

УДК 621.941.01



І.В. Луців,
д.т.н., професор,
Тернопільський
національний
технічний
університет
ім. І.Пулюя
e-mail:
lootsiv@tu.edu.te.ua

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ БАГАТОЛЕЗОВОГО ТОЧІННЯ САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНОГО ТИПУ

І.В. Луців. Порівняльна оцінка продуктивності багатолезового точіння самоналагоджувального типу. Запропонований підхід до порівняльної оцінки токарних систем самоналагоджувального типу при багатолезовому різанні. Вказана методика враховує компенсацію зусиль різання, які деформують оброблювану деталь, при точінні декількома інструментами, між якими існує кінематичний зв'язок. Визначені умови досягнення раціональної питомої продуктивності багатолезової обробки самоналагоджувального типу.

I.V.Lutsiv. The comparative evaluation of self adjusting multiedge turning productivity. The paper deals with the scientific approach to the productivity comparative evaluation of self adjusting multiedge turning systems. The given methodic considers the compensation of the cutting forces deforming the work piece in the machining process of turning with several tools which are connected with kinematic links. The necessary conditions of achieving the rational relative productivity of the multiedge self-adjusting machining are determined

Вступ. Керування параметрами формоутворення при лезовій обробці можна здійснювати на основі створення верстатно-інструментального оснащення, конструкція якого передбачає відносні рухи його елементів. При цьому, зокрема, регулювання можна досягати за рахунок взаємоузгоджених рухів елементів багатолезового оснащення, між якими існує кінематичний зв'язок [1].

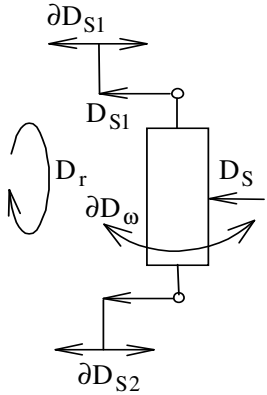
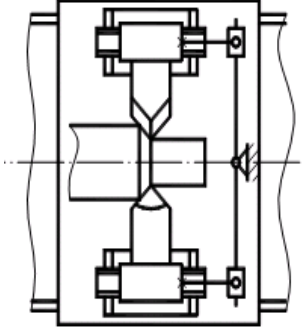
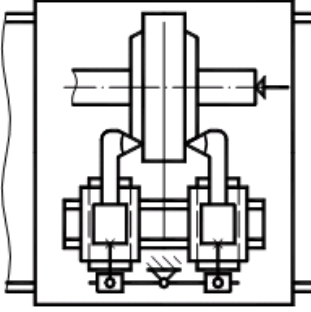
Такий зв'язок перетворює обробну систему на самоналагоджувальну (адаптивного типу), що дозволяє досягнути ряду позитивних ефектів.

В таблиці 1 показані приклади таких токарних систем у дворізцевому виконанні[2].

Впровадження у схеми різання кінематичного міжінструментального зв'язку (КМІЗ) кардинально змінює їх зміст. Коже лезо отримує додатковий формоутворюючий рух dD_{si} ($i=1,2, \dots$), який пов'язаний із рухом механізму кінематичного міжінструментального зв'язку.

Такі схеми обробки дозволяють компенсувати пружні деформації оброблених деталей малої жорсткості за рахунок вирівнювання зусиль різання, що деформують заготовку з боку опозитно розміщених різців.

Таблиця 1. Компонувальні схеми токарних систем самоналагоджувального типу

| Схема різання | Компонувальні схеми токарних систем | |
|---|---|--|
|  |  |  |

Аналіз техніко-економічних показників самоналагоджувальної токарної обробки показує їх переваги порівняно із традиційною однорізцевою токарною обробкою [3]. Поряд з цим очевидною є необхідність більш детального розгляду порівняльної оцінки зростання продуктивності різання.

Матеріал і результати дослідження. Очевидно, що обробка із самоналагодженням дозволяє значно підвищити продуктивність різання. Ця величина є однією із найважливіших характеристик багатолезового оснащення із КМІЗ. В технології машинобудування доведено, що продуктивність обробки знаходиться в безпосередньому зв'язку із жорсткістю технологічної системи [4, 5]. Наближено час обробки одиниці поверхні прямопропорційний $\sqrt{\Delta/\delta}$ і обернено пропорційний \sqrt{j} , де j - жорсткість технологічної системи; Δ - неточність заготовки в поперечному сеченні; δ - задана похибка оброблюваної деталі. Це означає, що для збільшення продуктивності вдвічі необхідно підвищити жорсткість системи в чотири рази.

Порівнюємо продуктивність однорізцевої обробки із продуктивністю дволезового різання із КМІЗ за методом поділу подачі. В цьому випадку радіальна деформація ТОС визначатиметься лише жорсткістю j_k кожної із кареток супорта (ці жорсткості вважаємо однаковими). Тоді найбільший і найменший відтиски різців внаслідок змінної глибини різання: $y_1 = P_{y1}/j_k$ і $y_2 = P_{y2}/j_k$ і отримана еліптичність деталі дорівнює

$$y_e = \frac{1}{j_k} (P_{y1} - P_{y2}) = \frac{0,4C_p}{j_k} (t_1 - t_2) \cdot \left(\frac{s}{2}\right)^{0,75}$$

де $\Delta=t_1-t_2$ - неточність заготовки; s - загальна подача супорта; C_p - коефіцієнт у формулі для сили різання P_{yi} ($i=1,2$).

Порівнюючи величину u_e і задану неточність δ оброблюваної деталі, маємо

$$\delta = \frac{0,4C_p}{j_k} \cdot \Delta \cdot \left(\frac{s}{2}\right)^{0,75}$$

Тоді раціональне значення подачі супорта, виходячи із заданої точності дволезового точіння

$$s = 2 \cdot \left(\frac{2,5}{C_p}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot j_k^{\frac{4}{3}} \cdot \left(\frac{\delta}{\Delta}\right)^{\frac{3}{4}}, \quad (1)$$

і тривалість обробки одиниці поверхні за один прохід:

$$\tau_{\text{МП}} = \frac{10 \cdot t^{0,28}}{2^{0,4} \cdot C_v \left[\left(\frac{2,5}{C_p}\right) \cdot j_k \cdot \left(\frac{\delta}{\Delta}\right) \right]^{0,53}} \quad (2)$$

Отже, обгрунтоване (з точки зору забезпечення точності обробки) підвищення продуктивності дволезового точіння із КМІЗ порівняно з однорізцевим (при тому ж уточненні і глибині різання) запишемо у вигляді

$$v_{\text{прII}} = \tau_{\text{MI}} / \tau_{\text{МП}} = 1,32 \cdot \left(\frac{j_k}{j}\right)^{0,53} \approx 1,32 \sqrt{\frac{j_k}{j}}$$

де j - радіальна жорсткість ТОС.

При обробці в центрах цю величину можна представити так

$$\begin{aligned} v_{\text{прII}} &= 1,32 \cdot \sqrt{j_k \left[\frac{1}{j_b} + \frac{1}{j_{\text{сп}}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{j_{\text{п.б}}} + \frac{1}{j_{\text{з.б}}} \right) \right]} = \\ &= 1,32 \cdot \sqrt{\frac{j_k}{j_{\text{сп}}} \left[1 + \frac{j_{\text{сп}}}{j_b} + \frac{1}{4} \left(\frac{j_{\text{сп}}}{j_{\text{п.б}}} + \frac{j_{\text{сп}}}{j_{\text{з.б}}} \right) \right]} \end{aligned}$$

де $j_b, j_{\text{сп}}, j_{\text{п.б}}, j_{\text{з.б}}$ - приведені жорсткості деталі, супорта, передньої і задньої бабок. Наближено вважаючи $j_{\text{п.б}}=j_{\text{з.б}}=j_b$, отримуємо

$$v_{\text{прII}} = 1,32 \cdot \sqrt{\frac{j_k}{j_{\text{сп}}} \left(1 + \frac{j_{\text{сп}}}{j_b} + \frac{j_{\text{сп}}}{2j_b} \right)}$$

На рис.1 представлені графіки залежностей коефіцієнту збільшення продуктивності при різних співвідношення $j_k/j_{cn}=0,6;0,8;1$. Вони показують, що при застосуванні оснащення із КМІЗ можна збільшити продуктивність різання від 1,8 до 4,5 раз, причому найбільш ефективним є використання КМІЗ при обробці маложорстких деталей.

При n-різцевій обробці із застосуванням КМІЗ різниця між найбільшим і найменшим пружним переміщеннями різців

$$y_e = \frac{0,4C_p}{j_{kn}} \Delta \cdot \left(\frac{s}{n}\right)^{0,75},$$

де j_{kn} – жорсткість різцетримача і каретки, в яких закріплений різець, і відповідно питомий машинний час обробки

$$\tau_{MH} = \frac{10 \cdot t^{0,28}}{n^{0,4} \cdot C_v \left[\left(\frac{2,5}{C_p}\right) \cdot j_k \cdot \left(\frac{\delta}{\Delta}\right) \right]^{0,53}}. \quad (3)$$

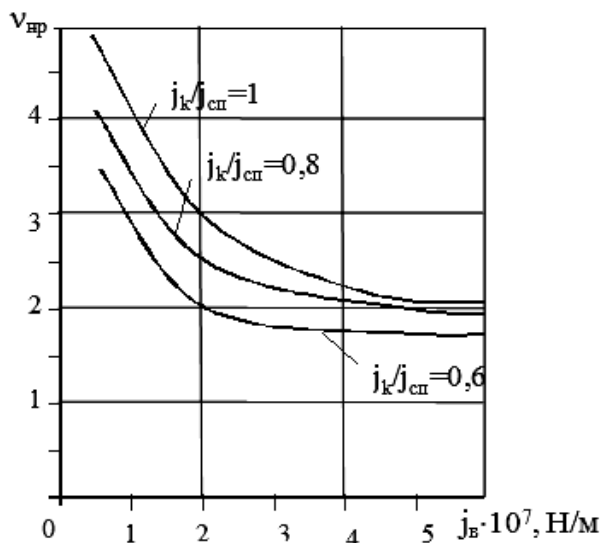


Рис.1. Залежність коефіцієнту підвищення продуктивності різання від жорсткісних параметрів ТОС ($j_{cn}=5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}$)

Відповідно розрахунковий коефіцієнт підвищення продуктивності точіння порівняно з однорізцевим дорівнює

$$v_{прн} = n^{0,4} \cdot \sqrt{\frac{j_k}{j}} = \beta_n \sqrt{\frac{j_k}{j}} \quad (4)$$

Таким чином, при дволезовій обробці коефіцієнт $\beta_n=1,32$; при трилезовій $\beta_n=1,55$; при чотирилезовій - $\beta_n=1,74$ і т.д. Порівнюючи ці коефіцієнти між собою, можна зробити висновок, що при розглядуваній обробці сталей гостро заточеними різцями продуктивність трилезового точіння порівняно з дволезовим доцільно збільшувати лише на 17 %, чотирилезового порівняно з трилезовим - на 12 % і так далі, тобто із збільшенням кількості різців ($n>3$) продуктивність різання зростає непропорційно і не дуже суттєво.

Розглянемо також розрахунок продуктивності різання при токарній обробці з точки зору забезпечення заданої точності по довжині оброблюваної деталі. Адже навіть у випадку "ідеальної" заготовки внаслідок того, що пружні відтиски елементів верстату змінюються вздовж заготовки, її діаметр, а відповідно, і форма виявляються змінними по довжині (оброблена деталь стає або бочкоподібною або увігнутоподібною).

Враховуючи, що деформації заготовки при однорізцевій обробці в центрах при положенні різця посередині оброблюваної деталі і біля передньої бабки практично є визначальними, то

$$\delta = 0,4 C_p s^{\frac{3}{4}} t_1 \left[\frac{t_1}{j_b} + \frac{t_1}{j_1} - \frac{t_2}{j_2} \left(1 - \frac{\Delta}{t_1} \right) \right]$$

і відповідно раціональне значення часу обробки при однорізцевому точінні в центрах:

$$\tau_{MI} = \frac{10 t_1^{0,81} \left[\frac{1}{j_b} + \frac{1}{j_1} - \frac{1}{j_2} \left(1 - \frac{\Delta}{t_1} \right) \right]^{0,53}}{C_v \left(\frac{2,5}{C_p} \right)^{0,53} \cdot \delta^{0,53}} \quad (5)$$

При багатолезовому точінні із КМІЗ в центрах пружні відтиски ТОС не залежать від місця прикладання зусиль і жорсткості заготовки тобто $y_{1n}=P_{y1}/j_{kn}$; $y_{2n}=P_{y2}/j_k$. Тоді отримаємо, що

$$\tau_{Mn} = \frac{10 t_1^{0,28}}{n^{0,4} C_v \left(\frac{2,5}{C_p} \cdot j_k \cdot \frac{\delta}{\Delta} \right)^{0,53}} \quad (6)$$

Відповідно розрахунковий коефіцієнт збільшення продуктивності

$$v_{\text{прп}} \approx n^{0,4} \cdot \sqrt{\frac{t_1}{\Delta}} \cdot \sqrt{j_k \left[\frac{1}{j_b} + \frac{\Delta}{t_1} \left(\frac{1}{j_{\text{сп}}} + \frac{1}{j_{\text{п.б}}} \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{j_{3.б}} - \frac{3}{j_{\text{п.б}}} \right) \right]}$$

Порівнюючи отримані залежності для $n=2$ і $n=3$ знову відзначимо, що збільшення продуктивності n -лезової обробки порівняно з $(n-1)$ -лезовою виражається формулою

$$k_{\text{пр}} = \left(\frac{n}{n-1} \right)^{0,4}, \text{ де } n=3,4,\dots$$

Тому для дволезової обробки із КМІЗ наближено матимемо:

$$v_{\text{прп}} \approx 1,32 \cdot \sqrt{\frac{t_1}{\Delta}} \cdot \sqrt{\frac{j_k}{j_b} + \frac{3j_k}{j_{\text{сп}}} \left(\frac{\Delta}{t_1} - \frac{1}{4} \right)}. \quad (7)$$

На графіках рис.2 показане зростання продуктивності при дволезовому точінні в залежності від співвідношення Δ/t_1 для різних значень $j_{\text{сп}}/j_b$.

Аналіз представлених графіків показує, що зростання продуктивності при дволезовому точінні найбільш доцільне для нежорстких деталей (на графіку для випадку $j_{\text{сп}}/j_b \geq 0,75$). Очевидне також збільшення продуктивності різання при обробці дуже жорстких, але неточних заготовок ($\Delta/t_1 \geq 0,25$).

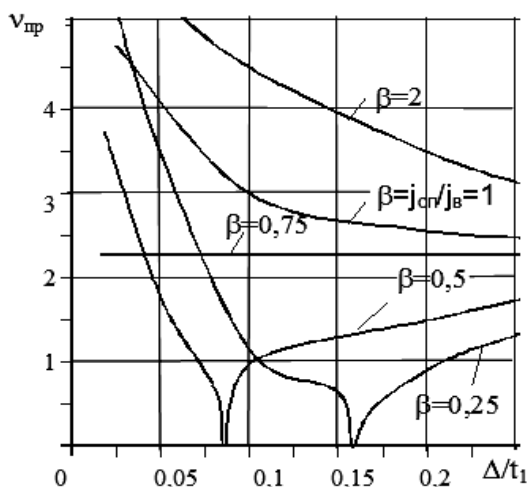


Рис.2. Зростання продуктивності дволезового точіння в залежності від уточнення по довжині заготовки

Наведені залежності є оціночними критеріями для визначення режимів різання багатолезового оснащення, які забезпечують зростання

продуктивності обробки при одночасному дотриманні вимог до точності форми.

Висновки.

Запропонований підхід відображає порівняльну оцінку продуктивності самоналагоджувальної багатолезової обробки порівняно із традиційною однорізцевою з точки зору забезпечення точності обробки як в радіальному, так і в осьовому вимірах.

Показано, що при застосуванні оснащення із кінематичними міжінструментальними зв'язками можна збільшити продуктивність різання від 1,8 до 4,5 раз, причому найбільш ефективним є використання такого різання при обробці малошорстких деталей

Виведені залежності є оціночними критеріями для визначення режимів різання з допомогою багатолезового оснащення, які забезпечують зростання продуктивності обробки при одночасному дотриманні вимог до точності форми в поздовжньому і поперечному січеннях.

Література:

1. Нагорняк С.Г., Луців І.В. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования [Текст] - К.: Техника. - 72с.
2. Кузнецов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] - К.: Тернопіль: Тернограф, 2011. -692с.
- 3.Луців І.В. Багатолезове адаптивне оснащення: техніко-економічні показники//Вісник ЖДТУ. - Житомир: ЖДТУ, 2001, 316, с. 52-59.
- 4 .Соколовский А.П. Жесткость в технологии машиностроения [Текст] - М.: Машгиз, 1946. – 267с.
5. Маталин А.А. Технология машиностроения [Текст] - Л.: Машиностроение, 1985. – 496с.