



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **72588** (13) **U**  
(51) МПК  
**B23B 29/03** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

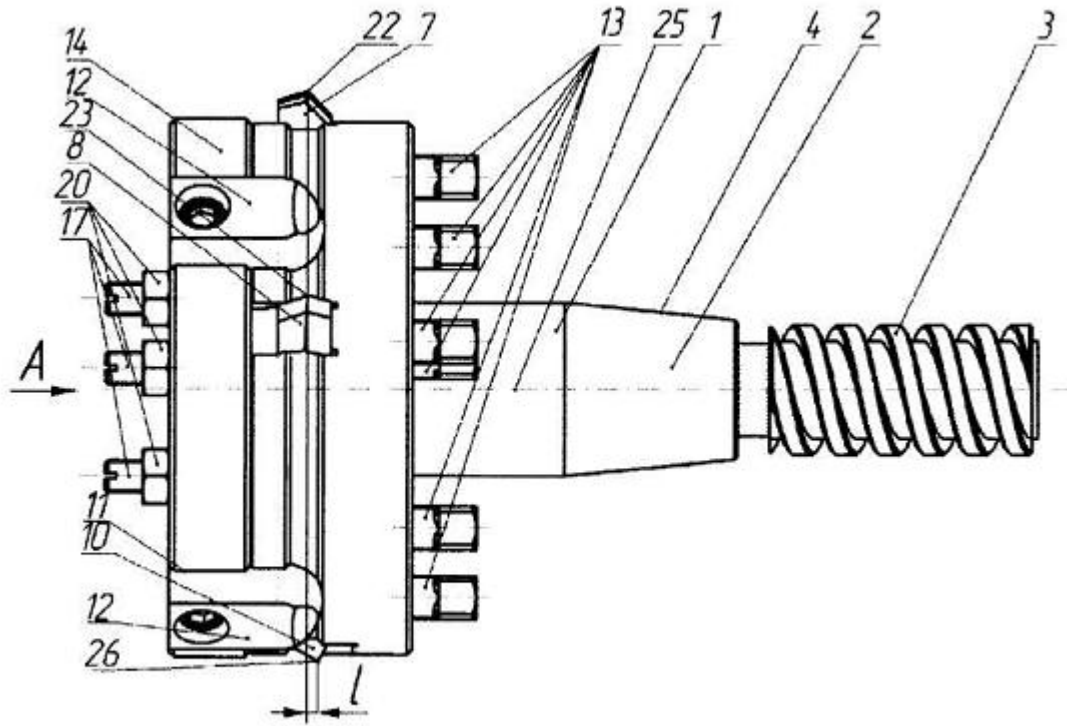
(21) Номер заявки: <b>u 2012 00904</b>	(72) Винахідник(и): <b>Кривий Петро Дмитрович (UA), Крупа Володимир Васильович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>30.01.2012</b>	(73) Власник(и): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>27.08.2012</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.08.2012, Бюл.№ 16</b>	

## (54) РОЗТОЧУВАЛЬНА ГОЛОВКА

### (57) Реферат:

Розточувальна головка, що складається з корпусу, в якому виконані хвостовик з різцю для закріплення розточувальної головки в пристосуванні та центральний отвір для підводу змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР), пружних напрямних, які встановлені в поздовжні пази. В корпусі виконані додатково чотири нерівномірно розміщені по колу радіальні пази, в які встановлені три різці для чистової і один різець для чорнової обробки, і закріплені за допомогою диска, що жорстко з'єднаний з корпусом. Регулювання радіального вильоту різців здійснено за допомогою спеціальних гвинтів з конічними кінцевими поверхнями, що встановлені з можливістю спряження з торцевими скосами різців, та на кожному різці виконані поздовжні пази для підводу ЗОР в зону різання, і головні кути в плані на різцях для чистової обробки, а також допоміжні кути в плані на першому і другому різцях для чистової обробки однакові і рівні відповідно  $\varphi$  і  $\varphi'$ . Допоміжний кут в плані на третьому різці для чистової обробки корегований, а його значення визначається за формулою.

UA 72588 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до механічного оброблення металів різанням і може бути використана для оброблення глибоких отворів циліндрів.

Найближчим технічним рішенням є розточувальна головка для обробки глибоких отворів, що складається з корпусу, на якому виконаний хвостовик з різьєю для закріплення інструменту в пристосуванні та центральний отвір для підводу змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР), пружних напрямних, які встановлені в поздовжні пази (див. пат. 2104827 RU, МПК<sup>6</sup> В23В 29/03. - № 94028997/02; заявл. 12.07.94; опубл. 20.02.98).

Недоліком даної розточувальної головки є її низька продуктивність, через те, що подача на даний інструмент визначається з умови оброблення одним різцем, а не двома, так як другий різець фактично йде по сліду першого. Іншим недоліком даного інструменту є його низька точність через незрівноваженість радіальних складових сил різання, що виникають в процесі оброблення.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення продуктивності оброблення, а також точності розмірів оброблюваних деталей за рахунок використання інструменту, що складається з корпусу, в якому виконані хвостовик з різьєю для закріплення інструменту в пристосуванні та центральний отвір для підводу ЗОР, пружних напрямних, які встановлені в поздовжні пази, причому в корпусі виконані додатково чотири нерівномірно розміщені по колу радіальні пази, в які встановлені три різці для чистової і один різець для чорнової обробки, які закріплені за допомогою диска, що жорстко з'єднаний з корпусом, причому регулювання радіального вильоту різців здійснено за допомогою спеціальних гвинтів з конічними кінцевими поверхнями, що встановлені з можливістю спряження з торцевими скосами різців, та на кожному різці виконані поздовжні пази для підводу ЗОР в зону різання, і головні кути в плані на різцях для чистової обробки, а також допоміжні кути в плані на першому і другому різцях для чистової обробки однакові і рівні відповідно  $\varphi$  і  $\varphi'$ , а допоміжний кут в плані на третьому різці для чистової обробки корегований, а його значення визначається за формулою:

$$\varphi'_{3к} = \text{arcctg} \left( \text{tg} \varphi \cdot \text{ctg} \varphi'^2 - 2 \text{ctg} \varphi \right), \text{ де}$$

$\varphi$  - головний кут в плані на різцях для чистової обробки, град.;

$\varphi'$  - допоміжний кут в плані на першому та другому різцях для чистової обробки, град.;

причому центральні кути між вершинами першого та другого і першого та третього різців для чистової обробки в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі корпусу розточувальної головки визначаються за формулами:

$$\theta_1 = 2\pi \cdot s_2 / s \text{ і } \theta_2 = 2\pi \cdot (s_2 + s_3) / s, \text{ де}$$

$s_2 = H \cdot (\text{ctg} \varphi + \text{ctg} \varphi')$  - величина подачі на другому різці для чистової обробки, мм/різець;

$s = H \cdot \text{tg} \varphi \cdot (\text{ctg} \varphi + \text{ctg} \varphi')^2$  - величина загальної подачі розточувальної головки, мм/об;

$s_3 = H \cdot (\text{tg} \varphi \cdot \text{ctg} \varphi'^2 - \text{ctg} \varphi)$  - величина подачі на третьому різці для чистової обробки, мм/різець;

$H \approx R_z$  - висота нерівностей профілю за десятьма точками, мкм;

причому різець для чорнової обробки встановлено в місці сходження радіальних складових сил різання, створених різцями для чистової обробки, а центральний кут між вершиною першого різця для чистової обробки та вершиною різця для чорнової обробки в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі корпусу розточувальної головки визначається за формулою:

$$\theta_3 = \pi + \arcsin \frac{\eta \cdot \sin \left( \arcsin \left( s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)}{\sqrt{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos \left( \arcsin \left( s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)}}, \text{ де}$$

$$\eta = s_2^{2y} \cdot K_{\varphi_2}^2 + s_3^{2y} \cdot K_{\varphi_3}^2 + 2s_2^y s_3^y K_{\varphi_2} K_{\varphi_3} \cdot \cos \theta_2;$$

$K_{\varphi_1}$ ,  $K_{\varphi_2}$ ,  $K_{\varphi_3}$  - поправочні коефіцієнти на головні кути в плані відповідно на першому, другому та третьому різцях для чистової обробки;

$s_1$ ,  $s_2$ , та  $s_3$  - величини подач відповідно першому, другому та третьому різцях для чистової обробки, мм/різець;

$\theta_1$  і  $\theta_2$  - центральні кути, що визначають кутові положення другого і третього різців для чистової відносно першого відповідно, град.;

y - показник степеня, що враховує вплив подачі на радіальну складову сили різання, причому вершина різця для чорнової обробки зміщена відносно вершин різців для чистової обробки, що знаходяться в одній площині, перпендикулярній до поздовжньої осі корпусу розточувальної головки, в напрямку подачі на величину l, а його радіальний виліт менший від радіального вильоту різців для чистової обробки на величину t, що визначається з умови зрівноваження радіальних складових сил різання на різцях для чистової та різці для чорнової обробки за формулою:

$$t = \frac{z}{2} \left( \frac{s^y \cdot K_{\varphi_4}}{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos \left( \arcsin \left( s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)} \right)^{1/x}, \text{ де}$$

z - загальний припуск на оброблення;

x - показник степеня, який враховує вплив глибини різання на радіальну складову сили різання;

$K_{\varphi_4}$  - поправочний коефіцієнт на головний кут в плані різця для чорнової обробки.

Суть корисної моделі пояснюється графічними матеріалами, виконаними на фіг. 1-10. Зокрема на фіг. 1 поданий загальний вигляд розточувальної головки; на фіг. 2 - вид А на фіг. 1; на фіг. 3 - розріз по Б-Б на фіг. 2; на фіг. 4 - розріз по В-В на фіг. 3; на фіг. 5 перший та другий різці для чистової обробки; на фіг. 6 - третій різець для чистової обробки; на фіг. 7 - різець для чорнової обробки; на фіг. 8 - схема розміщення різців для чистової обробки та формування шорсткості обробленої поверхні; на фіг. 9 - схема кутового розміщення різця для чорнової обробки та різців для чистової обробки; на фіг. 10 - розрахункова схема векторів радіальних складових сил різання від різця для чорнової обробки та різців для чистової обробки.

Розточувальна головка складається з корпусу 1 (фіг. 1, 3), на одному з кінців якого виконаний хвостовик 2 з різцю 3 та конусною частиною 4, що служать для співвісного з'єднання розточувальної головки з пристосуванням (на фіг. не показано). В корпусі 1 знаходиться центральний отвір 5, для підводу ЗОР в зону різання. На другому кінці корпусу 1 виконані радіальні пази 6, в які встановлюються три різці для чистової обробки 7, 8, 9 та один різець для чорнової обробки 10 (фіг. 1, 2, 3, 7), а також поздовжні пази 11, в які встановлюються напрямні 12. Різці встановлені з можливістю фіксування притискними гвинтами 13 до диска 14, який жорстко з'єднаний з корпусом 1 гвинтами 15 та штифтами 16. Регулювання радіального вильоту різців здійснено за допомогою спеціальних гвинтів 17 з конічними кінцевими поверхнями 18, що встановлені з можливістю спряження з торцевими скосами 19 різців. Спеціальні гвинти 17 встановлені з можливістю фіксування за допомогою контргайок 20.

На кожному різці 7, 8, 9, 10 виконані пази 21 для можливості підводу ЗОР безпосередньо в зону різання. Головні кути в плані на різцях для чистової обробки 7, 8, 9 та допоміжні кути в плані на першому 7 та другому 8 різцях для чистової обробки однакові і рівні відповідно  $\varphi$  і  $\varphi'$ , а допоміжний кут в плані на третьому різці для чистової обробки 9 корегований, причому його значення визначається за формулою:

$$\varphi_{3к}' = \text{arcctg} \left( \text{tg} \varphi \cdot \text{ctg} \varphi'^2 - 2 \text{ctg} \varphi \right), \text{ де}$$

$\varphi$  - головний кут в плані на різцях для чистової обробки, град.;

$\varphi'$  - допоміжний кут в плані на першому та другому різцях для чистової обробки, град.;

Центральні кути між вершиною 22 першого 7 та вершиною 23 другого 8 і вершиною 22 першого 7 та вершиною 24 третього 9 різців для чистової обробки в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі 25 корпусу розточувальної головки визначаються за формулами:

$$\theta_1 = 2\pi \cdot s_2 / s \text{ і } \theta_2 = 2\pi \cdot (s_2 + s_3) / s, \text{ де}$$

$$s_2 = H \cdot (\text{ctg} \varphi + \text{ctg} \varphi') - \text{величина подачі на другому чистовому різці, мм/різець};$$

$$s = H \cdot \text{tg} \varphi \cdot (\text{ctg} \varphi + \text{ctg} \varphi')^2 - \text{величина загальної подачі інструменту, мм/об};$$

$$s_3 = H \cdot (\text{tg} \varphi \cdot \text{ctg} \varphi'^2 - \text{ctg} \varphi) - \text{величина подачі на третьому чистовому різці, мм/різець};$$

$H \approx R_z$  - висота нерівностей профілю за десятьма точками, мкм.

Різець для чорнової обробки 10 встановлюється в місці сходження радіальних складових сил різання, створених різцями для чистової обробки 7, 8, 9. Центральний кут між вершиною 22 першого різця для чорнової обробки 7 та вершиною 26 різця для чорнової обробки 10 в

площині, перпендикулярній до поздовжньої осі 25 корпусу розточувальної головки визначається за формулою:

$$\theta_3 = \pi + \arcsin \frac{\eta \cdot \sin \left( \arcsin \left( s_2 \cdot K_{\varphi_2} \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)}{\sqrt{s_1^2 \cdot K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1 \cdot K_{\varphi_1} \cdot \sqrt{\eta} \cos \left( \arcsin \left( s_2 \cdot K_{\varphi_2} \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)}}, \text{ де}$$

$$\eta = s_2^{2y} \cdot K_{\varphi_2}^2 + s_3^{2y} \cdot K_{\varphi_3}^2 + 2s_2 \cdot s_3 \cdot K_{\varphi_2} \cdot K_{\varphi_3} \cdot \cos \theta_2;$$

5  $K_{\varphi_1}$ ,  $K_{\varphi_2}$ ,  $K_{\varphi_3}$  - поправочні коефіцієнти на головні кути в плані відповідно на першому 7, другому 8 та третьому 9 різцях для чистової обробки;

$s_1$ ,  $s_2$ , та  $s_3$  - величина подач відповідно на першому 7, другому 8 та третьому 9 різцях для чистової обробки, мм/різець;

$\theta_1$  і  $\theta_2$  - центральні кути, що визначають кутові положення другого 8 і третього 9 різців для чистової обробки відносно першого 7 відповідно, град;

$y$  - показник степеня, що враховує вплив подачі на радіальну складову сили різання.

Вершина 26 різця для чорнової обробки 10 зміщена відносно вершин 22, 23, 24 різців для чистової обробки 7, 8, 9, що знаходяться в одній площині, перпендикулярній до поздовжньої осі 25 корпусу розточувальної головки, в напрямку подачі на величину  $l$ , а його радіальний виліт менший від радіального вильоту різців для чистової обробки 7, 8, 9 на величину  $t$ , що визначається з умови зрівноваження радіальних складових сил різання на різцях для чистової 7, 8, 9 та різці для чорнової 10 обробки за формулою:

$$t = \frac{z}{2} \left( \frac{s^y \cdot K_{\varphi_4}}{s_1^2 \cdot K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1 \cdot K_{\varphi_1} \cdot \sqrt{\eta} \cos \left( \arcsin \left( s_2 \cdot K_{\varphi_2} \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)} \right)^{1/x}, \text{ де}$$

$z$  - загальний припуск на оброблення;

20  $x$  - показник степеня, який враховує вплив глибини різання на радіальну складову сили різання.

$K_{\varphi_4}$  - поправочний коефіцієнт на головний кут в плані різця для чорнової обробки.

Розточувальна головка працює наступним чином. До початку обробки заготовку у вигляді труби надівають на оправку, що з'єднана з пристроєм осьової подачі верстату. За допомогою спеціальних гвинтів 17 кожен різець 7, 8, 9, 10 виставляють на необхідний розмір. Положення спеціальних гвинтів фіксують за допомогою контргайок 20. Різці притискають до диска 14 притискними гвинтами 13, фіксуючи при цьому їх радіальний виліт. На кінець оправки, закріплюють розточувальну головку за допомогою різі 3 та конічної частини 4 і заводять разом з заготовкою в патрон. Заготовку закріплюють в патроні і надають їй обертовий рух, а розточувальній головці - осьову подачу. Після закінчення обробки готову деталь знімають з патрона, розточувальну головку відкручують з оправки і процес повторюють знову.

Для визначення таких технологічних параметрів як значення подач на різцях для чистової обробки введемо систему координат у  $Ox$  (фіг. 8). Вісь  $Ox$  направимо вправо (в напрямку подачі) і вершини всіх різців для чистової обробки розмістимо на ній, а  $Oy$  направимо вгору. Виберемо довільну точку на осі  $Ox$  -  $N_1$  і розмістимо в ній вершину 22 першого різця для чистової обробки - 7 у момент початку оберту. З  $N_1$  проведемо промені під кутами  $\varphi$  та  $\varphi'$  до осі  $Ox$ . Вони відобразять положення головної та допоміжної різальної кромки першого різця для чистової обробки у момент початку оберту. Задавши величиною  $H \approx R_z$  і використавши (див. Крупа В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багато різцевих розточувальних головок з поділом припуску та подачі / Крупа В. // Вісник ТНТУ.-2011. - Том 16. - № 1. - С. 105-117. - (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).) величина подачі на другому різці для чистової обробки буде:

$$s_2 = H \cdot (\text{ctg} \varphi + \text{ctg} \varphi') \quad (1)$$

Отримана подача на осі  $Ox$  схематично зобразиться відрізком  $N_1N_2$ . Точка  $N_2$  відповідає вершині 23 другого різця для чистової обробки 8 у момент закінчення оберту. Аналогічно побудовою отримаємо положення головної та допоміжної різальних кромки другого різця для чистової обробки. Провівши з  $N_2$  пряму, перпендикулярну осі  $Ox$  до перетину з головною різальною кромкою першого різця для чистової обробки в момент початку оберту отримаємо

точку F і відрізок N<sub>2</sub>F. З F провівши лінію під кутом φ' до перетину з віссю Oх отримаємо положення першого різця для чистової обробки 7 в момент закінчення оберт, а відповідно і значення подачі на оберт (s, мм/об), яка рівна довжині відрізка N<sub>1</sub>N<sub>1</sub>' = N<sub>1</sub>N<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>N<sub>1</sub>' (фіг. 8).

Враховуючи, що N<sub>1</sub>N<sub>2</sub> = s<sub>2</sub>, а N<sub>2</sub>N<sub>1</sub>' = N<sub>2</sub>F · ctgφ' (з ΔN<sub>1</sub>N<sub>2</sub>F), а N<sub>2</sub>F = s<sub>2</sub> · tgφ (з ΔN<sub>1</sub>N<sub>2</sub>F), і підставивши значення подачі s<sub>2</sub> з (1), виконавши перетворення будемо мати:

$$s = H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')^2. \quad (2)$$

Третій різець для чистової обробки встановлюємо так, щоб висота мікронерівностей, утворених в результаті контактів його головної різальної кромки з поверхнею різання та допоміжної різальної кромки другого різця для чистової обробки з обробленою поверхнею була рівною H ≈ Rz = const, а шляхом корегування значення допоміжного кута в плані на третьому

різці для чистової обробки φ<sub>3К</sub>' добиваємось, щоб висота мікронерівностей, утворених в результаті контактів головної різальної кромки другого різця для чистової обробки з поверхнею різання та допоміжної різальної кромки третього різця для чистової обробки з обробленою поверхнею теж була рівна заданій H ≈ Rz = const. Подача s<sub>3</sub> = s - (s<sub>1</sub> + s<sub>2</sub>), або:

$$s_3 = H \cdot (\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi'^2 - \operatorname{ctg} \varphi) \quad (3)$$

Скореговане значення φ<sub>3К</sub>' визначиться за формулою φ<sub>3К</sub>' = arcctg((s<sub>3</sub> - H · ctgφ<sub>2</sub>)/H), або:

$$\varphi'_{3K} = \operatorname{arcctg}(\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi'^2 - 2 \operatorname{ctg} \varphi) \quad (4)$$

Такі конструкторські параметри розточувальної головки, як центральні кути, які регламентують кругове положення (розміщення) різців визначимо, скориставшись фіг. 8 та фіг. 9. Значення кутів θ<sub>1</sub> і θ<sub>2</sub>, які забезпечують відповідно кутове зміщення другого і третього різців для чистової обробки відносно першого різця для чистової обробки визначимо за формулами відповідно:

$$\theta_1 = 2\pi \cdot s_2 / s, \quad (5)$$

$$\theta_2 = 2\pi \cdot (s_2 + s_3) / s, \quad (6)$$

Радіальні сили різання визначимо за формулою (див. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под. ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение.-1985. - Т2.-1985.-496 с.):

$$P_y = 10C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (7)$$

де C<sub>p</sub> - сталий коефіцієнт; t - глибина різання; x - показник степеня, який характеризує вплив глибини різання на P<sub>y</sub>; s - подача; y - показник степеня який характеризує вплив подачі на P<sub>y</sub>; V - швидкість різання; n - коефіцієнт, що характеризує вплив швидкості різання на P<sub>y</sub>;

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{\varphi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{rP}, \quad (8)$$

де K<sub>MP</sub> - коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силу різання; K<sub>φP</sub> - коефіцієнт, що враховує вплив головного кута в плані різця на силу різання; K<sub>γP</sub> - коефіцієнт, що враховує вплив переднього кута різця на силу різання; K<sub>λP</sub> - коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу головної різальної кромки на силу різання; K<sub>rP</sub> - коефіцієнт, що враховує вплив радіуса при вершині різця на силу різання.

Відповідно для першого, другого та третього різців для чистової обробки радіальна складова сили різання буде рівною:

$$P_{y1} = 10C_{p1} \cdot t_1^x \cdot s_1^y \cdot V_1^n \cdot K_{p1}, \quad P_{y2} = 10C_p \cdot t_2^{x_1} \cdot s_2^y \cdot V_2^n \cdot K_{p2},$$

Враховуючи, що C<sub>p1</sub> = C<sub>p2</sub> = C<sub>p3</sub> = C<sub>p</sub>, t<sub>1</sub> = t<sub>2</sub> = t<sub>3</sub> = t,

V<sub>1</sub> = V<sub>2</sub> = V<sub>3</sub> = V, K<sub>MP1</sub> = K<sub>MP2</sub> = K<sub>MP3</sub> = K<sub>M</sub>,

K<sub>γP1</sub> = K<sub>γP2</sub> = K<sub>γP3</sub> = K<sub>γ</sub>, K<sub>λP1</sub> = K<sub>λP2</sub> = K<sub>λP3</sub> = K<sub>λ</sub>, K<sub>rP1</sub> = K<sub>rP2</sub> = K<sub>rP3</sub> = K<sub>r</sub>, а також ввівши позначення

C = 10C<sub>p</sub> · K<sub>M</sub> · K<sub>γ</sub> · K<sub>λ</sub> · K<sub>r</sub> рівняння сил різання набудуть вигляду:

$$P_{y1} = C \cdot t^x \cdot s_1^y \cdot V^n \cdot K_{\varphi_1} \quad (9)$$

$$P_{y2} = C \cdot t^x \cdot s_2^y \cdot V^n \cdot K_{\varphi_2} \quad (10)$$

$$P_{y3} = C \cdot t^x \cdot s_3^y \cdot V^n \cdot K_{\varphi_3} \quad (11)$$

Знаходимо рівнодійну силу  $R_1$  за теоремою косинусів з  $\angle OCD$  (фіг. 10):

$$R_1^2 = P_{y2}^2 + P_{y3}^2 - 2 \cdot P_{y2} \cdot P_{y3} \cdot \cos \angle OCD, \quad (12)$$

$\angle OCD$  визначимо з фіг. 10:  $\angle OCD = 180^\circ - \angle COB$ , отримаємо:

$$\angle OCD = 180^\circ - 360 - (\theta_2 - \theta_1) = -(180 - (\theta_2 - \theta_1)). \quad (13)$$

і відповідно:  $R_1^2 = P_{y2}^2 + P_{y3}^2 - 2 \cdot P_{y2} \cdot P_{y3} \cdot \cos(180 - (\theta_2 - \theta_1))$ . Враховуючи, що косинус - функція парна, а також  $\cos(180 - (\theta_2 - \theta_1)) = -\cos(\theta_2 - \theta_1)$  отримаємо формулу (12):

5 Підставивши (9), (10) і (11) в (12) та спростивши отримаємо:

$$R_1^2 = C^2 \cdot t^{2x} \cdot V^{2n} \left( s_1^{2y} \cdot K_{\varphi_1}^2 + s_2^{2y} \cdot K_{\varphi_2}^2 + 2s_1^y s_2^y K_{\varphi_1} K_{\varphi_2} \cdot \cos(\theta_2 - \theta_1) \right), \quad (14)$$

Введемо позначення:  $\eta = s_1^{2y} \cdot K_{\varphi_1}^2 + s_2^{2y} \cdot K_{\varphi_2}^2 + 2s_1^y s_2^y K_{\varphi_1} K_{\varphi_2} \cdot \cos \theta_2$ .

За теоремою синусів з  $\angle OCD$  отримаємо кут  $\theta_4 = \angle BOD$  - кут між силами  $P_{y2}$  та  $R_1$ :  
 $P_{y3} / \sin(360 - \theta_4) = R_1 / \sin \angle OCD$ . Врахувавши (14), а також те, що  $\sin(360 - \theta_4) = -\sin(\theta_4)$ , отримаємо формулу для визначення кута  $\theta_4$ :

$$\theta_4 = \arcsin \left( s_2^y \cdot K_{\varphi_2} \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right). \quad (15)$$

10 Знаходимо сумарну зрівноважувальну радіальну силу  $P_{зр}$  з  $\triangle ODE$  за теоремою косинусів:

$P_{зр}^2 = P_{y1}^2 + R_1^2 - 2 \cdot P_{y1} \cdot R_1 \cdot \cos \angle ODE$ .  $\angle ODE$  визначимо з фіг. 10:  $\angle ODE = 180^\circ - \angle AOD$  отримаємо:

$$\angle ODE = 180 - (360^\circ - (\theta_4 + \theta_1)) = -(180^\circ - (\theta_4 + \theta_1)). \quad (16)$$

Враховуючи що косинус функція парна, отримаємо:

$$P_{зр}^2 = P_{y1}^2 + R_1^2 + 2 \cdot P_{y1} \cdot R_1 \cdot \cos(\theta_4 + \theta_1). \quad (17)$$

Підставимо (9), (12) та (14) в (17). Спростивши - отримаємо:

$$P_{зр} = C t^x V^n \sqrt{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos \left( \arcsin \left( s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)}. \quad (18)$$

15 Знайдемо кут між рівнодійною радіальною силою чистових різців та першим чистовим різцем, тобто  $\angle AOE$  за теоремою синусів з  $\triangle AOE$ :  $R_1 / \sin \angle AOE = P_{зр} / \sin \angle OAE$ . Враховуючи, що  $\angle OAE = \angle ODE$  отримаємо:

$$\angle AOE = \arcsin \left( R_1 \cdot \sin(180 - (\theta_4 + \theta_1)) / P_{зр} \right) = -\arcsin \left( R_1 \cdot \sin(\theta_4 + \theta_1) / P_{зр} \right). \quad (19)$$

Кутове положення чорнового різця відносно першого чистового визначиться за формулою  $\theta_3 = 180^\circ - \angle AOE$ . Враховуючи (18) та (19) отримаємо:

$$\theta_3 = 180^\circ + \arcsin \left( R_1 \cdot \sin(\theta_4 + \theta_1) / P_{зр} \right). \quad (20)$$

20 Підставивши (14), (15) та (18) в (20) та спростивши - отримаємо:

$$\theta_3 = \pi + \arcsin \frac{\eta \cdot \sin \left( \arcsin \left( s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)}{\sqrt{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos \left( \arcsin \left( s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)}}. \quad (21)$$

Визначимо глибини різання на різці для чорнвої та різця для чистової обробки з умови зрівноваження радіальних сил  $\bar{P}_{зр} = \bar{P}_{\gamma\text{чор}}$ , де  $P_{\gamma\text{чор}} = C \cdot t_4^x \cdot s_4^y \cdot V_4^n \cdot K_{\varphi_4}$ . Врахувавши, що  $V_4 \approx V$ , а  $t_4 = z - t$ , отримаємо величину глибини різання на чистових різцях:

$$t = \frac{z}{2} \left( \frac{s^y \cdot K_{\varphi_1}}{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)} \right)^{1/x} \quad (22)$$

Таким чином при використанні вищеподаної розточувальної головки підвищиться продуктивність оброблення за рахунок використання одночасно різця для чорнової обробки та різців для чистової, а також підвищиться якість обробленої поверхні за рахунок використання трьох різців для чистової обробки зі спеціальним розміщенням.

5

### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Розточувальна головка, що складається з корпусу, в якому виконані хвостовик з різьбою для закріплення розточувальної головки в пристосуванні та центральний отвір для підводу змащувально-охолоджуючої речовини (ЗОР), пружних напрямних, які встановлені в поздовжні пази, яка **відрізняється** тим, що в корпусі виконані додатково чотири нерівномірно розміщені по колу радіальні пази, в які встановлені три різці для чистової і один різець для чорнової обробки, які закріплені за допомогою диска, що жорстко з'єднаний з корпусом, причому регулювання радіального вильоту різців здійснено за допомогою спеціальних гвинтів з конічними кінцевими поверхнями, що встановлені з можливістю спряження з торцевими скосами різців, та на кожному різці виконані поздовжні пази для підводу ЗОР в зону різання, і головні кути в плані на різцях для чистової обробки, а також допоміжні кути в плані на першому і другому різцях для чистової обробки однакові і рівні відповідно  $\varphi$  і  $\varphi'$ , а допоміжний кут в плані на третьому різці для чистової обробки корегований, а його значення визначається за формулою:

$$\varphi_{3к}' = \text{arcctg}(\text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\varphi'^2 - 2\text{ctg}\varphi), \text{ де}$$

$\varphi$  - головний кут в плані на різцях для чистової обробки, град.;

$\varphi'$  - допоміжний кут в плані на першому та другому різцях для чистової обробки, град.;

причому центральні кути між вершинами першого та другого і першого та третього різців для чистової обробки в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі корпусу розточеної головки визначаються за формулами:

25

$$\theta_1 = 2\pi \cdot s_2 / s \text{ і } \theta_2 = 2\pi \cdot (s_2 + s_3) / s, \text{ де}$$

$s_2 = H \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')$  - величина подачі на другому різці для чистової обробки, мм/різець;

$s = H \cdot \text{tg}\varphi \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')^2$  - величина загальної подачі розточеної головки, мм/об;

$s_3 = H \cdot (\text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\varphi'^2 - \text{ctg}\varphi)$  - величина подачі на третьому різці для чистової обробки, мм/різець;

30

$H \approx R_z$  - висота нерівностей профілю за десятьма точками, мкм;

причому різець для чорнової обробки встановлено в місці сходження радіальних складових сил різання, створених різцями для чистової обробки, а центральний кут між вершиною першого різця для чистової обробки та вершиною різця для чорнової обробки в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі корпусу розточувальної головки визначається за формулою:

35

$$\theta_3 = \pi + \arcsin \frac{\eta \cdot \sin(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)}{\sqrt{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)}}, \text{ де}$$

$$\eta = s_2^{2y} \cdot K_{\varphi_1}^2 + s_3^{2y} \cdot K_{\varphi_3}^2 + 2s_2^y s_3^y K_{\varphi_2} K_{\varphi_3} \cdot \cos \theta_2;$$

$K_{\varphi_1}$ ,  $K_{\varphi_2}$ ,  $K_{\varphi_3}$  - поправочні коефіцієнти на головні кути в плані відповідно на першому, другому та третьому різцях для чистової обробки;

40

$s_1$ ,  $s_2$ , та  $s_3$  - величини подач відповідно першому, другому та третьому різцям для чистової обробки, мм/різець;

$\theta_1$  і  $\theta_2$  - центральні кути, що визначають кутові положення другого і третього різців для чистової відносно першого відповідно, град.;

$y$  - показник степеня, що враховує вплив подачі на радіальну складову сили різання,



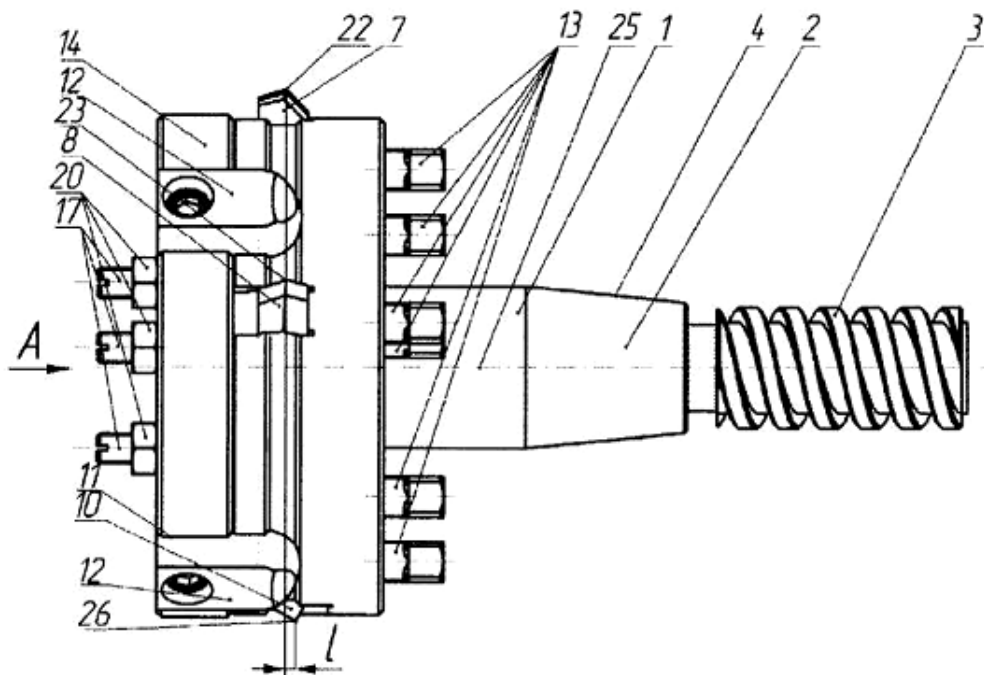
причому вершина різця для чорнової обробки зміщена відносно вершин різців для чистової обробки, що знаходяться в одній площині, перпендикулярній до поздовжньої осі корпусу розточеної головки, в напрямку подачі на величину  $l$ , а його радіальний виліт менший від радіального вильоту різців для чистової обробки на величину  $t$ , що визначається з умови зрівноваження радіальних складових сил різання на різцях для чистової та різці для чорнової обробки за формулою:

$$t = \frac{z}{2} \left( \frac{s^y \cdot K_{\varphi_4}}{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)} \right)^{1/x}, \text{ де}$$

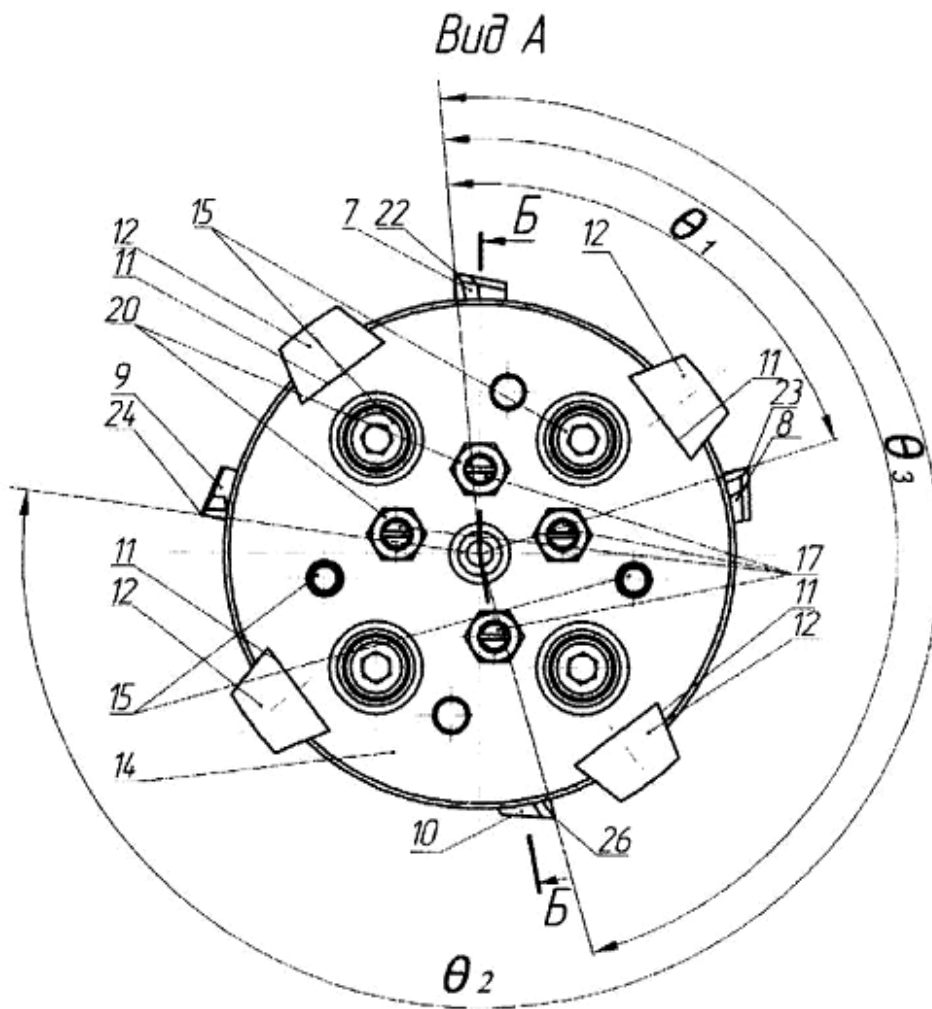
$z$  - загальний припуск на оброблення;

$K_{\varphi_4}$  - поправочний коефіцієнт на головний кут в плані різця для чорнової обробки.

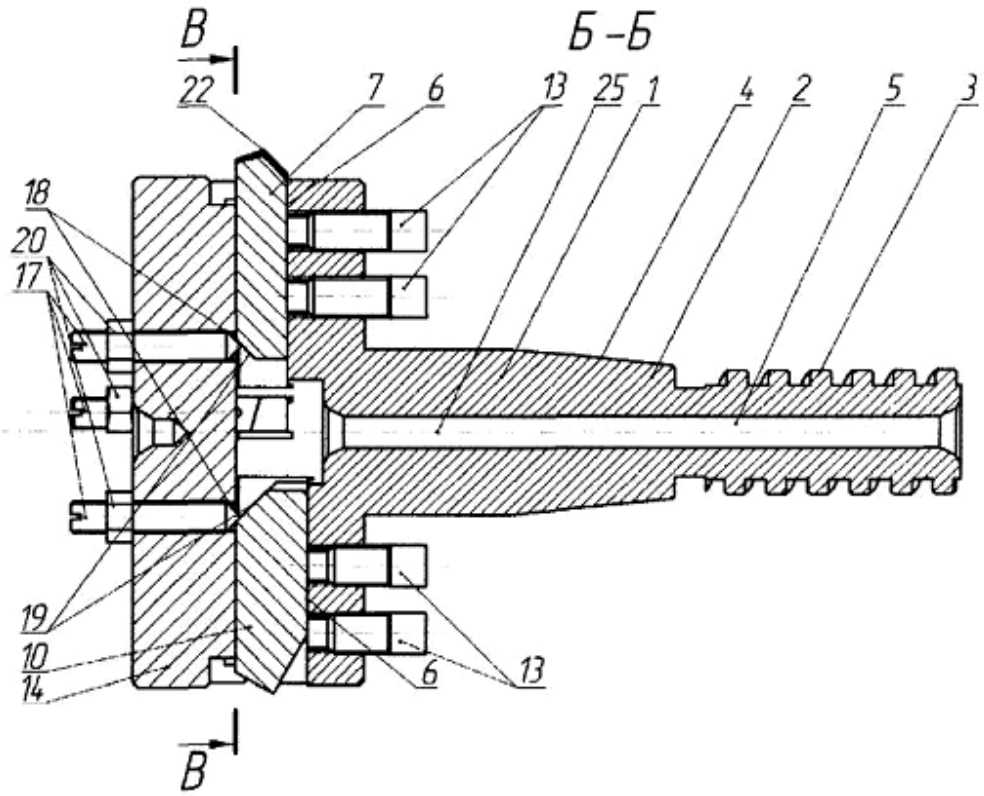
$x$  - показник степеня, який враховує вплив глибини різання на радіальну складову сили різання.



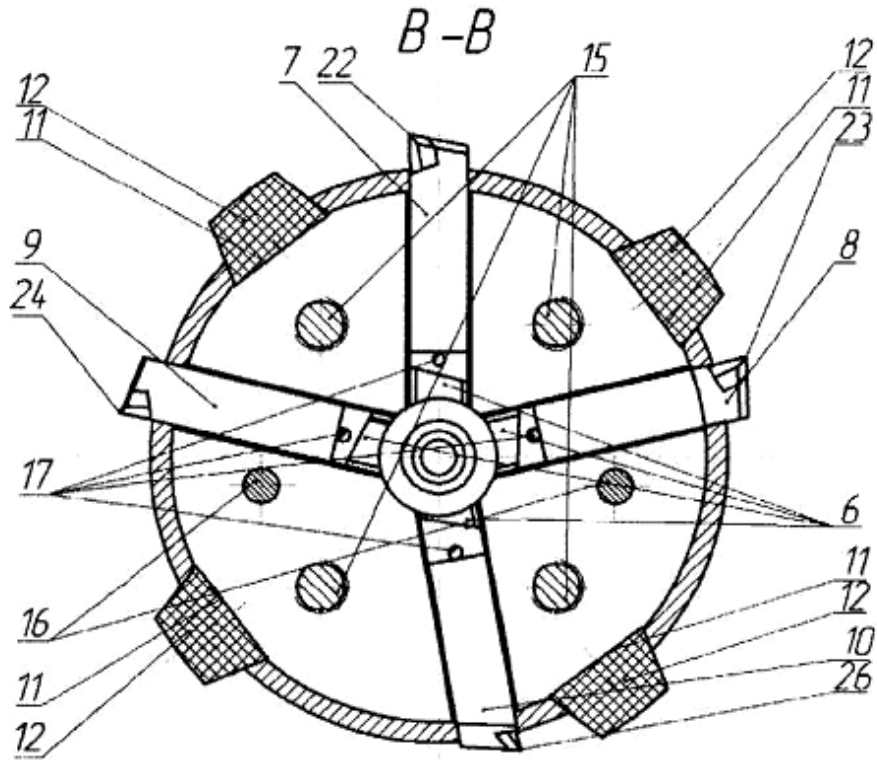
Фиг. 1



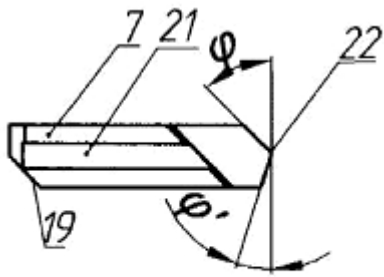
Фиг. 2



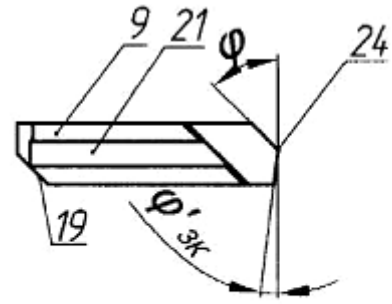
Фиг. 3



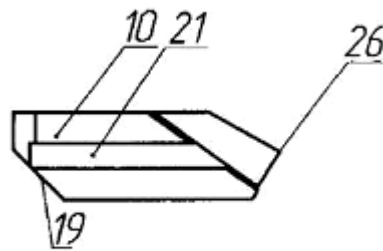
Фиг. 4



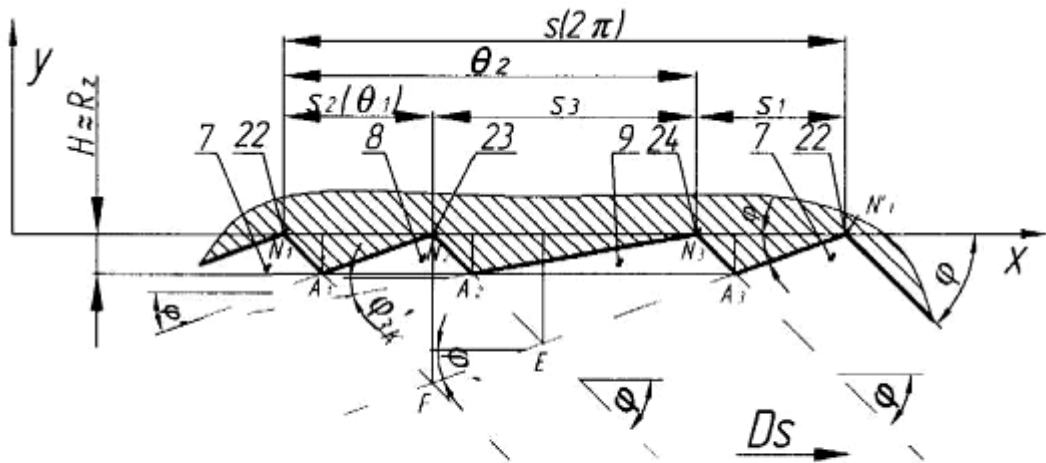
Фиг. 5



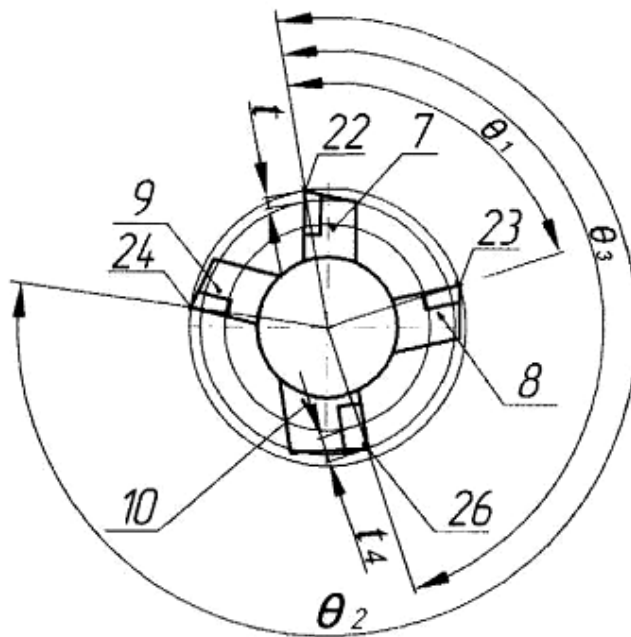
Фиг. 6



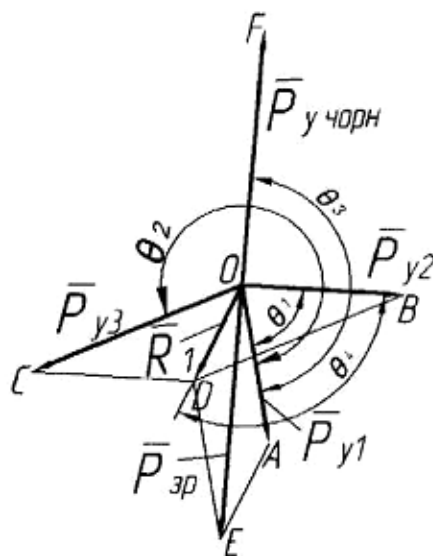
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10

---

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601