

І.В. Луців, д.т.н., проф.
І.І. Брошак, к.т.н., доц.
С.П. Штогрин, аспір.

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ОСОБЛИВОСТІ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ АДАПТИВНОГО ТИПУ

Проведено аналіз основних показників стружкоутворення при обробці інструментом адаптивного типу із міжінструментальними зв'язками. Представлено структурно-кінематичні схеми подрібнення стружки та схеми пристроїв кінематичного подрібнення стружки при дволезовому точінні адаптивного типу. Наведена методика розрахунку часових параметрів стружкоутворення і визначена довжина стружки.

Постановка проблеми. Інструменти адаптивного типу дозволяють розв'язати ряд питань щодо забезпечення високих якісних характеристик оброблення, в тому числі подрібнення стружки. Виведення стружки з зони різання є важливою складовою процесу оброблення деталей і особливо при обробці внутрішніх поверхонь.

Стружкоутворення залежить від багатьох факторів – режими різання, властивості матеріалу, методи оброблення та інші, і при цьому основною задачею є отримання необхідних для того чи іншого виду оброблення параметрів стружки.

Аналіз останніх досліджень. Питанням розроблення та дослідження інструментів адаптивного типу та оброблення глибоких отворів присвячені роботи ряду авторів [1–5]. Однак багато питань потребують додаткового дослідження і на сьогоднішній день не отримали свого вирішення.

Метою даної роботи є розробка конструктивних схем інструментальної системи адаптивного типу для подрібнення стружки та досліджень стружкоутворення при обробці інструментами адаптивного типу із міжінструментальними зв'язками. Для досягнення поставленої мети необхідно синтезувати основний принцип створення інструментальних систем адаптивного типу для подрібнення стружки і провести розрахунки та експерименти стосовно відповідного питання стружкоутворення і стружкоподрібнення.

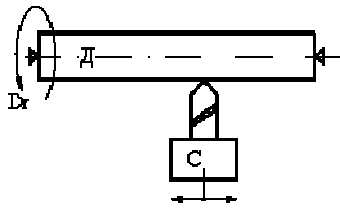
Виклад основного матеріалу. Аналіз стружкоутворення при багатолезовій обробці із застосуванням міжінструментальних зв'язків дозволяє зробити висновок, що елементи стружки можуть утворюватись як в процесі неперервного різання, так і за рахунок подрібнення стружки під час обробки.

В першому випадку утворення елементів стружки визначається самою фізикою процесу різання та її особливостями для лезової обробки, що характерно і для обробки із застосуванням міжінструментальних зв'язків. Проте внаслідок коливних рухів різальних елементів очевидно змінюються суттєво умови різання на кожному із них. При цьому має місце певна нерівномірність процесу стружкоутворення. Ступінь цієї нерівномірності залежить від величин параметрів верстатно-інструментального оснащення із міжінструментальними зв'язками, його налагодження, режимів обробки та умов різання. Зміна фізичної картини перетворення окремих елементів зрізаного шару в стружку може стосуватись пластичного деформування і руйнування оброблюваного матеріалу, процесів тертя на конкретних поверхнях, або змінювати лише механіку окремих елементів стружки.

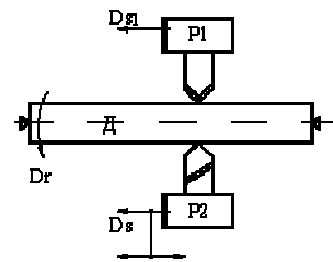
Тоді, коли при однакових умовах при звичному різанні отримують неперервну, міцну стружку зливної форми, то при обробці із міжінструментальними зв'язками може утворюватись стружка подрібненої форми. Адже, з одного боку, застосування міжінструментальних зв'язків суттєво впливає на зміну геометрії різання, може полегшувати процес руйнування матеріалу, при цьому можуть змінюватись і кут дії, і кут сколювання (зсуву). З іншого боку, внаслідок коливних рухів різальних елементів суттєво змінюються товщина і ширина стружки. При значних коливаннях площі поперечного перерізу стружки міцність її по слабкому січенні (зокрема по впадині) може виявитись недостатньою і стружка зламається. Таким чином, утворюються елементи стружки у вигляді окремих спіральок, кілець чи завитків. При обриві елементів стружки посилюється нерівномірність процесу стружкоутворення, що сприяє подальшому подрібненню. Довжина елементів стружки зменшується зі збільшенням нерівномірності умов різання на різальних елементах.

Схемний синтез оснащення із міжінструментальними зв'язками для кінематичного подрібнення стружки може бути побудований як результат: по-перше, інтегрування кінематичних особливостей відомих схем дискретного різання; по-друге, визначення ролі міжінструментальних зв'язків у цьому процесі; по-третє, раціоналізації варіантів схем відповідно до необхідності, що диктується конкретною ситуацією. У даному контексті розглядаються схеми подрібнення стружки, які передбачають коливання елементів технологічних систем у напрямку подачі, як такі, що практично не впливають на точність обробки.

Способи і механізми кінематичного подрібнення стружки при різанні з осьовим коливанням можуть бути об'єднані в єдину систему на основі використання принципових кінематичних схем (рис. 1, 2).



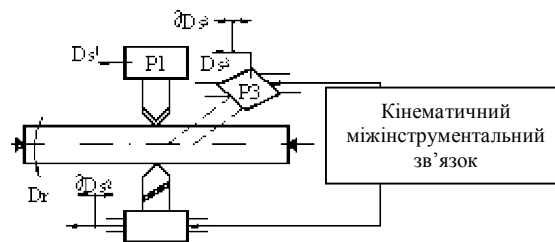
Осьова швидкість деталі Д дорівнює 0.
Керують переміщенням супорта С



Осьова швидкість деталі Д дорівнює 0.
Швидкість супорту P1 постійна. Керують
вібраціями супорту P2

Рис. 1. Структурно-кінематичні схеми подрібнення без застосування адаптивного зв'язку

У першому випадку деталь у процесі обробки є нерухомою в осьовому напрямку, а на рівномірний рух D_s подачі супорта накладаються його вимушені коливання D_{sc} , які й дозволяють періодично здійснювати зупинку різця і, відповідно, відтинати стружку. Відмінна від розглянутої схема адаптивного дискретного різання передбачає подрібнення стружки за рахунок лише взаємних коливних рухів різцетримачів з різцем ∂D_{s1} і ∂D_{s2} у результаті функціонування міжінструментальних зв'язків. Керування зворотно-поступальними рухами різців при функціонуванні міжінструментальних зв'язків здійснюється за рахунок відмінностей в умовах різання на різцях.



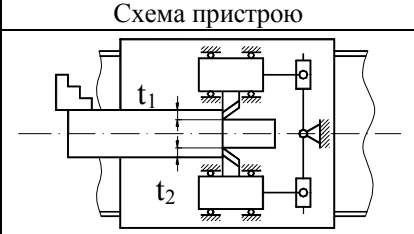
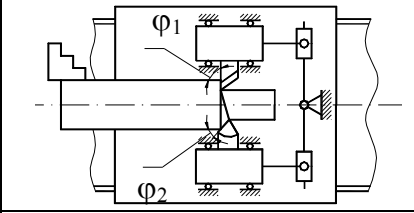
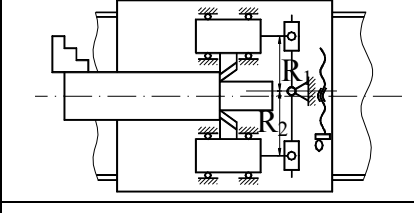
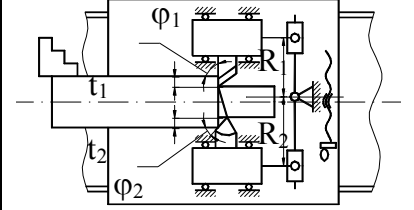
Осьова швидкість деталі Д дорівнює 0. Швидкість супорту P1 постійна. Існує міжінструментальний зв'язок між іншими супортами

Рис. 2. Структурно-кінематична схема багатолезового подрібнення із міжінструментальними зв'язками

Кінематичне подрібнення, зокрема дволезової обробки із міжінструментальними зв'язками охоплює такі схеми: 1) точіння однаковими інструментами, встановленими на зняття різних припусків; 2) обробку різцями з різними головними кутами в плані; 3) виконання міжінструментальних зв'язків у вигляді різноплечого важеля; 4) комбінацію вказаних методів. Конструктивні схеми пристроїв, що забезпечують автоматичне подрібнення стружки, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Схеми пристроїв кінематичного подрібнення стружки при дволезовому точінні інструментальними системами адаптивного типу

Схема пристрою	Умова подрібнення	Час циклу подрібнення стружки
	$t_1 \neq t_2;$ $\varphi_1 = \varphi_2;$ $R_1 = R_2$	$\frac{t_1^2}{t_1^2 - t_2^2} T$
	$t_1 = t_2;$ $\varphi_1 \neq \varphi_2;$ $R_1 = R_2$	$\frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_2} T$
	$t_1 = t_2;$ $\varphi_1 = \varphi_2;$ $R_1 \neq R_2$	$\frac{R_1^2}{R_1^2 - R_2^2} T$
	$t_1 \neq t_2;$ $\varphi_1 \neq \varphi_2;$ $R_1 \neq R_2$	$\frac{R_1^2 t_1^2 \sin^2 \varphi_1}{R_1^2 t_1^2 \sin^2 \varphi_1 - R_2^2 t_2^2 \sin^2 \varphi_1} T$

При багатолезовій обробці інструментами адаптивного типу можна керувати часом циклу стружкоутворення, а, отже, і довжиною подрібнюваної стружки.

При цьому процес стружкоподрібнення складається із декількох етапів залежно від кількості різальних лез, що беруть участь в різанні.

На першому етапі, внаслідок різних розмірів на різних різальних елементах, одні з них можуть відставати від рівномірного руху подачі, а інші – випереджати цей рух. Для визначеності домовимося, що різальне лезо 1 навантажене більше, тобто цей елемент є “відстаючим”. Співвідношення між подачами різальних елементів на цьому етапі утворення елемента стружки виражається залежностями:

$$K_i s_i = \text{const}; \quad s = \sum_{i=1}^n s_i; \quad s_1 = s \sum_{j=1}^n \frac{K_j}{K_j} \quad (i = \overline{1, n}). \quad (1)$$

При цьому наближено вважаємо, що сила різання є пропорційною товщині зрізаного шару, тобто приймаємо модель сили різання в статичній формі. Коефіцієнти K_i можна визначити залежно від характеру функціонування механізму міжінструментальних зв'язків. Наприклад, для схем дворізевої обробки, представлених у табл. 1, запишемо, що $K_i = R_i t_i \sin \varphi_i \quad (i = 1, 2)$.

Перший етап стружкоподрібнення відбуватиметься до перетинання слідів на деталі від різальних елементів 1 і 2. Переходячи від розгортки процесу в координатах $l - \pi d$ до розгортки у координатах $l - \tau$ (де l – довжина сліду різця; τ – час), можна визначити час відтинання елемента стружки. Для n -лезової обробки на першому етапі $\text{tg} \alpha_i = s_i / (\pi d / n)$. У той же час фізичний зміст $\text{tg} \alpha_i$ – це швидкість переміщення різальних елементів у часі (при однакових обертах заготовки). Враховуючи, що початки слідів різальних елементів 1 і 2 зміщені в часі на n -ну частоту періоду T обертання деталі, і зауважуючи, що в точці перетину слідів довжина l_1 сліду від різця 1 дорівнює довжині l_2 сліду від різця 2, маємо:

$$\begin{aligned} l_1 \{T_1\} - l_2 \{T_1 - T/n\} &= \text{tg} \alpha_1 \cdot T_1 - \\ &- \text{tg} \alpha_2 \cdot (T_1 - T/n) = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де T_1 – час відділення елемента стружки. Підставивши замість $\text{tg} \alpha_1$ і $\text{tg} \alpha_2$ їхні значення, отримаємо, що

$$T_1 = \frac{s_2}{s_2 - s_1} \cdot \frac{T}{n}, \tag{3}$$

або

$$T_1 = \frac{s / \sum_{j=1}^n (K_2 / K_j)}{s / \sum_{i=1}^n (K_2 / K_j) - s / \sum_{i=1}^n (K_1 / K_j)} \cdot \frac{T}{n} = \frac{K_1}{K_1 - K_2} \cdot \frac{T}{n}.$$

Після відсічення елемента стружки навантаження на відстаючому різальному елементі 1 практично дорівнюватиме 0, а інші різальні елементи повинні б знімати весь припуск. Таким чином, на II етапі стружкоподрібнення матимемо $s_1^{II} = s$ і $s_i^{II} = 0 (i = \overline{2, n})$.

Відповідно, час II етапу стружкоподрібнення

$$T_2 = \frac{T_1 s_2 - T_1 s_1}{s} = \frac{s_2}{s} \cdot \frac{T}{n} = \frac{T}{n} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{K_2}{K_j}} = \frac{T}{n} \cdot \frac{1}{K_2 \sum_{i=1}^n 1 / K_j}.$$

На третьому етапі стружкоподрібнення: $s_1^{III} = s_2^{III} = s / 2$; $s_i^{III} = 0 (i = \overline{3, n})$. Тому, час III етапу утворення елементів стружки визначатимемо із співвідношення

$$\begin{aligned} T_3 &= 2 \frac{T_1 s_3 - T_1 s_2}{s} = 2 T_1 \frac{s_3 s_2}{s} = \\ &= 2 \frac{K_1}{K_1 - K_2} \cdot \frac{T}{n} \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n K_3 / K_j} - \frac{1}{\sum_{j=1}^n K_2 / K_j} \right) = \\ &= 2 \frac{K_1}{K_1 - K_2} \cdot \frac{T}{n} \cdot \left(\frac{1}{K_3} - \frac{1}{K_2} \right) \cdot \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{K_j}}. \end{aligned}$$

Відповідно, для p -ого етапу стружкоподрібнення час цього етапу:

$$\begin{aligned} T_p &= \frac{T_1 (s_p - s_{p-1})}{s / (p-1)} = (p-1) T_1 \frac{s_p - s_{p-1}}{s} = \\ &= (p-1) \frac{K_1}{K_1 - K_2} \cdot \frac{T}{n} \cdot \left(\frac{1}{K_p} - \frac{1}{K_{p-1}} \right) \cdot \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{K_j}}. \end{aligned}$$

Для останнього, n -го етапу стружкоподрібнення, за аналогією:

$$T_n = \frac{n-1}{n} \cdot T \cdot \frac{K_1}{K_1 - K_2} \cdot \left(\frac{1}{K_n} - \frac{1}{K_{n-1}} \right) \cdot \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{K_j}}. \tag{4}$$

Легко перевірити, що задаючи значення $p = 2, p = 3$ і т. д., отримаємо виведені вище формули для другого, третього і наступних етапів.

Таким чином, час циклу стружкоподрібнення дорівнює

$$T_c = T_1 + T_2 + \dots + T_n = T_1 + \sum_{p=2}^n T_p,$$

або

$$T_c = \frac{K_1}{K_1 - K_2} \cdot \frac{T}{n} \left[1 + \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{K_j}} \sum_{p=2}^n (p-1) \left(\frac{1}{K_p} - \frac{1}{K_{p-1}} \right) \right].$$

Зокрема, для дволезової обробки отримаємо час циклу різання елемента стружки

$$T_c^{II} = \frac{K_1}{K_1 - K_2} \cdot \frac{T}{2} \left[1 + \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2} \cdot \left(\frac{1}{K_2} - \frac{1}{K_1} \right) \right] = \frac{K_1^2}{K_1^2 - K_2^2} T.$$

Для різних схем дворізцевого подрібнення із механізмами вирівнювання цей час наведено в табл 1. Час циклу стружкоподрібнення визначає довжину утвореної стружки [3]:

$$L_c = \frac{1000v h_c}{\xi \cdot 360\pi d_c} \cdot T_c, \tag{5}$$

де v – швидкість різання, м/с, ξ – коефіцієнт усадки стружки, d_c і h_c діаметр стружки і крок її витків.

Вважатимемо, що довжина стружки повинна бути меншою 50 мм, тоді в діапазоні швидкостей різання до 150 м/хв. і $h_c/d_c = 1$ та $\xi = 2,5$ час відділення елементів стружки не повинен перевищувати 0,16 с. У цьому випадку потрібно, щоб, наприклад, для дволезової обробки виконувалось співвідношення

$$K_2 / K_1 > \sqrt{1 - T/T_c} \approx 1 - T/(2 \cdot T_c) = 1 - T/0,32. \tag{6}$$

Зрозуміло також, що для ефективного подрібнення стружки бажано, щоб: $K_1 > K_2 > \dots > K_n$.

Порівняємо часи циклу різання елементів стружки при однакових обертах деталі для різної кількості лез при умові, що $K_i/K_{i+1} = 1,1$ ($i = \overline{1, n-1}$).

На рис. 3 наведені відповідні співвідношення часу стружкоподрібнення для дво-, три- і чотирилезового подрібнення. При цьому можна помітити, що, так як потрібно прагнути до близьких між собою значень K_i , то з достатньою для практики точністю час циклу різання елементів стружки можна оцінювати за часом першого етапу стружкоподрібнення і прийняти

$$T_c \approx T_1 = \frac{K_1}{K_1 - K_2} \cdot \frac{T}{n}, \tag{7}$$

що ідентично із наближеною формулою для дволезової обробки.

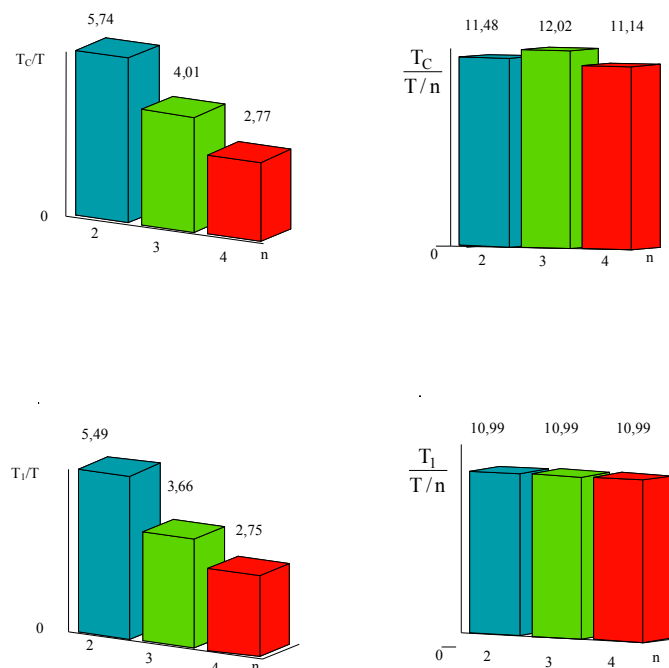


Рис. 3. Співвідношення часу подрібнення стружки для дво-, три- і чотирилезового різання

При обробці, коли один чи декілька із різальних елементів рухаються із жорстко заданою подачею, а між іншими встановлений міжінструментальний зв'язок, для обчислення часу стружкоподрібнення теж можна користуватися формулою (7), а якщо різальні елементи виставлені нерівномірно по колу заготовки, цей вираз потрібно скорегувати, а саме:

$$T_c \approx \frac{K_1}{K_1 - K_2} \left(\frac{T}{n} \pm T_\delta \right) = \frac{K_1}{K_1 - K_2} \left(\frac{T}{n} \pm \frac{T}{2\pi} \phi_\delta \right), \tag{8}$$

де ϕ_δ – кут, на який зсунуті різальні елементи по колу заготовки відносно рівномірного розміщення.

При багатолезовій обробці з міжінструментальними зв'язками легко можна керувати параметрами процесу подрібнення стружки, а саме – часом циклу утворення елементів стружки і відносно її довжиною. При цьому слід забезпечувати лише раціональні параметри налагодження як самого механізму міжінструментальних зв'язків, так і технологічного процесу.

Випробування зразків ВІО із міжінструментальними зв'язками підтвердили гарантоване подрібнення стружки за допомогою оснащення в процесі різання, а також можливість керувати процесом подрібнення

зливної стружки із зв'язки сталей при багатолезовій обробці в широкому діапазоні параметрів.

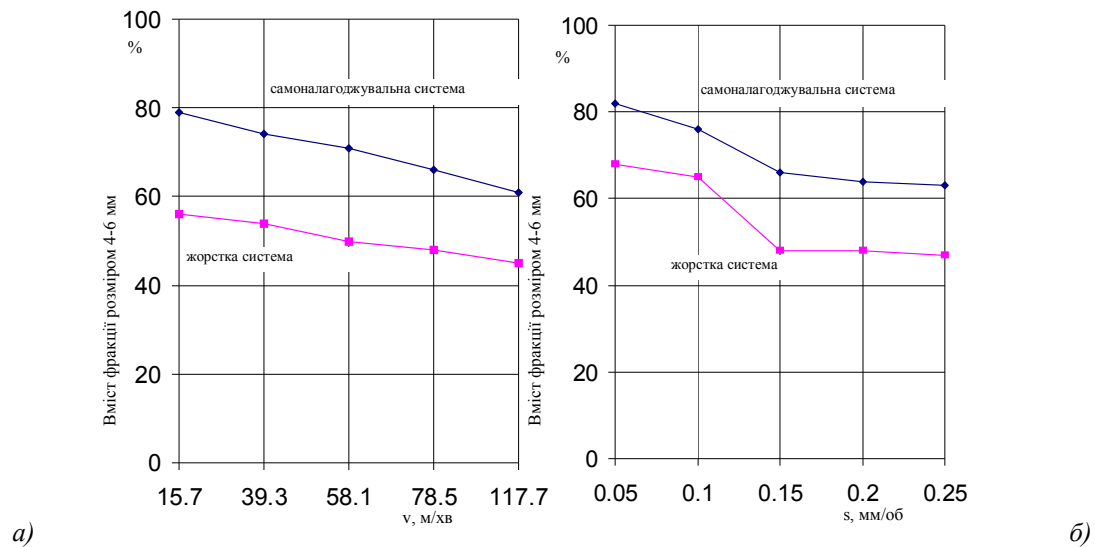


Рис. 4. Вплив швидкості різання (а) і подачі (б) на подрібнення стружки при свердлінні

Подрібнення стружки при самоналагоджувальній обробці має наслідком утворення елементів стружки різних розмірів. Спостерігається стабільність подрібнення при різних режимах і геометрії різальних лез. Для вивчення процесу подрібнення стружки використовувались самоналагоджувальні інструменти адаптивного типу. Оброблялась деталь із сталі 40ХН. Ситовий аналіз дозволив розділити стружку на фракції різної довжини. При цьому було помічено, що майже 80 % вмісту фракцій стружки для самоналагоджувального інструмента відповідали очікуваному діапазону 4–6 мм, який був попередньо розрахований відповідно до режимів обробки, тоді як для жорсткого інструмента ця величина майже ніколи не досягає 50 % і в загальному є випадковою. Дослідження впливу швидкості різання на розмір стружки проводилось при подачі 0,15 мм/об. (рис. 4, а), а впливу подачі – при швидкості 78,5 м/хв. (рис. 4, б). Порівняння цих результатів показує, що формування певного розміру стружки, який є найбільш прийнятним до транспортування і одночасно не заважає протіканню процесу різання є здебільшого на 20 % стабільнішим, ніж при обробці отворів жорстким інструментом, коли впливати на процес утворення стружки майже неможливо.

Висновки:

1. Розроблено теоретичні основи створення багатолезового оснащення, яке самоналагоджується в процесі обробки за рахунок звільнення системи оснащення від надлишкових зв'язків і введення в його структуру міжлезових кінематичних зв'язків адаптивного типу.
2. Сформовано принципово нові компоновальні схеми оснащення для кінематичного подрібнення стружки.
3. На основі дослідження кінематики утворення елементів стружки підтверджена можливість використання міжінструментального зв'язку для кінематичного подрібнення стружки за рахунок отримання вимушених взаємопов'язаних зворотно-поступальних переміщень різальних лез за допомогою налагодження системи чи створення заданих умов різання.
4. Забезпечення умов безвібраційного перехідного процесу після відділення елемента стружки визначається параметрами пружної системи оснащення і режимів обробки.
5. Формування певного розміру стружки, який є найбільш прийнятним до транспортування і одночасно не заважає протіканню процесу різання є здебільшого на 20 % стабільнішим, ніж при обробці отворів жорстким інструментом, коли впливати на процес утворення стружки майже неможливо.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Лавров М.К. Завивание и дробление стружки в процессе резания / М.К. Лавров. – М. : Машиностроение, 1971. – 82 с.
2. Луців І.В. Дослідження процесу утворення та відведення стружки з зони різання при глибокому свердлінні інструментом з міжлезовим гідравлічним зв'язком / І.В. Луців, І.І. Брошак // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя. – 2008. –

- Т. 13. – № 2. – С. 43–50.
3. *Мансырев И.Г.* Способы кинематического дробления стружки / *И.Г. Мансырев.* – Станки и инструмент. – 1976. – № 2. – С. 32–35.
 4. *Подураев В.М.* Обработка резанием с вибрациями / *В.М. Подураев.* – М. : Машиностроение, 1970. – 351 с.
 5. *Шевченко О.В.* Моделивання процесу дроблення стружки при токарній обробці / *О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва* // Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнар. зб. наук. праць. – Донецьк : ДонТУ, 2008. – Вип. 36. – С. 227–232.

ЛУЦІВ Ігор Володимирович – доктор технічних наук, професор, перший проректор Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

- процеси адаптивної обробки поверхневих деталей;
- багатолезове оснащення адаптивного типу для обробки поверхонь обертання.

БРОЦАК Іван Іванович – кандидат технічних наук, доцент Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

- проектування та дослідження інструментів адаптивного типу.

ШТОГРИН Степан Петрович – аспірант кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

- процеси подрібнення стружки.

Подано 03.12.2009

Луців І.В., Брошчак І.І., Штогрин С.П. Особливості стружкоутворення при обробці інструментальними системами адаптивного типу

Луцив И.В., Брошчак И.И., Штогрин С.П. Особенности стружкообразования при обработке инструментальными системами адаптивного типа

Lutsiv I.V., Broshchak I.I., Shtogryn S.P. Features of shaving formation at treatment of adaptive type instrumental systems

УДК 621.9

Особенности стружкообразования при обработке инструментальными системами адаптивного типа / И.В. Луцив, И.И. Брошчак, С.П. Штогрин

Проведен анализ основных показателей стружкообразования при обработке инструментом адаптивного типа с межинструментальными связями. Представлены структурно кинематические схемы измельчения стружки и схемы устройств кинематического измельчения стружки при двухлезвийном точении адаптивного типа. Приведена методика расчета часовых параметров стружкообразования и определена длина стружки.

УДК 621.9

Features of shaving formation at treatment of adaptive type instrumental systems / I.V. Lutsiv, I.I. Broshchak, S.P. Shtogryn

The analysis of basic indexes of shaving formation is conducted at treatment of adaptive type an instrument with instrumental connections. The kinematics charts of grinding down of shaving and chart of devices of the kinematics grinding down of shaving are presented structurally at the two-edged sharpening of adaptive type. The method of calculation of sentinel parameters of shaving formation is resulted and length of shaving is certain.