

*Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів.
Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2015.*

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 γ_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 η - кут підйому гвинтової траєкторії вершини різця, γ - геометричний передній кут різця, γ_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:

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

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_{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.