

УДК 621.941

**І.В. Луців, докт.техн.наук, проф.; О.О. Стахурський**

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна

## **ФОРМУВАННЯ СТРУЖКИ ПРИ БАГАТОЛЕЗОВІЙ ОБРОБЦІ АДАПТИВНОГО ТИПУ З КОЛИВАННЯМИ**

**I.V. Lutsiv, Dr., Prof.; O.O. Stakhurskyi**

### **CHIP FORMATION IN THE MULTI EDGE MACHINING OF ADAPTIVE TYPE WITH OSCILLATIONS**

Значення переднього і заднього кутів інструменту, поряд із товщиною зрізуваного шару та швидкістю різання, є суттєвим фактором при формуванні стружки [1, 2]. Наприклад, зливна стружка при дволезовій токарній обробці адаптивного типу із кінематичними міжінструментальними зв'язками (КМІЗ), на перший погляд, нічим не відрізняється від стружки, що отримана при звичайному повздовжньому точінні. Однак, в дійсності, при такій обробці, що супроводжується коливаннями, діє ряд чинників, які суттєво впливають на утворення стружки. Зокрема, при дворізцевому точінні за методом поділу подачі різці знаходяться в одному січенні зрізу і поділяють зрізуваний шар між собою в процесі узгоджених взаємних переміщень різців один відносно іншого. При багатолезовому різанні адаптивного типу зрізуваний шар також поділяється між різальними елементами і є величиною змінною [3], тому змінною є і товщина зрізуваного шару кожним різцем.

Відповідно змінюються і кінематичні передні кути різальних елементів. Так, при традиційному однолезовому різанні, для визначення кінематичного переднього кута  $\gamma_k$  в процесі обробки можна скористатися рівнянням [4]:

$$\sin \gamma_k = \sin \eta \cdot \sin \varphi \sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cos^2 \lambda_k} + \sin \gamma \cdot \cos \eta \cdot \cos \lambda_k, \quad (1)$$

де  $\eta$  - кут підйому гвинтової траєкторії вершини різця,  $\gamma$  - геометричний передній кут різця,  $\gamma_k$  - кінематичний кут нахилу головного різального леза, який дорівнює нулю, якщо це лезо лежить на висоті осі обертання заготовки.

Зважаючи на те, що  $\sin \lambda_k = \cos \varphi \cdot \sin \eta$  і, відповідно,  $\cos^2 \lambda_k = 1 - \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \eta$ , отримаємо:

$$\sin \gamma_k = \sin \eta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \gamma \sqrt{1 + \tan^2 \gamma \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \eta} + \sin \gamma \cdot \cos \eta \cdot \cos \lambda_k.$$

Враховуючи, що при  $|z| < 1$ ,  $\sqrt{1+z} \approx 1 + (1/2)z$ , після перетворень наближено отримуємо формулу:

$$\sin \gamma_k = \sin \eta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \gamma + \cos \eta \cdot \sin \gamma + 1/2 \sin \gamma \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \eta (\tan \gamma \cdot \sin \varphi \cdot \sin \eta - \cos \eta). \quad (2)$$

При точінні різцем з прямим головним кутом в плані ( $\varphi = 90^\circ$ ) ця формула матиме спрощений вигляд:

$$\sin \gamma_k = \sin \eta \cdot \cos \gamma + \cos \eta \cdot \sin \gamma, \text{ або } \sin \gamma_k = \sin(\eta + \gamma),$$

звідки робимо висновок, що при  $\varphi = 90^\circ$  кінематичний передній кут різця збільшується на величину кута підйому гвинтової траєкторії:  $\gamma_{k/\varphi=90^\circ} = \eta + \gamma$ .

Через те, що при багатолезовій обробці адаптивного типу подача є змінною величиною, можна говорити про змінне (кінематичне) значення кута нахилу гвинтової лінії:

$$\eta_{k\text{var}} = \arctg [s_{\text{var}} / (\pi d)].$$

Значення  $s_{\text{var}}$  стосується миттєвої подачі саме різця, а не супорта (при точінні). Тоді матимемо змінне в процесі обробки значення кінематичного переднього кута  $\gamma_{k \text{ var}}$ , викликане змінним значенням  $\eta_{k \text{ var}}$  і для  $\varphi = 90^\circ$   $\gamma_{k \text{ var}} = \gamma + \eta_{k \text{ var}}$ . Для однорізцевої обробки  $\text{tg}\eta = s / (\pi d)$ , де  $s$  - подача супорта, для багатолезової обробки із КМІЗ матимемо  $\text{tg}\eta_{k \text{ var}} = [s_y + s_3(t)] / (\pi d / n)$ , де  $s_y$  - усталене значення подачі різця, а  $s_3(t)$  - змінна складова подачі різця в часі,  $n$  - кількість різальних елементів. Таким чином, матимемо:

$$\text{tg}\eta_{k \text{ var}} = \frac{s_y}{\pi d / n} [1 + s_3(t) / s_y].$$

Зрозуміло, що  $s_y = s / n$ , тому  $\text{tg}\eta = s / (\pi d) = s_y / (\pi d / n)$  і  $\text{tg}\eta_{k \text{ var}} = \text{tg}\eta [1 + s_3(t) / s_y]$ .

Для діапазону реальних значень з максимальною похибкою до 4% можна вважати, що  $\text{tg}\eta_{k \text{ var}} = \eta [1 + s_3(t) / s_y]$ . Тоді для  $\varphi = 90^\circ$ , отримаємо  $\gamma_{k \text{ var}/\varphi=90^\circ} = \gamma + \eta [1 + s_3(t) / s_y]$ .

В загальному вважаючи, що  $\gamma \approx \text{tg}\gamma \approx \sin \gamma$  і  $\eta \approx \text{tg}\eta \approx \sin \eta$ , та нехтуючи величинами 3-го порядку малості, формулу (2) можна представити у вигляді:

$$\gamma_k \approx \gamma + \sin \varphi \cdot \eta - 1/2 \cos^2 \varphi \cdot \eta^2.$$

Відповідно, для багатолезової обробки із КМІЗ отримаємо:

$$\gamma_{k \text{ var}} \approx \gamma + \sin \varphi \cdot \eta [1 + ns_3(t) / s] - \frac{1}{2} \gamma \cos^2 \varphi \cdot \eta^2 [1 + ns_3(t) / s]^2.$$

Аналіз цієї залежності показує, що у всіх випадках при обробці із КМІЗ при зростанні миттєвої подачі ( $s_3(t) > 0$ ) зростає і кінематичний передній кут різального елемента.

Відомо, також, що в процесі різання кінематичний задній кут обчислюється за формулою:  $\alpha_k = \alpha - \eta$  [4]. Отже, при застосуванні обробки із КМІЗ миттєве значення кінематичного заднього кута:

$$\alpha_{k \text{ var}} = \alpha - \eta_{k \text{ var}} \text{ або } \alpha_{k \text{ var}} = \alpha - \eta [1 + s_3(t) / s].$$

Кінематичне зростання переднього кута зі збільшенням миттєвої подачі (товщини зрізу) при обробці із КМІЗ здійснює позитивний вплив на технологічні параметри різання і стружкоутворення. При максимальній товщині зрізу (при  $s_3(t) \rightarrow \max$ ) більший передній кут зменшує динамічну силу різання. При зменшенні товщини зрізу ( $s_3(t) < 0$ ) передній кут також зменшується, а задній, навпаки, збільшується і досягає максимальної величини при  $s_3 \rightarrow \min$ . В результаті спостерігається зниження реальної сили різання, зменшується тертя задньої поверхні різця і досягається більш низька шорсткість обробленої поверхні.

Таким чином, в результаті функціонування КМІЗ отримуємо ефект кінематичного загострення різальних лез різців, що беруть участь у коливаннях.

#### **Література**

1. Лавров Н.К., Завивание и дробление стружки в процессе резания. М.: Машиностроение, 1970. – 214 с.
2. Mohavhedy M. R., ALE simulation of chip formation in orthogonal metal cutting process.– PhD dissertation, the University of British Columbia (Canada), 2000. – 181 p.
3. Луців І.В., Кінематичні особливості багатолезової адаптивної обробки. Вісник Тернопільського державного технічного університету, 1998, т.3, №4. с. 107-111.
4. Грановский Г.И., Грановский В.Г., Резание металлов. М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.