

29. *Малыгин В. И.* Модель напряженно-деформированного состояния режущего элемента сборного инструмента / В. И. Малыгин, Н. В. Лобанов // Вестн. машиностроения. – 2000. – № 2. – С. 22 – 26.

30. *Прочность* твердосплавных пластин для черновой обработки жаропрочных сплавов / М. Ю. Левин [и др.] // Станки и инструмент. – 1990. – № 12. – С. 30–31.

31. *Гречишников В. А.* Исследование деформированного состояния сборного режущего элемента методом конечных элементов / В. А. Гречишников, С. В. Лукина, А. И. Веселов // Конструкторско-технологическая информатика 2000: материалы IV междунар. конгр., Москва, 2000 г. / МГТУ. – М., 2000. – Т. 1. – С. 158–160.

32. *Демкин Н. Б.* Фактическая площадь касания твердых поверхностей / Н. Б. Демкин. – М.: АН СССР, 1962. – 110 с.

33. *Михайлов М. И.* Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2008. – 339 с.

УДК 621.623

**І.О. Подзолкін**, магістрант

**А.П. Киянець**, магістрант

**Д.В. Кальченко**, студент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОХПОВОДКОВОГО ДВОБІЧНОГО ФРИКЦІЙНОГО ПРИВОДУ ДЕТАЛІ ПРИ КРУГЛОМУ ШЛІФУВАННІ СТУПІНЧАСТИХ ВАЛІВ**

**И.А. Подзолкин**, магистрант

**А.П. Киянец**, магистрант

**Д.В. Кальченко**, студент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОХПОВОДКОВОГО ДВУСТОРОННЕГО ФРИКЦИОННОГО ПРИВОДА ДЕТАЛИ ПРИ КРУГЛОМ ШЛИФОВАНИИ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ**

**Ivan Podzolkin**, Master's Degree student

**Alina Kyianets**, Master's Degree student

**Dmytro Kalchenko**, student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

### **THE RESEARCH OF TWO LEASH DOUBLE-SIDED FRICTION OVER DETAILS AT THE ROUND GRINDING OF STEP SHAFTS**

*У сучасному машинобудуванні, верстатобудуванні та автомобілебудуванні широко використовуються деталі з високоточними циліндричними поверхнями, остаточно якість яких визначається операціями круглого шліфування. Поводкові пристрої відомих фірм у верстатобудуванні мають складні конструктивні параметри та складність оброблення заготовки за один установ. У роботі досліджено та сконструйовано двохповодковий двобічний фрикційний привод деталі при круглому шліфуванні ступінчастих валів, за рахунок якого можливе оброблення заготовки за один установ, що суттєво впливає на точність та продуктивність процесу шліфування. Наведено розрахунок з використанням ЕОМ питомих сил та моментів шліфування з врахування сили тертя приводу.*

**Ключові слова:** вал, шліфування, поводковий пристрій, сила.

*В современном машиностроении, станкостроении и автомобилестроении широко используются детали с высокоточными цилиндрическими поверхностями, финишное качество которых определяется операциями круглого шлифования. Поводковые устройства известных фирм в станкостроении имеют сложные конструктивные параметры и сложность обработки заготовки за один установ. В работе исследован и сконструирован двухповодковый двухсторонний фрикционный привод детали при круглом шлифовании ступенчатых валов за счёт которого возможна обработка заготовки за один установ, что существенно влияет на точность и производительность процесса шлифования. Приведён расчёт с использованием ЭВМ удельных сил и моментов шлифования с учетом силы трения привода.*

**Ключевые слова:** вал, шлифование, поводковое устройство, сила.

*In modern engineering, machine tools and automotive parts are widely used with high-precision cylindrical surfaces, the final quality is determined cylindrical grinding operations. Leash device known companies in the machine tool industry have complex design parameters and the complexity of a workpiece in a single setup. The paper researched and designed of*

*two leash double-sided friction details in cylindrical grinding stepped shafts through which the workpiece can be machined in a single setup, which significantly affect the accuracy and performance of the grinding process. The calculation using a computer specific grinding forces and moments based on the friction force of the account.*

*Key words: a shaft, the grinding, the leash device, the force.*

**Постановка проблеми.** Як відомо, у сучасному машинобудуванні, верстатобудуванні та автомобілебудуванні широко використовуються деталі з високоточними циліндричними поверхнями, остаточно якість яких визначається операціями круглого шліфування.

Під час виготовлення широкого класу деталей машин, необхідно, з одного боку, втримувати високі вимоги щодо якості отримання геометричних розмірів, шорсткості і фізико-механічного стану поверхневого шару, з іншого боку, підвищувати продуктивність їх випуску в зв'язку з вимогами ринку.

Отримання високої якості виробів з високою продуктивністю і гнучкістю виробництва можливе з використанням універсальних технологій круглого шліфування на верстатах з ЧПК та допоміжного спеціального обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо декілька способів передачі крутного моменту від приводу обертання до деталі при круглому шліфуванні ступінчастих валів, а саме [1]:

- а) поводкові механізми зовнішнього контакту з деталлю;
- б) поводкові механізми внутрішнього контакту з деталлю.

Однак найбільшого застосування знайшли поводкові механізми внутрішнього контакту з деталлю [2; 3; 4; 5; 6].

Зокрема, в роботі [2] автором приведено зовнішній вигляд поводкового механізму внутрішнього контакту з деталлю. Розглянуто поводкові пристрої відомих фірм у галузі верстатобудування, такі як: верстати Quickpoint фірми Junker (Німеччина), Elektronik (Росія), ШліФЕРСТ (Україна).

Щоб загалом охарактеризувати поводкові пристрої цих виробників, слід звернути увагу на їх конструкцію, яка складна за своїми конструктивними параметрами.

Задача розроблення поводкових механізмів внутрішнього контакту з деталлю залишається актуальною на сьогодні і потребує подальшого розвитку.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Складність оброблення заготовки за один установ.

**Мета статті.** Головною метою роботи є дослідження двохповодкового двобічного фрикційного приводу деталі при круглому шліфуванні за один установ ступінчастих валів, розрахунок питомих сил та моментів шліфування з врахуванням сили тертя приводу.

**Виклад основного матеріалу.** В цій роботі досліджений новий поводковий пристрій (позитивний відгук на видачу деклараційного патенту на корисну модель № u201308221 повідковий пристрій, винахідники: В.І. Кальченко, Д.В. Кальченко, А.П. Киянець, І.О. Подзолкін, дата подання 01.07.2013), який зображений на рис. 1, 2.

Пристрій працює таким чином, заготовку 5 встановлюють на призму 6. Базовий торець заготовки переміщують задньою бабкою за рахунок взаємодії шпинделя 2 та фрикційного поводкового пристрою 4 в осьовому напрямку  $Z$  до контакту базових торців заготовки 5 з упорами 7 та 8 у вигляді напівсфер. У результаті цього центри 3, 4 переміщуються у виступи в заготовці 5 (рис. 3).

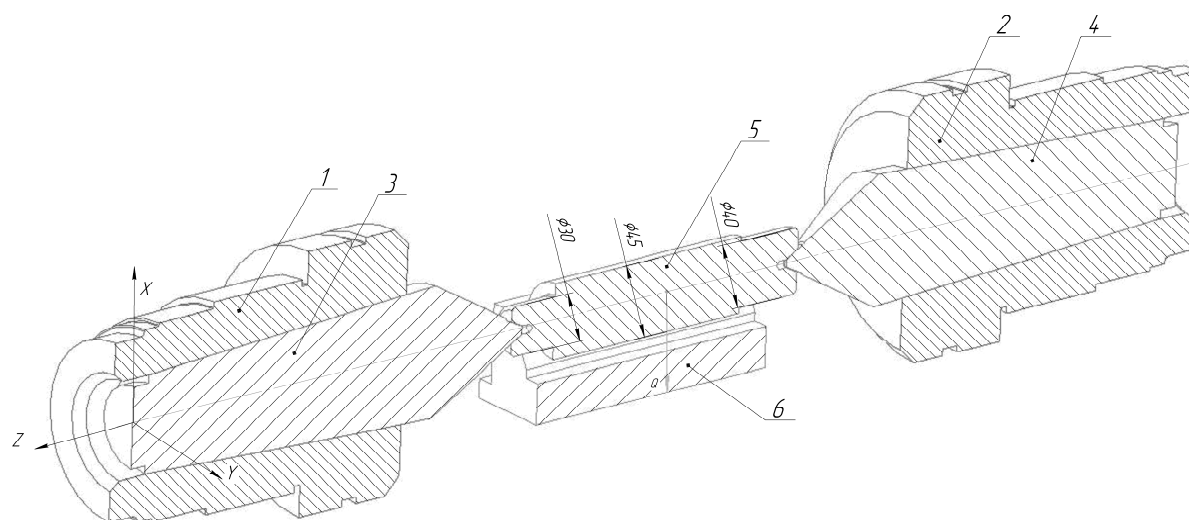


Рис. 1. Конструкція двохповодкового двобічного фрикційного приводу деталі:  
1 – шпindelь передньої бабки, 2 – шпindelь задньої бабки, 3,4 – фрикційні поводкові пристрої передньої та задньої бабок (центри), 5 – деталь, 6 – призма

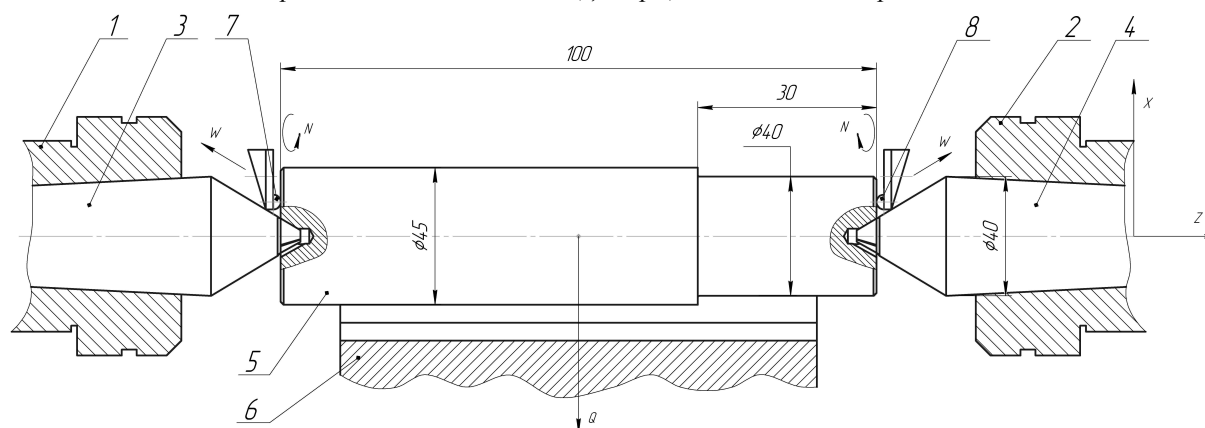


Рис. 2. Схема базування заготовки:  
1 – шпindelь передньої бабки, 2 – шпindelь задньої бабки, 3,4 – фрикційні поводкові пристрої передньої та задньої бабок (центри), 5 – деталь, 6 – призма, 7, 8 – базуючі упори

Після базування заготовки в осьовому напрямку  $Z$  її провертають, а упори 7 та 8 виводять з контакту з базовими торцями у напрямку  $W$  та провертають їх у початкове положення. Після того, як відбувається базування, одночасно з провертанням заготовки 5 призма 6 відводиться з контакту з заготовкою рухом  $T$ , створюючи зазор 0,5 мм. Провертаючись, центри передньої та задньої бабки контактуючи поверхнями, які описуються рівнянням спіралі Архімеда, з виступами в заготовці, створюючи тертя між вищезгаданими поверхнями, і таким чином відбувається базування та центрування заготовки 5 (рис. 4, 5).

Монтаж

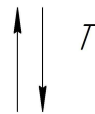
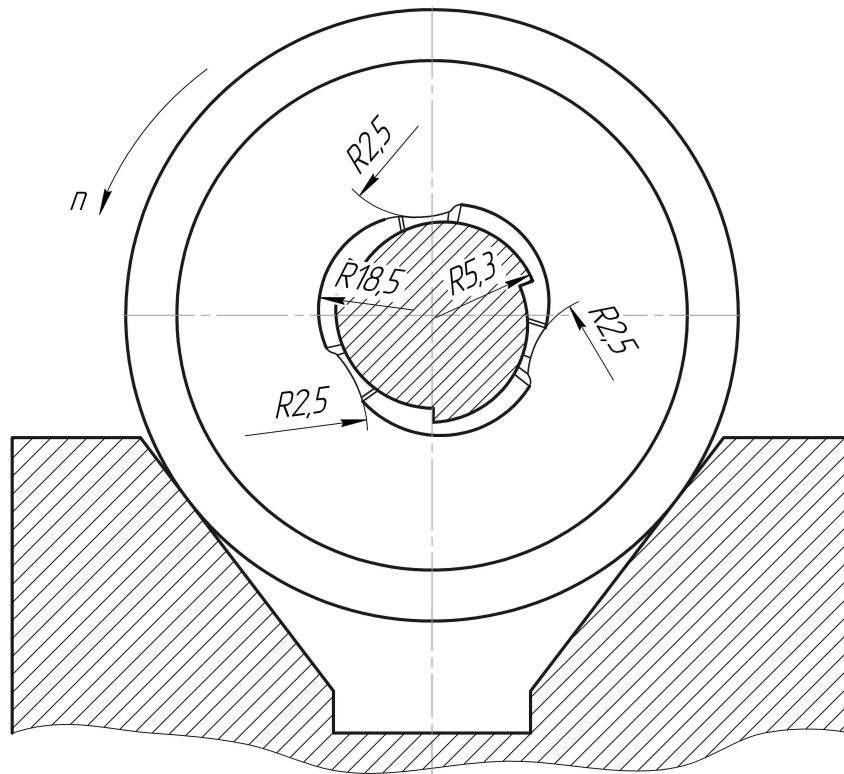


Рис. 3. Монтаж центру в центровому отворі

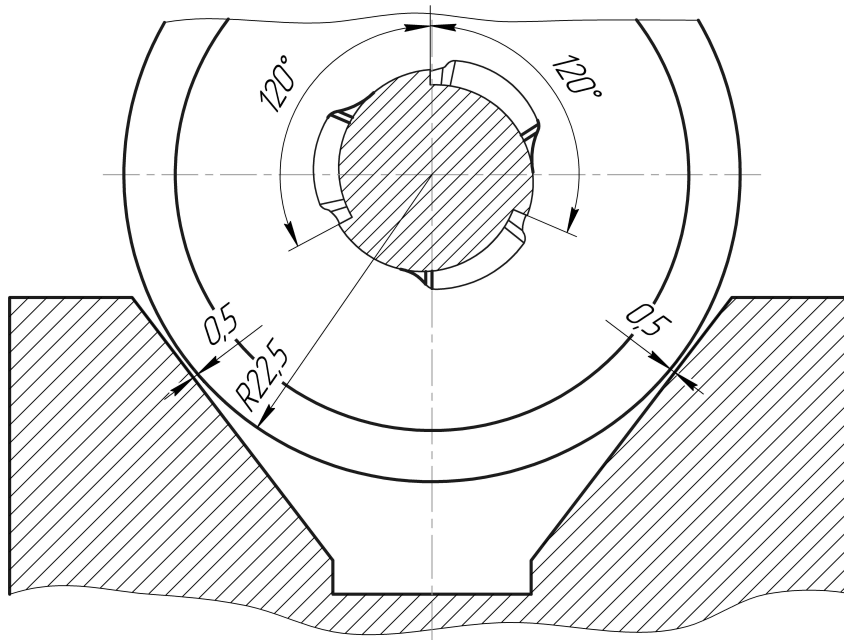


Рис. 4. Центрування заготовки

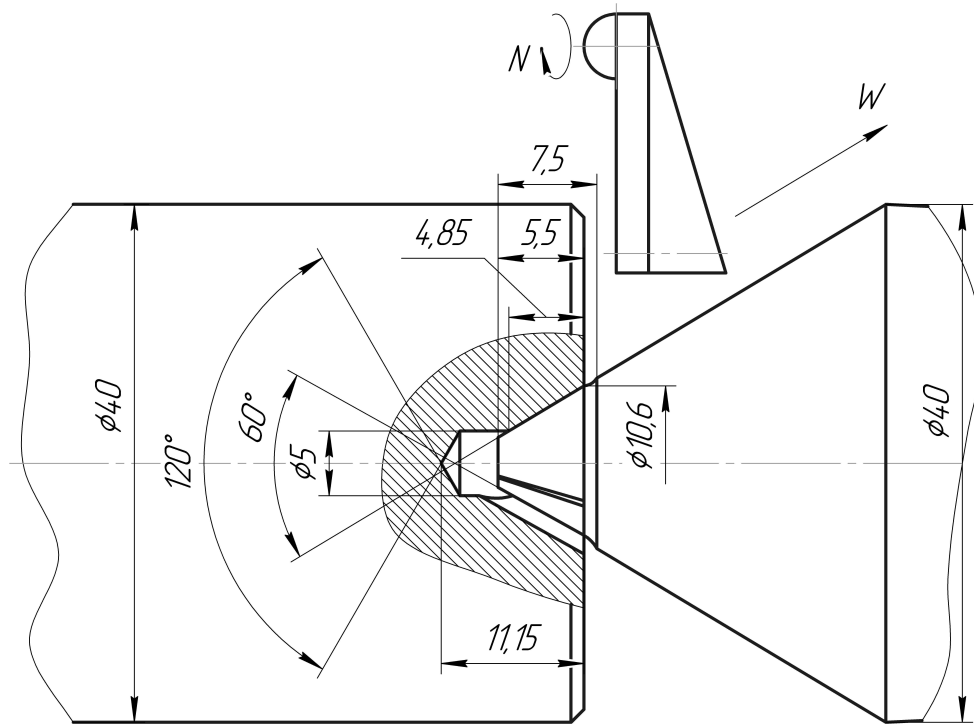


Рис. 5. Схематичне зображення процесу центрування заготовки

Виходячи з вищезгаданого, сили та моменти тертя залежать від таких параметрів: від рівняння спіралі Архімеда, від кута спаду центра, від сили затиску в осьовому напрямку.

Виходячи з третього закону Ньютона, сила  $F_D$  тиск тіла на опору дорівнює по модулю силі  $N$  реакції опори (рис. 6). Отже, максимальна сила тертя пропорційна силі реакції опори. Для модулів цих сил справедливе таке відношення:

$$Fp_i = f_p \cdot N_i, \tag{1}$$

де  $Fp_i$  – сила тертя в  $i$ -тій точці;

$f_p$  – безрозмірний коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт тертя);

$N_i$  – реакція опори в  $i$ -тій.

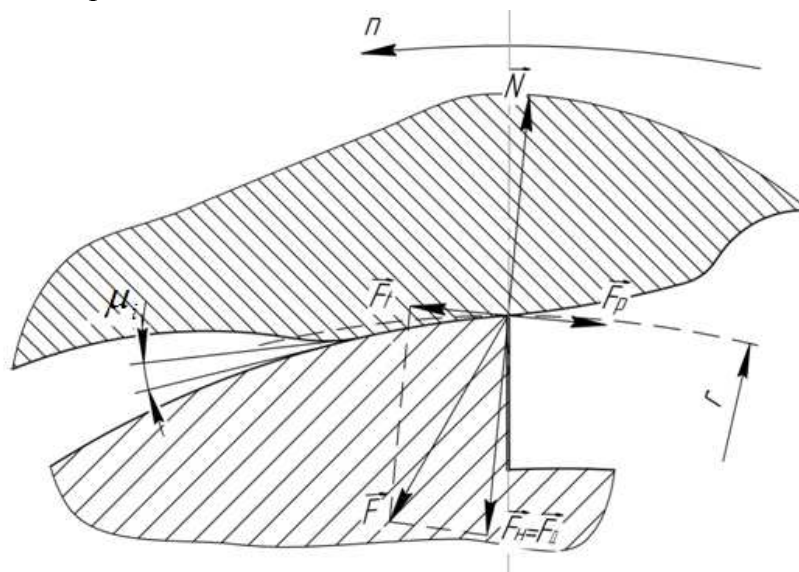


Рис. 6. Схематичне зображення сили тертя залежно від спіралі Архімеда

Рівняння кривої центра описується рівнянням спіралі Архімеда, яке має вигляд (рис. 7):

$$r(\phi_i) = a \cdot \phi_i + 10,6, \tag{2}$$

де  $r(\phi_i)$  – змінний радіус по поверхні центру, мм;

$\phi_i$  – кут повороту змінного радіусу, рад;

$a$  – кутова координата, рад;

10,6 – максимальний діаметр спіралі Архімеда на довжині  $l=5,5$  мм, мм.

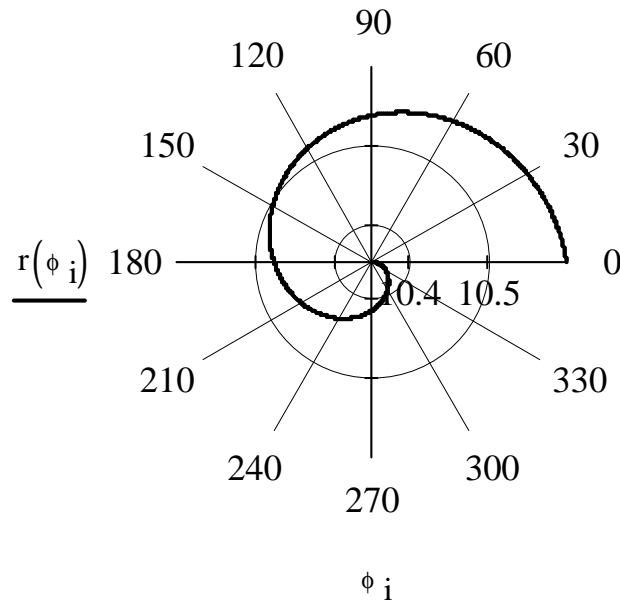


Рис. 7. Спіраль Архімеда

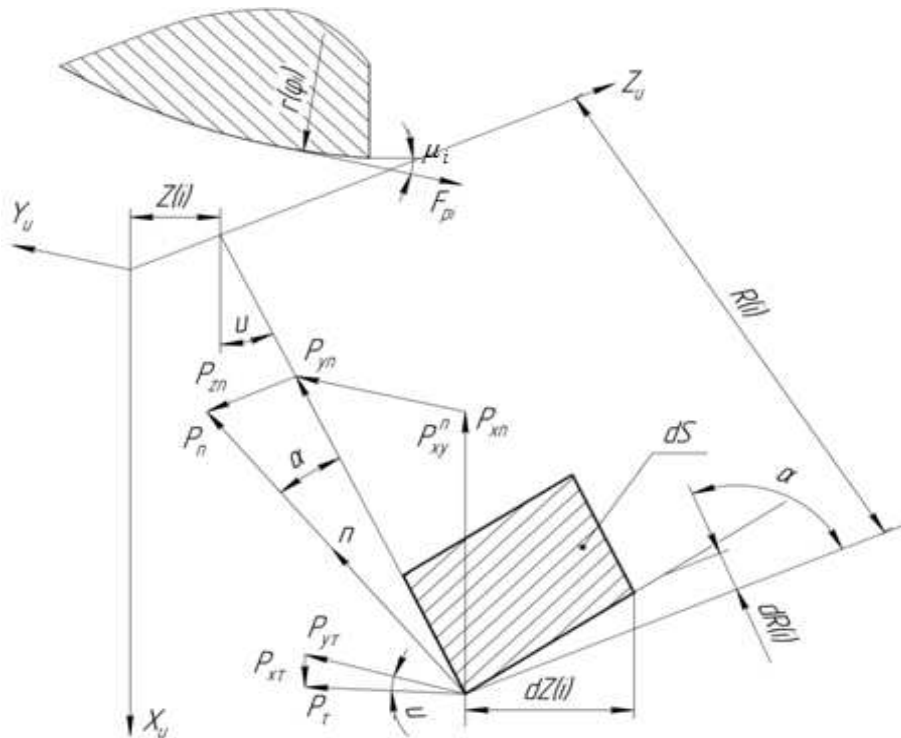


Рис. 8. Розрахункова схема для визначення складових сил та моментів різання під час шліфування орієнтованим інструментом з врахування сили тертя між центром та центровим отвором

У роботах [7; 8; 9] наведено розрахунок для визначення складових сил та моментів різання під час шліфування орієнтованим інструментом, але не було враховано силу тертя між центром та центровим отвором.

Врахувавши тертя приводу деталі в центровому отворі, можна вивести залежності сумарної сили різання  $P$  (рис. 8), яка представлена у вигляді проєкцій на осі координат інструменту  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ , а сумарний момент у вигляді моментів цих сил відносно осей  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ .

Формули для визначення сил різання та моментів для випадку оброблення орієнтованим інструментом з врахуванням сили тертя приводу деталі та (1), (2) мають вигляд:

$$P_{x_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [Pn(u,i) \cdot \cos \alpha \cdot \cos u + (P\tau(u,i) \cdot \sin u - Fp_i)] \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot Nzr(u,i) du ; \quad (3)$$

$$P_{y_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [Pn(u,i) \cdot \cos \alpha \cdot \sin u + (P\tau(u,i) \cdot \cos u - Fp_i)] \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot Nzr(u,i) du ; \quad (4)$$

$$P_{z_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [Pn(u,i)] \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot Nzr(u,i) \cdot \sin \alpha du ; \quad (5)$$

$$M_{ox_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [P\tau(u,i) \cdot Z(i) \cdot Fp_i \cdot Z(i)] \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot Nzr(u,i) \cdot \cos u du ; \quad (6)$$

$$M_{oy_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [P\tau(u,i) \cdot R(i) Fp_i \cdot (r(\varphi_i) + R(i))] \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot Nzr(u,i) \cdot \sin u du ; \quad (7)$$

$$M_{oz_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [P\tau(u,i) \cdot R(i) Fp_i \cdot (r(\varphi_i) + R(i))] \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot Nzr(u,i) du , \quad (8)$$

де  $Pn(u,i)$  – радіальна складова сили мікрорізання;

$P\tau(u,i)$  – тангенційна складова сили різання;

$Z(i)$  – координата вздовж осі обертання інструменту;

$R(i)$  – радіус інструменту в довільній точці;

$\alpha$  – кут нахилу профілю інструмента до його осі;

$Nzr(u,i) du$  – середнє число ріжучих кромки, розташованих на елементі площини  $du$  (розрахунок наведено у роботі [7]);

$Fp_i$  – сила тертя в  $i$ -тій точці;

$r(\varphi_i)$  – змінний радіус по поверхні центру в довільній  $i$ -тій точці;

$i$  – номер точки вздовж профілю інструмента;

$u$  – кутовий параметр, який визначає знаходження  $i$ -ї точки;

$uu1(i)$  – кут входу шліфувального круга в заготовку в  $i$ -тій точці;

$uu2(i)$  – кут виходу шліфувального круга в заготовку в  $i$ -тій точці.

Нормальна до поверхні круга питома складова сили різання з врахуванням сили тертя:

$$P_{ni}(i) = \sqrt{P_{zi}(i)^2 + P_{xi}(i)^2} . \tag{9}$$

Нормальна до поверхні круга питома складова моментів сил різання з врахуванням сили тертя:

$$M_{ni}(i) = \sqrt{M_{zi}(i)^2 + M_{xi}(i)^2} . \tag{10}$$

На основі формул (3)-(10) розроблена програма розрахунку на ЕОМ. Графіки розрахунку наведені на рис. 9-12.

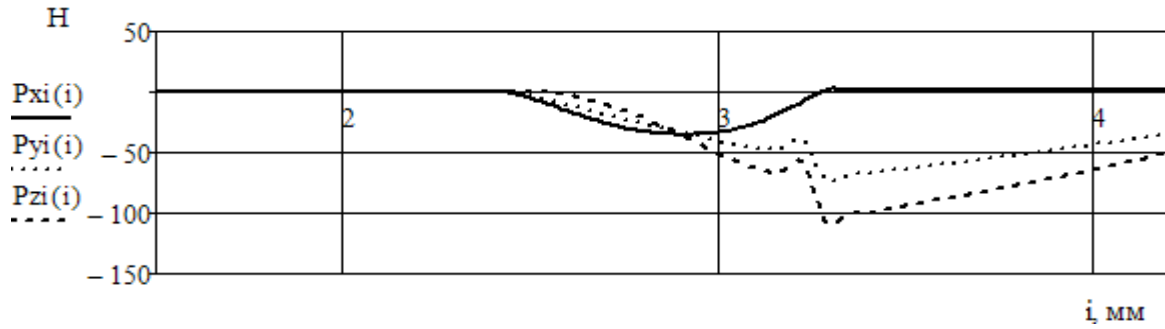


Рис. 9. Питомі складові сил шліфування з врахуванням сили тертя

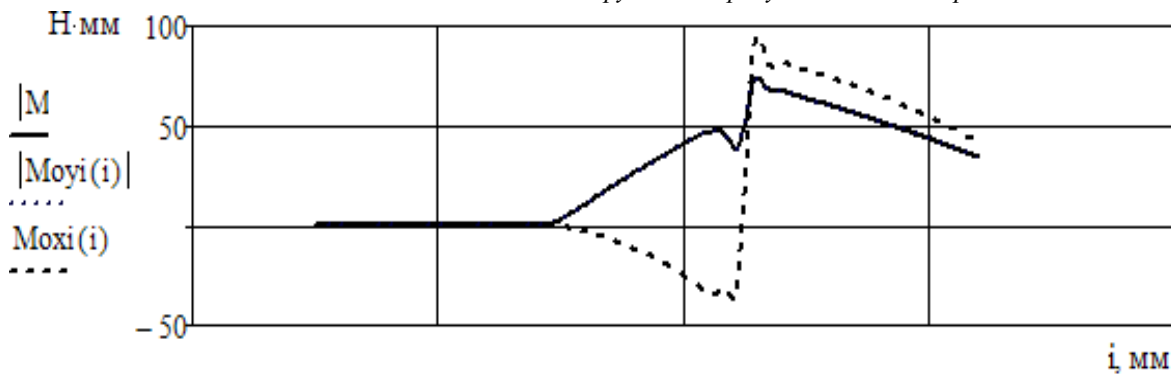


Рис. 10. Питомі складові моментів шліфування з врахуванням сили тертя

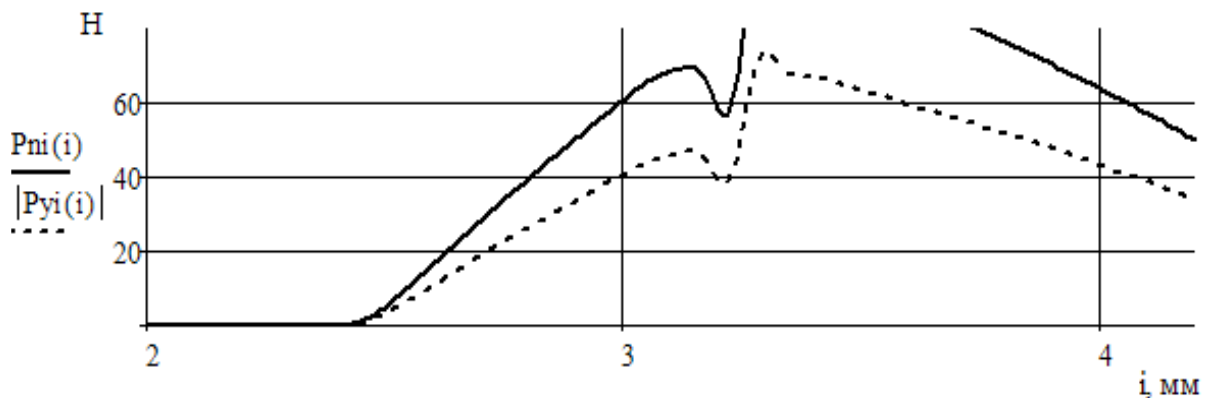


Рис. 11. Нормальна і тангенціальна питомі складові сили різання з врахуванням сили тертя



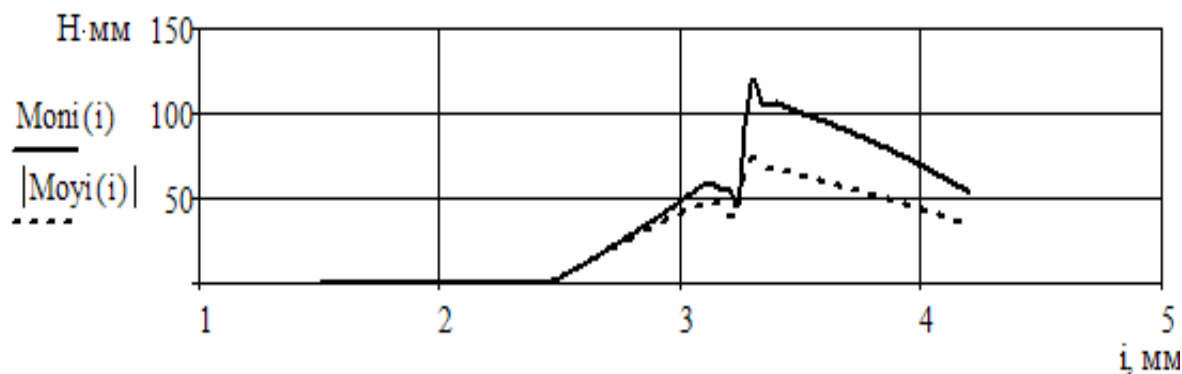


Рис. 12. Нормальна і тангенціальна питоми складові моменти сил різання з врахуванням сили тертя

**Висновки та пропозиції.** Розроблено та досліджено двохповодковий двобічний фрикційний привод деталі при круглому шліфуванні ступінчастих валів. Запропоновано методику розрахунку сил та моментів різання з врахуванням сили тертя між приводом деталі та заготовкою під час шліфування орієнтованим інструментом.

Такий поводковий пристрій дає змогу оброблення заготовки за один установ, що підвищує продуктивність та точність процесу шліфування на верстатах з ЧПК.

#### Список використаних джерел

1. Ансеров М. А. Зажимные приспособления для токарных и круглошлифовальных станков / М. А. Ансеров. – Л. : Машиностроение, 1948. – 180 с.
2. Режим доступу : <http://www.junker-russia.ru/ru/downloadportal/>.
3. А.с. 580062 СССР, МКИ В23В 33/00. Поводковый центр / Л. А. Васильевых, Ю. Л. Апатов. – № 2382440/08 ; заявл. 05.07.76 ; опубл. 15.11.77, Бюл. № 42. – 2 с.
4. А.с. 692700 СССР, МКИ В23В 33/00. Поводковый центр / Л. А. Васильевых, Ю. Л. Апатов. – № 2605594/25-08 ; заявл. 19.04.78 ; опубл. 25.10.79, Бюл. № 39. – 2 с.
5. А.с. 823007 СССР, МКИ В23В 33/00. Поводковый центр / Л. А. Васильевых, Ю. Л. Апатов, В. А. Магазинер. – № 2743724/25-08 ; заявл. 30.03.79 ; опубл. 23.04.81, Бюл. № 15. – 3 с.
6. А.с. 895595 СССР, МКИ В23В 33/00. Поводковый центр / Л. А. Васильевых, Ю. Л. Апатов. – № 2906446/25-08 ; заявл. 07.04.80 ; опубл. 07.01.82, Бюл. № 1. – 3 с.
7. Рудик А. В. Визначення составляющих силы різання при шліфуванні орієнтованим інструментом / А. В. Рудик, В. М. Ключниченко, В. В. Кальченко // Вісник Чернігівського технологічного інституту : збірник – Чернігів : ЧТІ, 1996. – № 1. – С. 99-104.
8. Портман В. Т. Точность металлорежущих станков / В. Т. Портман, Д. Н. Решетов. – М., 1986. – 320 с.
9. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М. : Машиностроение, 1974. – 280 с.