^3 + \frac{4,5a^2 HM}{C^2} \left( \frac{K_a}{V} \right)^2;$$

$$B = \frac{2,25\sigma_b baMK_a^2}{C^3 V} \left( 1,5aH \frac{K_a}{V} - M \right); \quad E = \frac{1,33CV^2}{H_\alpha abK_a};$$

$$D = 3,37a^3 \left( \frac{K_a}{V} \right)^3 + 4,5a^2 \frac{H}{C} \left( \frac{K_a}{V} \right)^2 + \frac{1,5a}{C} \left( \frac{H^2}{C} - M \right) \frac{K_a}{V}.$$

Дане значення зносу, при якому технологічна (динамічна) система починає втрачати сталість, називається граничним зносом інструмента. Для його визначення необхідні такі вихідні дані:  $V$  - швидкість різання;  $a$  - товщина шару, що зрізається;  $\sigma_b$  - тимчасовий опір матеріалу заготовки;  $b$  - довжина кромки інструмента, що ріжуть (ширина стружки);  $K_a$  - коефіцієнт утовщення стружки;  $H_\alpha$  - контактна жорсткість між інструментом та заготовкою, яку обробляють;  $M$  - приведена маса системи;  $C$  - жорсткість системи;  $H$  - коефіцієнт демпфування коливаль.

За теоретичною залежністю (3) були побудовані та порівняні з експериментальними графіки зміни розміру граничного зносу розточних різців і спіральних свердел відносно режимів обробки. В результаті проведених досліджень встановлено, що значення граничного зносу інструмента збільшуються з ростом швидкості різання, а збільшення подачі приводить до їх зниження. З технологічної точки зору такий висновок дає підстави для введення нового поняття - "змінний граничний знос інструмента" та визначає можливість управління ефективністю процесів лезової обробки металів на основі зміни швидкості різання та подачі.

Через те що граничний знос є середнім зносом за довжиною кромки інструмента, які ріжуть, введено поняття коефіцієнта середнього зносу  $K_u$ , що зв'язує значення граничного зносу з максимальним (катастрофічним) зносом  $h_k$  на окремих ділянках кромки (вершина різця, кути свердла). Визначаємо його так:

$$K_u = \frac{h_{np}}{h_k}. \quad (4)$$

Використовуючи стандартні стійкісні залежності  $T=f(V,S)$ , отримані для нормативних значень критеріїв притуплення інструмента  $h_{kp}$ , і враховуючи, що дійсний знос, при якому відбувається втрата сталості процесу обробки, значно перевершує  $h_{kp}$ , час роботи інструмента до початку катастрофічного зносу можна визначити за залежністю:

$$T_T = \frac{h_{np} - \bar{h}_0}{K_u k_{kp} - \bar{h}} T, \quad (5)$$

де  $\bar{h}_0$  - середнє значення зносу в момент закінчення приробки інструмента.

На підставі встановлених взаємозв'язків між величиною граничного зносу та режимами різання розроблено спосіб управління операціями попередньої обробки деталей, який полягає у послідовному

змінюванні режимів різання так, щоб змінний граничний знос інструмента зміщувався в бік великих значень і протягом всього періоду стійкості залишався вище фактичного середнього зносу.

Модель розвитку зносу інструмента у процесі обробки з режимами різання які змінюються за методикою реалізації розробленого способу управління зображена на рис. 2

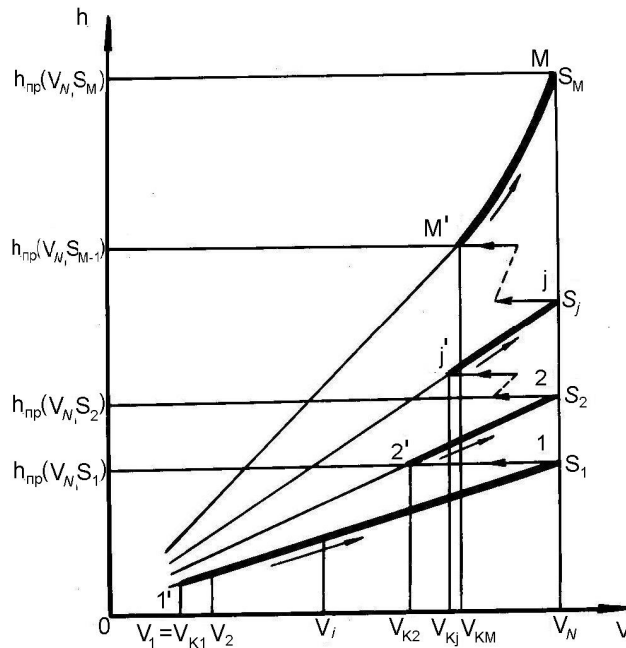


Рис. 2. Послідовність зміни режимів різання та модель розвитку зносу інструмента ( $S_1 > S_2 > \dots > S_j > \dots > S_M$ )

Процес обробки ефективно починати з постійною подачею  $S_1$  (найбільшої з діапазону подач які змінюються) та з перемінною швидкістю різання від  $V_1$  до  $V_N$ , так як з ростом швидкості різання виробність обробки зростає. При зносі інструмента, який дорівнює  $h_{np}(V_N, S_1)$  ведеться зміна подачі з  $S_1$  на  $S_2$ , що відповідає граничному зносу  $h_{np}(V_{K2}, S_2)$ . Подальша обробка ведеться зі швидкостями різання у діапазоні  $V_{K2} < V < V_N$ . Значення швидкості  $V_{K2}$  визначається із умови:

$$h_{np}(V_{K2}, S_2) = h_{np}(V_N, S_1), \quad (6)$$

Період стійкості інструмента  $T_\Sigma$ , який досяг величини зносу  $h_{np}(V_N, S_M)$ , сумується за частками 1-1, 2-2, ..., j-j, ..., M-M та визначається за формулою:

$$T_\Sigma = \frac{h_{np}(V_1, S_1) - \bar{h}_0(V_1, S_1)}{K_{II}(V_1, S_1)h_{KP} - \bar{h}_0(V_1, S_1)} T(V_1, S_1) + \sum_{i=2}^N \left( \frac{h_{np}(V_i, S_1) - h_{np}(V_{i-1}, S_1)}{K_{II}(V_i, S_1)h_{KP} - \bar{h}_0(V_i, S_1)} T(V_i, S_1) \right) + \sum_{j=2i=K+1}^M \sum_{K+1}^N \left( \frac{h_{np}(V_i, S_j) - h_{np}(V_{i-1}, S_j)}{K_{II}(V_i, S_j)h_{KP} - \bar{h}_0(V_i, S_j)} T(V_i, S_j) \right) \quad (7)$$

Так як управління здійснюється шляхом зміни режимів різання, то протягом всього періоду стійкості інструменту виробність  $\Pi$  та собівартість  $C_T$  обробки також є змінними величинами та можуть бути змінними величинами та можуть бути оціненими за своїми середніми значеннями, які приходяться на одну оброблену заготовку:

$$C_T = \frac{1}{N_{заг}} (E(T_M + T_{III} + T_B) + S_{II}) \quad (8)$$

$$\Pi = \frac{N_{заг}}{T_{шт}^{II}}, \quad (9)$$

де  $E$  – собівартість верстато-хвилини роботи обладнання;  
 $T_M$  – розрахунковий машинний час обробки;  
 $T_{IH}$  – час на зміну та під налагоджування інструменту, що затупився;  
 $T_B$  – допоміжний час усього циклу управління;  
 $S_M$  – витрати, які пов'язані з експлуатацією інструменту;  
 $N_{заг}$  – кількість заготовок, які оброблені за весь цикл управління;  
 $T_{шт}^Ц$  – сумарний штучний час циклу.

Розрахунок кількості заготовель, які оброблені за один повний цикл управління, виконується за наступною залежністю:

$$\begin{aligned}
 N_{заг} = & \left( \frac{1}{\pi D l} \frac{h_{ПП}(V_1, S_1) - \bar{h}_0(V_1, S_1)}{K_H(V_1, S_1) h_{KP} - \bar{h}_0 V_1 S_1} V_1 S_1 T(V_1, S_1) + \right. \\
 & + \sum_{i=2}^N \left( \frac{h_{ПП}(V_i, S_1) - h_{ПП}(V_{i-1}, S_1) - h_{ПП}(V_{i-1}, S_1)}{K_H(V_i, S_1) h_{KP} - \bar{h}_0(V_i, S_1)} V_i S_1 T(V_i, S_1) + , \right. \\
 & \left. \left. + \sum_{j=2}^M \sum_{i=K+1}^N \left( \frac{h_{ПП}(V_i, S_j) - h_{ПП}(V_{i-1}, S_j)}{K_H(V_i, S_j) h_{KP} - \bar{h}_0(V_i, S_j)} V_i S_j T(V_i, S_j) \right) \right) \right) \quad (10)
 \end{aligned}$$

де  $D, l$  – діаметр та довжина заготовок що оброблюються.

Розроблений спосіб управління може бути реалізований не тільки на попередньому тонкому розточуванні отворів на алмазно-розточувальних верстатах, але і на інших операціях попередньої лезової обробки, наприклад на операціях свердлування або чорнового розточування, які виконуються на відповідному обладнанні.

#### Література

1. *Линчевский П.А., Фотти С.С., Попов В.И.* Расчет износа инструмента на основе динамической модели механической обработки. – Известия вузов. Машиностроение, 1985, № 2. – С. 122-124.
2. *Линчевский П.А.* Разработка теории и технологии управления операциями предварительной лезвийной обработки деталей машин с учетом динамической модели предельного износа режущего инструмента. – Сб. трудов отделения тяжелого и транспортного машиностроения Академии инженерных наук Украины. – Днепропетровск, 1996. – С. 52-57.
3. *Линчевский П.А., Джугурян Т.Г., Оргиян А.А.* Обработка деталей на отделочно-расточных станках. – К.: Техніка, 2001. – 300 с.
4. *Кудинов В.А.* Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 305 с.