

**ТЕОРЕТИКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТОРЦЕВИМ ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ, ОСНАЩЕНИМ НАДТВЕРДИМИ МАТЕРІАЛАМИ, ЗАМІСТЬ ШЛІФУВАННЯ**

*В статті наведені основні недоліки процесу шліфування і доцільність заміни його на обробку торцевим лезовим інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, а також проаналізовані причини, що стримують широке впровадження цього способу обробки, та надані рекомендації щодо мінімізації впливу цих причин на якість обробки плоских поверхонь деталей.*

*Ключові слова: обробка плоских поверхонь, торцевий лезовий інструмент з НТМ.*

P.P. MELNYCHUK, V.E. LOEV  
Zhytomyr State Technological University

**TECHNOLOGICAL-THEORETICAL FEASIBILITY OF FLAT SURFACES BY MEANS OF EDGE TOOL EQUIPPED WITH SUPERHARD MATERIAL INSTEAD OF GRINDING**

*Research results related with introduction of tools' flats processing by blade instrument instead of polishing are presented in the article.*

*New methods and instrumentation for processing of by the front multi-blade instrument with cinematically transformed motions of shaping elements equipped by the ultra-hard materials are developed.*

*Results of realized experimental researches of instruments samples and developed methods of processing approved a high effectiveness of substitution of polishing by blade shaping of tools' flats.*

*Basic terms: tools' flats processing, front blade instrument equipped by the ultra-hard materials.*

**Вступ**

Торцеве фрезерування плоских поверхонь деталей здобуло широкого розповсюдження не тільки як високопродуктивний спосіб обробки, але й як фінішний технологічний процес. Оснащення торцевих фрез надтвердими матеріалами надало можливість суттєво підвищити швидкість різання і забезпечити відсутність недоліків, притаманних процесу шліфування, а саме:

- припалів поверхні зі зміною мікротвердості і структури;
- шаржування поверхні продуктами зношування абразивного інструменту;
- забруднення навколишнього простору і загрози травмування та професійного захворювання оператора;
- низької продуктивності процесу;
- проведення як окремої технологічної операції, що суттєво збільшує тривалість виробничого процесу виготовлення деталей;
- в переважній більшості в поверхневому шарі створюються залишкові розтягуювальні або незначні, порівняно з лезовою обробкою, стискуючі напруження, що знижує експлуатаційні властивості поверхні;
- неможливість обробки заготовок з м'яких кольорових і сталевих матеріалів через короткочасне «засалювання» абразивного круга стружкою оброблюваного матеріалу;
- процес шліфування вимагає застосування змашувально-охолоджувальної рідини, що не тільки збільшує його собівартість, але є причиною ряду професійних захворювань.

Наявність наведених недоліків підтверджена значною кількістю досліджень [1–5, 7 та ін.].

Одним з ефективних технологічних процесів, здатних замінити шліфування плоских поверхонь деталей, визнаний процес торцевого фрезерування з застосування інструменту, оснащеного надтвердими матеріалами [1, 3, 5–7].

Однак, не зважаючи на значну кількість науково-дослідних робіт, в тому числі фундаментальних, які переконливо доводять не тільки отримання підвищення якісних параметрів оброблених поверхонь, а й гарантовану економічну ефективність процесу, впровадження цього способу обробки відбувається в Україні дуже повільно. Існує багато пояснень цьому явищу і, в першу чергу, як стверджується в роботі [3], через інформаційний вакуум та догматичний підхід до шліфування як до єдиного технологічного процесу фінішної обробки деталей. Таку думку висловлювали і інші вчені, ще 30 років тому. На наш погляд цьому сприяє практично відсутня в Україні система централізованої інформації підприємств про досягнення в машинобудуванні та із стандартизації. Одна основна проблема полягає у досягненні економічної ефективності процесу через високу вартість інструменту, а також необхідність дотримання певних вимог, обумовлених особливостями обробки поверхонь лезовим інструментом, оснащеним НТМ.

До недоліків, які супроводжують процес торцевого фрезерування, варто віднести наступні:

- процес видалення припуску на обробку є переривчастим;
- кожний формуючий елемент (ніж або зуб) знімає стружку змінної товщини, що викликає зміну сили різання і, відповідно, її складових  $P_z$ ,  $P_y$  і  $P_x$ ;

- кількість формуючих елементів, що знаходяться одночасно в процесі різання, змінюється при врізанні в оброблювану поверхню і виході з неї від одного до половини їх кількості в торцевому багатолезовому інструменті з кратною кількістю і на один менше ніж половина в разі некратності, якщо діаметр фрези дорівнює ширині оброблюваної поверхні;

- зміна сил різання в процесі обробки, що притаманне торцевому фрезеруванню, призводить до нестабільності шорсткості обробленої поверхні. При симетричному торцевому фрезеруванні оброблена поверхня прямокутної форми на різних ділянках має різну шорсткість (як на ділянках врізання і виходу формуючих елементів, так і за шириною обробленої поверхні). Кількість врізань – виходів формуючих елементів при виході торцевого лезового інструменту подвоюється, що змінює частоту вимушених коливань (рис.1).

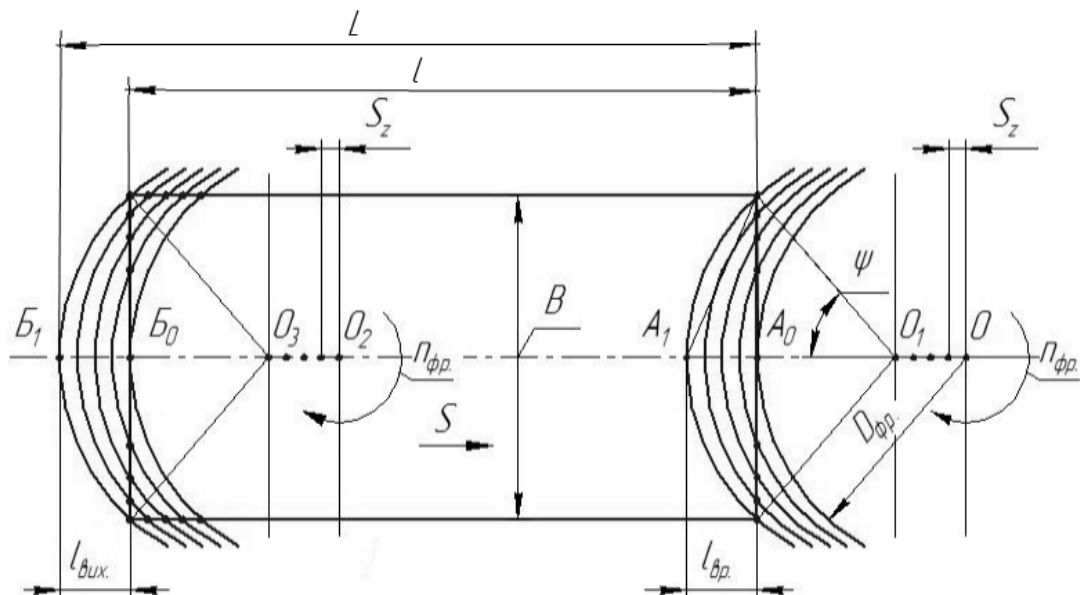


Рис. 1. Схема врізання і виходу торцевого лезового інструменту:

$l_{вр.}$  - шлях врізання на повну ширину оброблюваної поверхні;

$l_{вих.}$  - шлях виходу за межі оброблюваної поверхні;

$L$  - шлях руху на робочій подачі;

$l$  - довжина оброблюваної поверхні прямокутної форми

Довжина врізання на повну ширину оброблюваної поверхні і виходу з неї фрези розраховується за формулою:

$$l_{вих.} = l_{вр.} = \frac{D_{фр.}}{2} * \left( 1 - \sqrt{\frac{D_{фр.}^2 - B^2}{D_{фр.}^2}} \right);$$

- при симетричному розташуванні торцевого інструменту відносно оброблюваної поверхні і співвідношенні  $B \gg \frac{D_{фр.}}{2}$  ( $B$  – ширина оброблюваної поверхні,  $D_{фр.}$  – діаметр торцевого інструменту) відбувається одночасно зустрічне і попутне видалення припуску, що незворотно призводить до утворення різної шорсткості за шириною обробленої поверхні (рис.2);

- осьове і торцеве биття шпинделя верстата безпосередньо впливають на якісні показники обробленої поверхні;

- відхилення від перпендикулярності осі шпинделя до траєкторії поздовжнього руху стола верстата, а також пружні деформації обробленої поверхні в процесі видалення припуску, створюють умови утворення слідів від повторного торкання формуючих елементів під час їх холостого ходу над

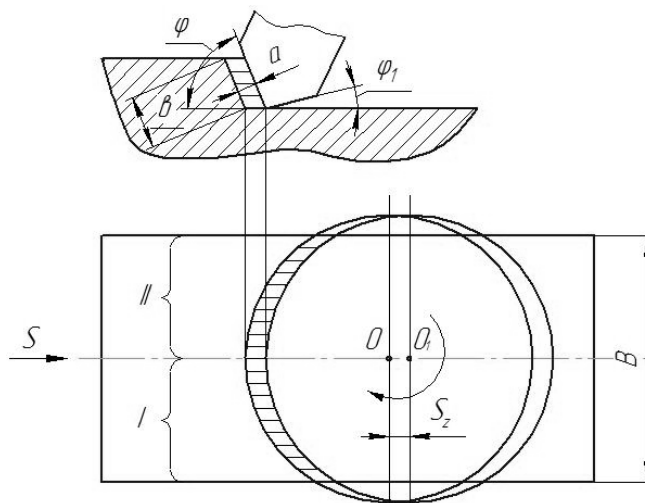


Рис. 2. Схема зміни товщини видалюваного шару:

I – зона зустрічного різання;

II – зона попутного різання;

$a$  – товщина видалюваного шару максимальна;

$b$  – ширина видалюваного шару

обробленою поверхнею, що погіршує її шорсткість (рис. 3), та вимагає збільшення робочого ходу ( $L_{р.х.}$ );

- відхилення від теоретичного колового з рівномірним кроком розташування формоутворюючих елементів, а також радіальне биття шпинделя спотворюють величину подачі на кожний формоутворюючий елемент, прийняту за нормативами або обраховану як подача на оберт шпинделя поділена на кількість різальних елементів, що впливає на всі розрахункові величини, пов'язані з подачею (теоретична висота мікронерівностей, миттєва товщина видаляемого шару металу, стійкість інструменту тощо).

Незважаючи на наведені недоліки, за основними показниками процес торцевого фрезерування інструментами, оснащеними НТМ, значно продуктивніший і забезпечує кращі якісні показники оброблених поверхонь.

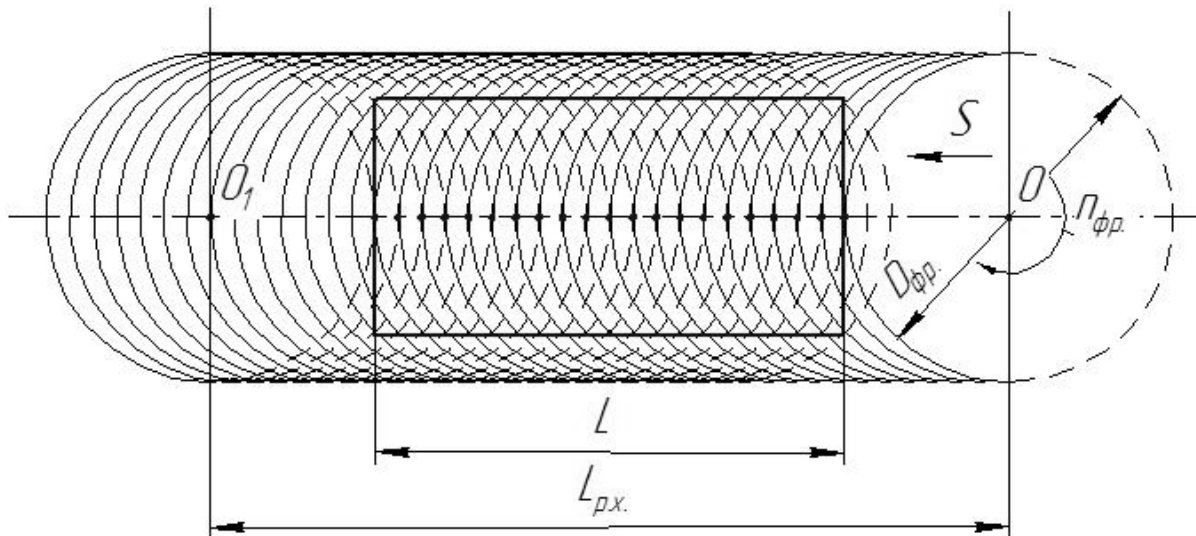


Рис. 3. Схема утворення слідів на обробленій поверхні.

$L$  – довжина обробленої поверхні;  $L_{р.х.}$  – довжина переміщення на робочій подачі; пунктиром показані сліди на обробленій поверхні

Усунення наведених недоліків або мінімізація їх впливів як на якість, так і на продуктивність процесу обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом з формоутворюючими елементами, оснащеними НТМ, є завданням і метою цієї роботи.

### Основна частина

Удосконалення фінішної обробки плоских поверхонь деталей торцевим фрезерування пропонується здійснити за рахунок кінематичного перетворення традиційної колової траєкторії рухів формоутворюючих елементів торцевого багатолезового інструменту в більш продуктивну прямолінійну, перпендикулярну до вектора подач траєкторії руху чистового ножа, вигладжувача, а також інших формоутворюючих елементів, що забезпечує викладання декількох варіантів обробки [9–12]:

- стругання, при однакових вильотах і однаковій відстані формоутворюючих елементів від осі обертання шпинделя;

- ступінчасте видалення припуску на обробку;

- комбінування лезового видалення припуску, поверхневого легування і вигладжування;

На рис. 4 наведено загальний вигляд інструмента для проведення обробки плоских поверхонь формоутворюючими елементами з прямолінійною траєкторією рухів. Корпус 1, закріплений на шпинделі верстата, налічує 8 повзунів 2, в кожному з яких встановлені різальні елементи 3 з можливістю регулювання вильоту за допомогою диференціального механізму (Патент України №94158) і клиновим затиском після регулювання. На кожному повзуні встановлена стійка з ексцентрично закріпленим підшипником 4. Підшипники контактують з нерухомо закріпленим на пінолі шпинделя копіром 5. Постійний контакт забезпечують пружинами 6 через плунжери 7 і восьмигранник 8. Для забезпечення безпечних умов роботи інструмент захищений кожухом 9. В механізмах регулювання вильотів різальних елементів 8 передбачені пружини для уникнення зазорів у різьбових з'єднаннях.

Співставлення схем на рис. 1 і рис. 5 показує, що робочий хід (хід на робочій подачі) в розробленому способі обробки значно менший порівняно з традиційним. Крім того забезпечується рівномірна за шириною і довжиною шорсткість обробленої поверхні і мінімальна кількість врізань і виходів формоутворюючих елементів.

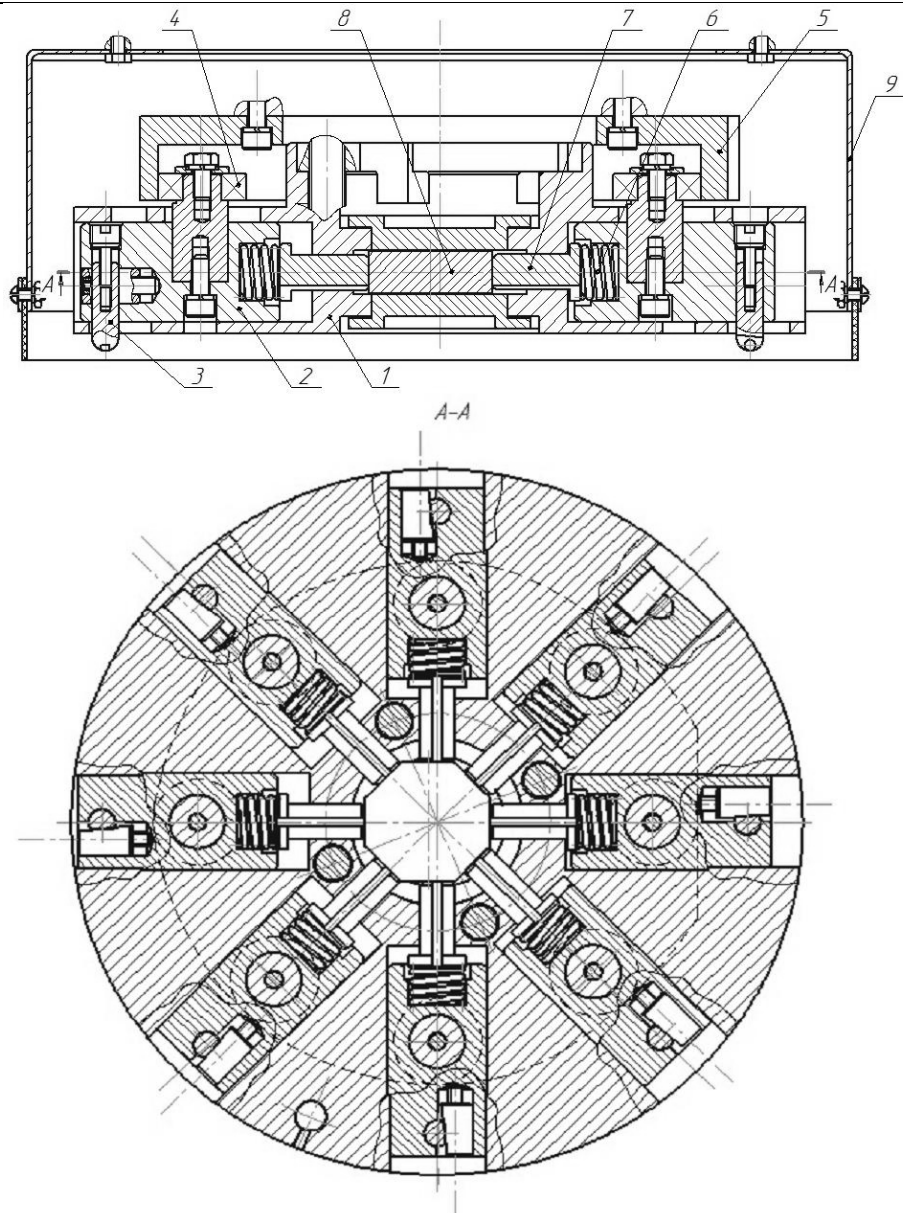


Рис. 4. Загальний вигляд торцевого інструменту з кінематично перетворенням з колового у прямолінійний рухом формоутворюючих елементів. (Патент України №84478)

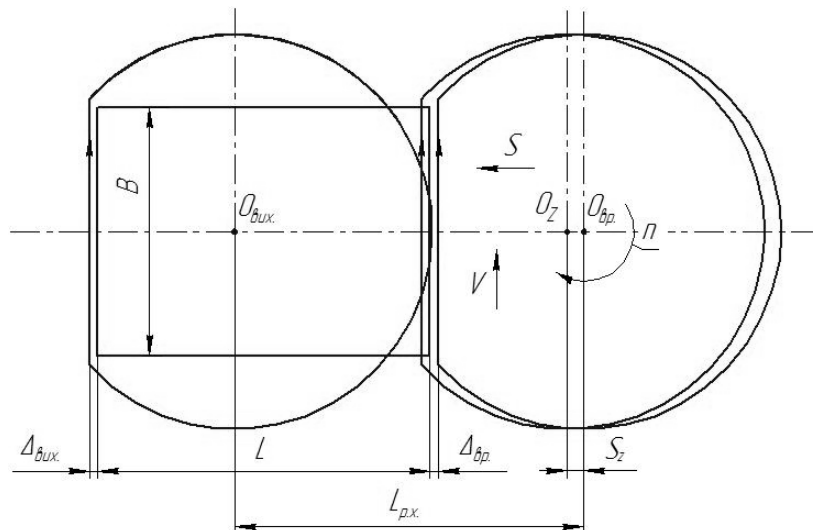


Рис. 5. Схема видалення припуску струганням  
де  $B, L$  – ширина і довжина оброблюваної поверхні;  $L_{р.х.}$  – робочий хід стола з оброблюваною заготовкою;  $L_{р.х.} = L + \Delta_{вр.} + \Delta_{вих.}$

На рис. 6 і в таблиці 1 наведені схеми вимірювання шорсткості і їх результати при обробці розробленим способом.

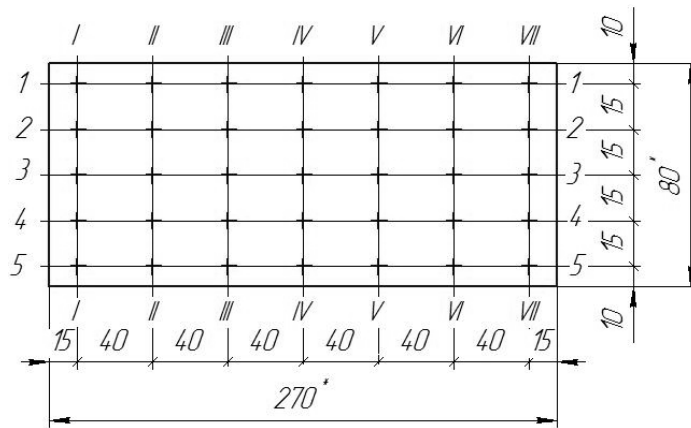


Рис. 6. Схема вимірювання шорсткості поверхні, обробленої запропонованим способом

Таблиця 1

Результати вимірювання шорсткості (Ra)

Поперечний напрям	Поздовжній напрям						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	0,7 1,6	0,7 1,7	0,8 1,5	0,7 1,7	0,9 1,9	0,8 1,8	0,7 1,5
2	0,8 1,3	0,6 1,5	0,8 1,4	0,8 1,6	0,6 1,4	0,7 1,3	1,0 1,5
3	0,8 1,6	0,7 1,6	0,9 1,7	1,0 1,9	1,0 1,8	0,8 1,6	0,9 1,5
4	1,0 1,7	0,9 1,5	0,8 1,8	0,9 1,9	1,0 1,6	0,8 1,7	0,7 1,7
5	1,0 1,8	0,9 1,7	0,8 1,8	1,1 1,7	0,8 1,9	1,0 1,8	1,0 1,7

Читати: 1 – I, 1 – II... – поздовжній напрямок, відповідно, Ra=1,6 ; 1,7;  
 I – 1, I – 2... – поперечний напрямок, відповідно, Ra=0,7 ; 0,8;  
 Матеріал заготовки: сталь 40X, HRC 45...48;  
 Режими обробки: S=0,05 мм/зуб, n=500 об/хв., t=0,2 мм;  
 Матеріал інструменту: гексаніт-Р;  
 Геометричні параметри:  $\gamma = -10^\circ$ ; Пластика кругла  $\varnothing 5$  мм,  $\alpha = 7^\circ$ .

Вимірювання шорсткості (Ra) проводились переносним профілометром Surtronic 10 фірми Rank Taylor Hobson, Англія. Аналіз результатів вимірювання шорсткості обробленої поверхні (у поперечному напрямку Ra 0,6÷1,1 мкм і у поздовжньому Ra 1,3÷1,9) дає можливість стверджувати про можливість заміни шліфування на такий спосіб обробки. В разі виконання регулювання різних вильотів формоутворюючих елементів відносно корпусу інструмента є можливість створення ступінчастого видалення припуску значної товщини (рис.7), що неможливо здійснити при застосуванні традиційних торцевих фрез з НТМ через обмежену глибину різання.

Регулюванням відносного положення різальних елементів досягають наступних співвідношень:

$$R_1 > R_2 > R_3 > R_4 > R_5 > R_6 > R_7 > R_8$$

– відстані від осі обертання інструменту кожного з восьми ножів до прямолінійної, перпендикулярної до вектора подачі траєкторії руху кожного ножа. При

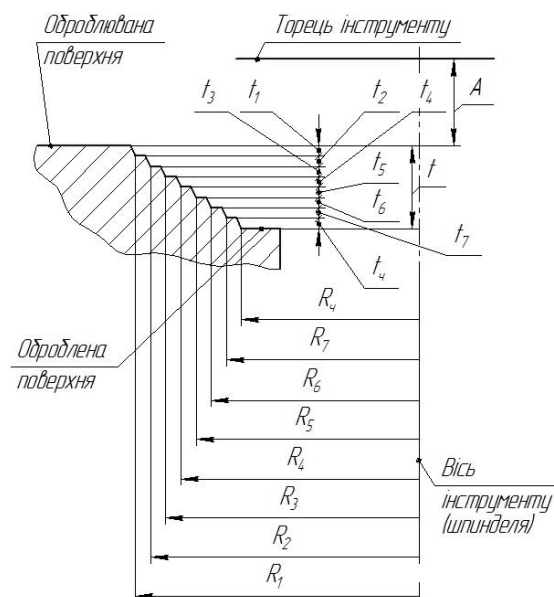


Рис. 7. Схема ступінчастого видалення припуску на обробку

такому співвідношенні відстаней обов'язковою умовою є різниця в осьових вильотах ножів. Найбільш віддалений ніж ( $R_1$ ) повинен мати найменший виліт (наприклад  $h = A + t_1$ ), наступний ( $R_2$ )  $h_2 = A + t_1 + t_2$ , наступний ( $R_3$ )  $h_3 = A + t_1 + t_2 + t_3$  і т. д. Чистовий ніж з найменшою відстанню від осі обертання  $R_4$  повинен мати найбільший виліт  $h_4 = A + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_4$ .

Розроблений спосіб обробки перевірено в лабораторних і виробничих умовах.

До недоліків цього способу обробки слід віднести дещо обмежену ширину оброблюваної поверхні, яка прямо пропорційна габаритам інструменту. Співвідношення приблизно складає:

$$\frac{B}{D_{\text{instr.}}} \approx 0,25;$$

де  $B$  – ширина оброблюваної поверхні;  
 $D_{\text{instr.}}$  – зовнішній діаметр інструменту;

Для обробки широких поверхонь розроблений торцевий інструмент з планетарною траєкторією рухів багатозовних формуючих елементів (рис. 8). Корпус 1 інструменту закріплений гвинтами 8 на торці шпинделя верстата. В корпусі змонтовано шість стаканів 2 та на радіально-упорних підшипниках шість втулок-шпинделів 10 з конічними отворами для закріплення формуючих елементів 6 (нормалізованих або спеціальних). На втулках-шпинделях 10 змонтовані шестерні 3, які входять в зачеплення з нерухомо закріпленим на пінолі шпинделя верстата «сонячним» колесом 4.

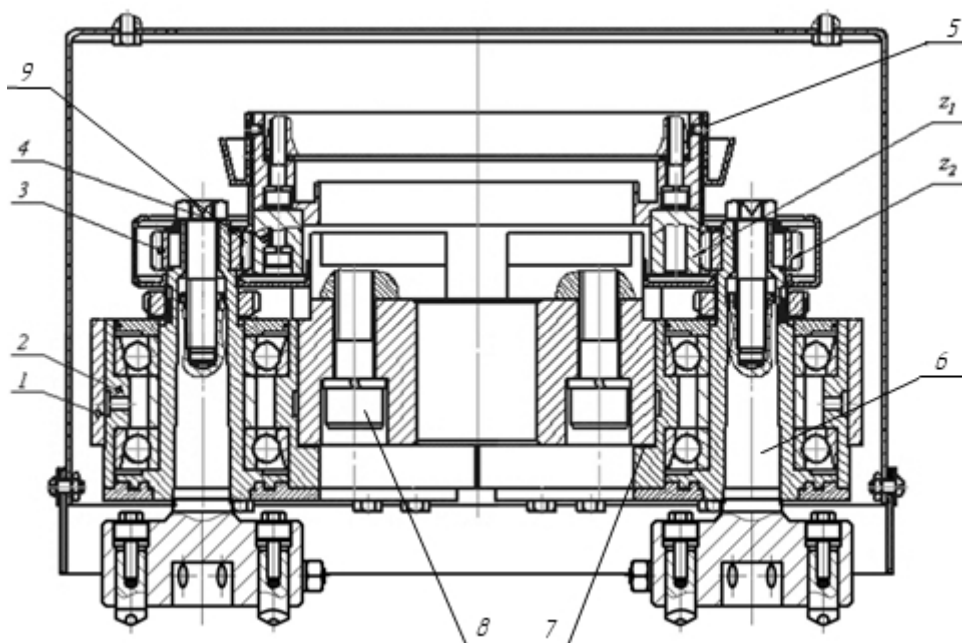


Рис. 8. Торцевий інструмент з планетарною траєкторією рухів формуючих елементів

Для регулювання осьових вильотів нормалізованих або спеціальних інструментів передбачені прокладки 7. При використанні спеціальних інструментів передбачено регулювання кожного формуючого елемента окремо.

Враховуючи значну частоту обертів шести шпинделів (до 8000 об/хв. кожного), в торцевому інструменті передбачена система автоматичного змащування з ємністю 5, заповнену певною кількістю мастила «Індустріальне 20».

Траєкторією руху вершини ножа у сполученні з подачею при традиційному торцевому фрезеруванні є трохоїда. В розробленому інструменті, враховуючи планетарний рух формуючих елементів та рівномірне переміщення стола верстата з заготовкою (подача на оберт), траєкторія набуває форми трохоепітрохоїди (авторська назва).

Трохоепітрохоїда (від грец. троχος – колесо та грец. епі – на, над, при) – лінія  $L$ , яку описує точка  $M$ , що закріплена в площині деякого круга  $C$  радіусом  $r$  (твірний круг), коли цей круг котиться без ковзання по зовнішній стороні кола радіусом  $R$  (напрямна), яке рухається прямолінійно та рівномірно, і проходить відстань  $S$  за один оберт твірного круга навколо напрямної (рис.9).

Трохоепітрохоїда описується наступними параметричними рівняннями:

$$x(\varphi) = \frac{S}{2\pi} \varphi - (R+r) \sin \varphi + f \cos\left(-\frac{R}{r} \varphi\right);$$

$$y(\varphi) = \frac{S}{2\pi} - (R+r) \cos \varphi + f \sin\left(-\frac{R}{r} \varphi\right).$$

Параметричні рівняння траєкторії рухів різальних кромок формоутворюючих елементів:

$$x(\varphi) = \frac{S}{2\pi} \left( \varphi + (k-1) \frac{\pi}{3} \right) - R_c \sin\left(\varphi + (k-1) \frac{\pi}{3}\right) + f \cos\left(-i \left( \varphi + (k-1) \frac{\pi}{3} \right) - l \frac{\pi}{2}\right);$$

$$y(\varphi) = \frac{S}{2\pi} - R_c \cos\left(\varphi + (k-1) \frac{\pi}{3}\right) + f \sin\left(-i \left( \varphi + (k-1) \frac{\pi}{3} \right) - l \frac{\pi}{2}\right),$$

- де  $S$  – подача, мм/об;  $R_c$  – радіус напрямного кола;  
 $\varphi$  – кут повороту твірного круга  $C$  відносно центра напрямного кола;  
 $f$  – кількість різальних зубців у кожному формоутворюючому елементі;  
 $k$  – кількість формоутворюючих елементів;  
 $i$  – передаточне число зачеплення з сонячним колесом;

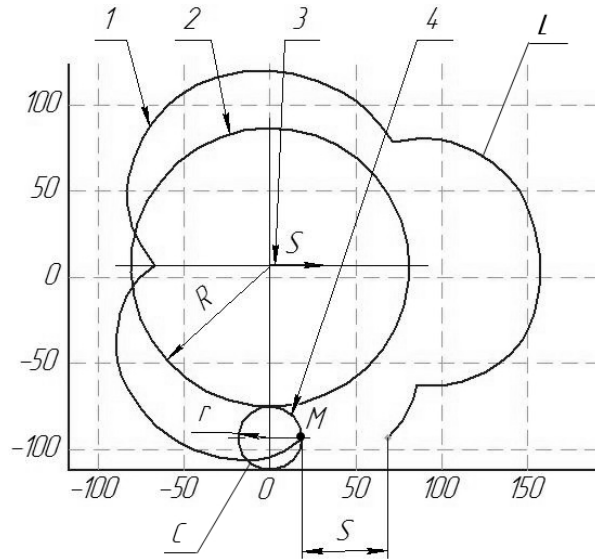


Рис. 9. Траєкторія відносного руху вершини ножа і обробленої поверхні  
 1 – трохоспітрохіда; 2 – напрямне коло; 3 – напрямок руху напрямного круга; 4 – твірний круг

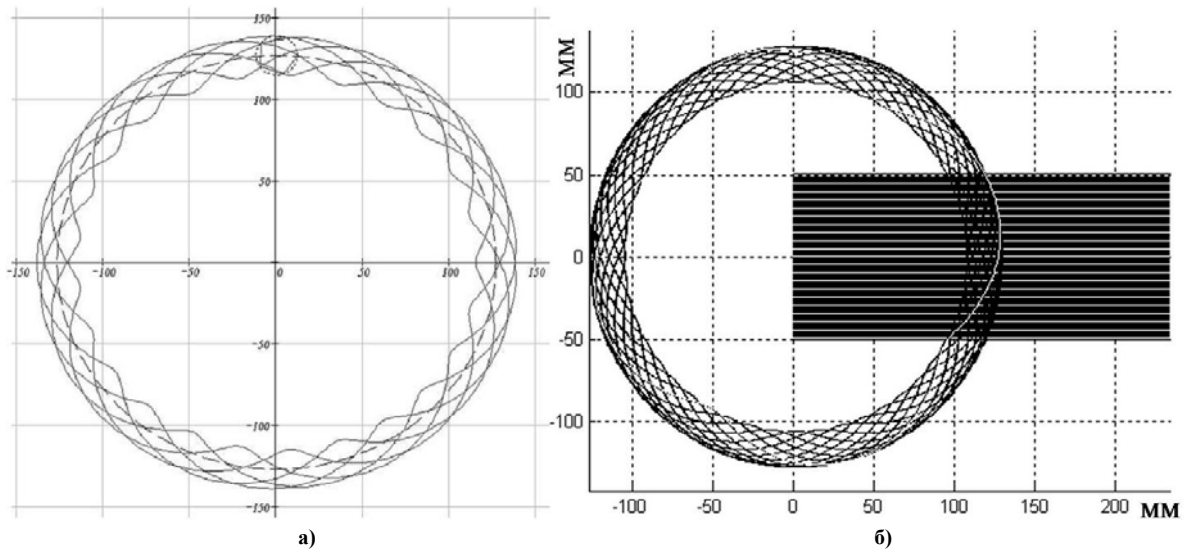


Рис. 10. Траєкторії рухів вершин формоутворюючого елемента, закріпленого в одній втулці-шпинделі (а) і вершин шести формоутворюючих елементів (б)

Варіювання окремими параметрами (кількістю формоутворюючих елементів, кількістю у кожному з

них різальних ножів, передаточним числом і величиною подачі на оберт інструменту) надає можливість створювати оптимальні умови процесу обробки високої продуктивності, а також суттєво підвищити стійкість інструменту.

Проведені лабораторні випробування дослідного зразка інструменту підтвердили задекларовані позитивні параметри процесу обробки. Дослідний зразок має наступні конструктивні елементи:  $i=5:1$ ;  $z=5$ , діаметр фрез 25 мм, кількість фрез – 6, діаметр розташування фрез 233,53 мм. Випробування проводилось на режимах:  $n=500$  об/хв,  $S=0,5$  мм/об,  $t=2$  мм. Оброблювана заготовка – сталь 45 загартована до HRC 48–55, оброблювана поверхня –  $180 \times 250$  мм.

Одним з проблемних питань заміни шліфування лезовою обробкою залишається можливість виготовлення точних деталей з нежорстких заготовок. При традиційній лезовій обробці виникають значні сили різання порівняно з шліфуванням, особливо при «виходжуванні» поверхні без зміщення абразивного інструменту на глибину різання. При лезовій обробці в разі, коли незначна глибина різання, співрозмірна з радіусом округлення леза, складова  $R_y$  сили різання суттєво збільшується, що призводить до пружної деформації оброблюваної заготовки, і як наслідок, до утворення опуклості обробленої поверхні. Збільшенню  $R_y$  також сприяє застосування різальних елементів з малими головними кутами в плані  $\phi$ .

Теоретичні і експериментальні дослідження впливів зміни головного кута в плані на процес обробки як при токарній, так і при фрезерній обробці, дозволив розробити новий спосіб обробки деталей з нежорстких заготовок [13, 14]. Головною ознакою способу є застосування різальних елементів з головними кутами в плані  $\phi$  більшими  $90^\circ$ , які визначаються в залежності від режимів обробки, кута сходу стружки та діючих сил різання. Збільшення глибини різання при цьому грає роль стабілізуючого фактора.

### Висновки

Запропоновані способи обробки плоских поверхонь деталей, розроблені на основі кінематичного перетворення основних рухів і геометрії формоутворюючих елементів, при фрезеруванні дозволили отримати параметри поверхонь ( $Ra\ 0.6 \div 1.9$ ), що підтверджують можливість заміни шліфування на лезову обробку.

На кафедрі «Металорізальні верстати і системи» ЖДТУ розроблені і продовжуються розроблятися інші нові способи лезової обробки плоских поверхонь деталей та їх інструментальне забезпечення з використанням надтвердих матеріалів, які спроможні замінити обробку шліфуванням.

### Література

1. Технологические особенности механической обработки инструментами из поликристаллических сверхтвердых материалов / [Захаренко П.В., Волкогон В.М., Бочко А.В. и др.] ; под ред. Г.Г. Карюка ; АН УССР. Ин-т проблем материаловедения им. И.Н.Францевича. – К. Наук. думка, 1991 – 288с.
2. Армарего И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армарего, Р.Х. Браун. – М. : Машиностроение, 1977 – 325 с.
3. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : [монография в 6 т.] / Под общей ред. Н.В. Новикова. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля. ИПЦ «АЛКОН». Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С.А. Клименко, – 2006. – Т. 5. – 316 с.
4. Старков В.К. Обработка резанием. Управление точностью и качеством в автоматизированном производстве / Старков В.К. – М. : Машиностроение, 1989 – 296 с.
5. Высокопроизводительные инструменты из гексанида – Р / [Карюк Г.Г., Бочко А.В., Моисеенко О.Н., Сидоренко В.К.] – К. : Наукова думка, 1986 – 136 с.
6. Лещинер Я.А. Лезвийные инструменты из сверхтвердых материалов / Лещинер Я.А., Свиринский Р.М., Ильин В.В. – К. : Техніка, 1981 – 120 с.
7. Зубарь В.П. Особенности применения лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов / В.П. Зубарь // Современные технологии в машиностроении.– Харьков. НТУ «ХПУ», 2006. – Т. 1. – С. 99 – 115.
8. Мельничук П.П. Визначення і аналіз факторів, стримуючих широке впровадження торцевого фрезерування інструментом з надтвердих матеріалів / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Збірник наукових праць ЖДТУ. – 2010. – Вип. 9. – С. 105–112.
9. Громовий О.А. Розробка чистових косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання : дис. ... к.т.н. : 05.03.01/ Громовий Олексій Андрійович. – Житомир, 2002. – 172 с.
10. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь : дис. ... д.т.н. : 05.03.01/ Мельничук Петро Петрович. – Житомир, 2002. – 395 с.
11. Лоев В.Ю. Удосконалення фінішної обробки плоских поверхонь деталей комбінуванням різання з поверхневим пластичним деформуванням : дис. ... к.т.н. : 05.03.01 / Лоев Володимир Юхимович. – Житомир. – 2005. – 199 с.
12. Пат. 84478 України, МПК(2006) B23C3/00 Спосіб плоского фрезерування торцевими фрезами / Лоев В.Ю., Мельничук П.П., Салогуб Є.В., заявник і володар патенту Житомирський державний технологічний університет. - № а200700041, заявл. 02.01.2007, опубл. 27.10.2008. Бюл. №20.
13. Мельничук П.П. Спосіб обробки різанням нежорстких деталей/ П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев,



О.М. Кравчук// Сборник научных работ - Харьков. НТУ «ХПИ», 2010.

14. Пат. 93641 України, МПК (2011.01) В23Р13/00 Спосіб обробки різанням нежорстких деталей / Лоев В.Ю., Мельничук П.П., Кравчук О.М. ; заявник і володар патенту Житомирський державний технологічний університет. – № а201006195 ; заявл. 21.05.2010 ; опубл. 25.02.2011, Бюл. № 4.

#### References

1. Technologicheskie osobennosti mexanicheskoy obrabotki instrumentami iz polikristallicheskix sverxtverdyx materialov/ [Zaxarenko P.V., Volkogon V.M., Bochko A.V. i dr.] pod red. G.G. Karyuka; AN USSR. In-t problem materialovedeniya im. I.N.Franczevicha. – K. Nauk. dumka, 1991 – 288s.
2. Armarego I.Dzh.A. Obrabotka metallov rezaniem/ I.Dzh.A. Armarego, R.H.Braun. – M. Mashinostroenie, 1977 – 325s. (Perevod s anglijskogo. Perevodchik k.t.n. V.A.Pastunov).
3. Sverxtverdye materialy. Poluchenie i primenenie. Monografiya v 6 tomah/ Pod obshhey red. N.V.Novikova. – Kiev. ISM im. V.N.Bakulya. IPCZ «ALKON». Tom 5. Obrabotka materialov lezviynym instrumentom:/ Pod. red. S.A.Klimenko, – 2006. – 316s.
4. Starkov V.K. Obrabotka rezaniem. Upravlenie tochnostyu i kachestvom v avtomatizirovannom proizvodstve/ Starkov V.K. – M. Mashinostroenie, 1989 – 296 s.
5. Vysokoproizvoditelnye instrumenty iz geksanita – R/[Karyuk G.G., Bochko A.V., Moiseenko O.N., Sidorenko V.K.] – K. Naukova dumka, 1986 – 136s.
6. Leshhiner Ya.A. Lezviynye instrumenty iz sverxtverdyx materialov/ Leshhiner Ya.A., Svirinskij R.M., Ilin V.V. – K. Tekhnika, 1981 – 120 s.
7. Zubar V.P. Osobennosti primeneniya lezviynogo instrumenta iz sverxtverdyx materialov / V.P. Zubar// Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii. Tom 1. – Xarkiv. NTU «XPU», 2006. s. 99 – 115.
8. Melnychuk P.P., Loiev V.Yu. Vznachennja i analiz faktoriv, strymuiuchykh shyroke vprovadzhenni tortsevogo frezeruvannya instrumentom z nadtverdyh materialiv./ P.P. Melnychuk, V.Yu. Loiev// Protsesy mekhanichnoi obrobky v mashinobuduvanni. Zbirnyk naukovykh prats ZhDTU, - 2010. – Vyp.9. – s.105-112.
9. Hromovi O.A. Rozrobka chystovykh kosokutnykh tortsevnykh frez z kombinovanyymi skhemamy rizannya: Dys...k.t.n.: 05.03.01/ Hromovi Oleksii Andriiovych. – Zhytomyr, 2002. – 172 s.
10. Melnychuk P.P. Naukovi osnovy chystovogo tortsevogo frezeruvannya ploskykh poverkhon: Dys...d.t.n.: 05.03.01/ Melnychuk Petro Petrovych. – Zhytomyr, 2002. – 395 s.
11. Loiev V.Yu. Udoskonalennya finishnoi obrobky ploskykh poverkhon detalei kombinuvannyam rizannya z poverkhnevym plastychnym deformuvannyam: Dys...k.t.n.: 05.03.01/Loiev Volodymyr Yukhymovych. – Zhytomyr, - 2005. – 199 s.
12. Pat. 84478 Ukrainy, MPK(2006) V23S3/00 Sposib ploskogo frezeruvannya tortsevymy frezamy / Loiev V.Yu., Melnychuk P.P., Salogub E.V., zayavnyk i volodar patentu Zhytomyrskiy derzhavnyi tekhnologichnyi universytet. - № а200700041, zayavl. 02.01.2007, opubl. 27.10.2008. Byul. №20.
13. Melnychuk P.P. Sposib obrobky rizannyam nezhorstkykh detalei/ P.P. Melnychuk, V.Yu. Loiev, O.M. Kravchuk// Sbornik nauchnyh rabot - Kharkiv. NTU «HP», 2010.
14. Pat. 93641 Ukrainy, MPK (2011.01) V23R13/00 Sposib obrobky rizannyam nezhorstkih detaley/ Loiev V.Yu., Melnichuk P.P., Kravchuk O.M., zayavnyk i volodar patentu Zhytomyrskii Derzhavnyi tekhnologichnyi universytet. - № а201006195, zayavl. 21.05.2010, opubl. 25.02.2011. Byul.№4.

Рецензія/Peer review : 28.4.2014 р.

Надрукована/Printed : 16.5.2014 р.

Рецензент: Полонський Л.Г., д.т.н., проф.завідувач кафедри «Технологія машинобудування» ЖДТУ