

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Обґрунтування конструкторсько-технологічних параметрів  
трирізцевих комбінованих розточувальних головок підвищеної  
продуктивності**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МВнм-61  
спеціальності \_\_\_\_\_

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ Косів Я. М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Крупа В. В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ Ярема І. Т.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Кобельник В. Р.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2020



## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Окіпний І.Б. доцент каф. ЗВ		
	Клепчик В.М., ст. викл. каф ОХ		
Нормоконтроль	Ярема І.Т., доцент каф ВІ		

7. Дата видачі завдання 6.04.2020**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний розділ:	20.04.20	
	Аналіз досліджень в області розробки конструкцій розточувальних інструментів		
	Схеми роботи розточувальних інструментів		
	Огляд і аналіз інструментального забезпечення для оброблення глибоких отворів		
2	Науково-дослідна частина	05.05.20	
	Загальна концепція роботи ТРГ		
	Обґрунтування конструкторських та технологічних параметрів трирізевих розточувальних головок		
	Оптимізація кутів в плані різців		
	Особливості зрівноважування радіальних складових сил різання		
3	Дослідно-проектний розділ	15.05.20	
	Розробка конструкції трирізцевої розточувальної головки та опис принципу її роботи		
	Розрахунки елементів конструкції інструментів		
	Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень		
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.05.20	
5	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	17.05.20	
6	Оформлення графічної частини	19.05.20	
7	Оформлення роботи в цілому	20.05.20	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

*Косів Я.М.*

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

*Крупа В.В.*

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## Анотація

Косів Я.М.; «Обґрунтування конструкторсько-технологічних параметрів трирізцевих комбінованих розточувальних головок підвищеної продуктивності". 133 «Галузеве машинобудування»; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2020р.

Проаналізовано відомі конструкції, а також рекомендації та залежності щодо обґрунтування параметрів розточувальних інструментів. Запропоновано комплексний підхід і нову методику визначення технологічних і конструкторських параметрів трирізцевих розточувальних головок, що працюють з одночасним поділом припуску та подачі. Подано два варіанти конструкторського виконання трирізцевих головок, які забезпечують одночасний поділ припуску та подачі. Виведено формули для розрахунку значень подач на окремий чистовий різець і на оберт трирізцевої розточувальної головки, а також глибин різання на чистових і чорновому різцях з умови зрівноважування радіальних складових сил різання. Отримано залежності для визначення центральних кутів відносного розміщення різців. Виконано оптимізацію кутів в плані чистових різців з умови максимальної продуктивності і забезпечення заданої шорсткості поверхні. Запропоновано конструкцію трирізцевої розточувальної головки у відповідності до поданої методики та здійснено основні розрахунки її параметрів. Подано визначення економічної ефективності застосування даного інструменту.

**Ключові слова:** технологічні та конструкторські параметри, розточувальна головка, чорновий та чистові різці, подача, глибина різання, висота мікронерівностей

## Summary

Kosiv Ya.M.; "Substantiation of design and technological parameters of three-cutter combined boring heads of high productivity." 133 – « Industrial machinery engineering»; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2020.

Popular constructions as well as recommendations and dependencies concerning boring tools parameters substantiation are analyzed. Comprehensive approach and new methods of technological and design parameters determination for three-cutter boring heads operating with simultaneous allowance and feed distribution are proposed. Two design versions of three-cutter heads providing simultaneous allowance and feed distribution during the cutting process are presented. Dependencies for the determination of feeds for revolution, for single finishing tool and cutting depth on roughing and finishing tools depending on their geometrical parameters for both versions as well as formulae for determination of angular positions of roughing and the second finishing tools relatively to the first one are derived. Optimization of the major and minor cutting edge angles according to the criteria of maximum machining efficiency and given surface roughness is carried out. The design of a three-cut boring head with the use of possibilities for the given methods is offered and the main actions of its parameters are confirmed. The economic efficiency of using this tool is given.

**Keywords:** technological and design parameters, boring head, roughing and finishing tools, feed, cutting depth, surface roughness height of micro-irregularities.

## ЗМІСТ

Вступ .....	9
Розділ 1. Аналітичний розділ.....	11
1.1. Аналіз досліджень в області розробки конструкцій розточувальних інструментів.....	11
1.2. Схеми роботи багатолезових металорізальних інструментів при обробленні отворів.....	13
1.3. Огляд і аналіз інструментального забезпечення для оброблення глибоких отворів.....	14
1.3.1. Розточувальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою поділу припуску.....	16
1.3.2. Розточувальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою поділу подачі.....	21
1.3.3. Багатолезові металорізальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою одночасного поділу припуску та подачі...	24
1.4. Висновки по розділу, постановка мети і задач дослідження...	29
Розділ 2. Науково-дослідна частина.....	30
2.1. Загальна концепція та методика забезпечення підвищення продуктивності обробки трирізцевою розточувальною головкою.....	30
2.2. Обґрунтування конструкторських та технологічних параметрів трирізцевих розточувальних головок, що працюють з одночасним поділом припуску та подачі .....	31
2.2.1. Обґрунтування конструкторських та технологічних параметрів трирізцевих розточувальних головок без врахування радіусів вершин різців.....	31

2.2.2. Обґрунтування конструкторських та технологічних параметрів трирізевих розточувальних головок із радіусними вершинами різців.....	35
2.3. Оптимізація кутів в плані різців.....	40
2.3.1. Оптимізація кутів в плані за I варіантом конструкторського виконання.....	40
2.3.2. Оптимізація кутів в плані за II варіантом конструкторського виконання.....	46
2.4. Особливості зрівноважування радіальних складових сил різання .....	49
2.5 Висновки по розділу .....	51
Розділ 3. Дослідно-проектний розділ.....	52
3.1. Розробка конструкції трирізцевої розточувальної головки за запропонованою методикою.....	52
3.2. Опис принципу роботи інструменту.....	55
3.3. Розрахунок елементів конструкції трирізцевої розточувальної головки.....	55
3.3.1. Розрахунок технологічних та конструкторських параметрів розточувальної головки .....	55
3.3.2. Визначення силових характеристик процесу різання та потужності.....	57
3.3.3. Розрахунок елементів розточувальної головки з використанням САЕ-системи.....	58
3.4. Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень.....	65
3.4.1. Порівняння продуктивності обробки запропонованого та традиційного розточувального інструменту .....	65
3.4.2. Економічний ефект використання трирізцевої розточувальної головки з поділом подачі та припуску.....	67
3.5. Висновки по розділу.....	69

Розділ 4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях...	70
4.1. Безпека праці під час виконання робіт на металорізальних верстатах.....	70
4.2. Правила охорони праці під час холодного оброблення металів.....	73
4.2.1. Загальні вимоги до технічних процесів при холодній обробці металів .....	73
4.2.2. Вимоги до охорони праці під час оброблення металів різанням.....	75
Загальні висновки.....	79
Перелік посилань.....	80
Додатки	



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Значне розширення кількості та типів деталей з отворами, а особливо з глибокими, що спричинене розвитком машинобудівної галузі вимагає розробки нових технологічних процесів і відповідного інструментального забезпечення. Одним із основних напрямів є розробка інструментів підвищеної продуктивності оброблення, що можуть забезпечити задані якісні показники оброблюваних отворів, оскільки це дозволяє в цілому здешевити кінцевий продукт і підвищити його конкурентоздатність. При розробленні конструкцій розточувальних головок перспективною є їх схема обробки із одночасним поділом припуску на оброблення та подачі, коли в процесі різання частина різців знімає основний шар матеріалу, а інша – забезпечує чистову обробку. Це дає змогу зменшити основний технологічний час за рахунок суміщення операцій, а відповідно і підвищити продуктивність.

Тому розроблення методик проектування та конструкцій розточувальних головок, які дозволяють підвищити продуктивність оброблення за рахунок суміщення чорнових та чистових операцій є, безперечно, актуальною задачею.

**Мета роботи:** розробка конструкції трирізцевих розточувальних головок підвищеної продуктивності, що працюють з одночасним поділом припуску та подачі, на основі науково-обґрунтованого підходу до розміщення різців.

Основні завдання:

1. Розробити методику обґрунтування технологічних конструкторських параметрів трирізцевих розточувальних головок які забезпечують в процесі різання одночасний поділ припуску та подачі;
2. Запропонувати залежності для визначення основних технологічних та конструкторських параметрів;
3. Здійснити оптимізацію допустимих значень геометричних параметрів чистових різців з умови забезпечення максимальної продуктивності.
4. Розробити конструкцію трирізцевої розточувальної головки за запропонованою методикою.
5. Визначити економічну ефективність використання запропонованого

інструменту

**Об'єкт дослідження** – процес оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь трирізцевими комбінованими розточувальними головками з що забезпечують одночасний поділ припуску та подачі.

**Предмет дослідження** – конструктивні та геометричні параметри трирізцевих розточувальних головок підвищеної продуктивності з нерівномірним по колу розміщенням різців.

**Методи дослідження.** Робота побудована на комплексному підході до розробки конструкції інструменту, а саме трирізцевих розточувальних головок, на базі математичних моделей шорсткості поверхні. Проведені теоретичні дослідження базуються на сучасних досягненнях теорії різання металів, технології машинобудування, проектування різального інструменту тощо. Моделювання та розрахунки проведені з використанням сучасних засобів комп'ютерної техніки на базі програмного продукту SolidWorks.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Набули подальшого розвитку принципи конструктивної побудови інструментів з нерівномірним по колу розміщенням різців із корегованими кутами в плані, а саме: комбінованих трирізцевих розточувальних головок, що забезпечують в процесі одночасний поділ припуску та подачі.

2. Вперше для комбінованих трирізцевих розточувальних головок запропоновано математичні моделі оптимізації кутів в плані чистових різців для забезпечення заданої висоти мікронерівностей профілю та максимальної продуктивності

#### **Практичне значення отриманих результатів**

Розроблено конструкцію трирізцевої розточувальної головки з нерівномірним по колу регульованим розташуванням різців для оброблення глибоких отворів за схемою одночасного поділу припуску та подачі що дозволяє суттєво підвищити продуктивність оброблювання отворів.

**Публікації.** Основні результати наукової роботи відображені у 1 фаховій статі та 1 тезах конференцій.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1. Аналіз досліджень в області розробки конструкцій розточувальних інструментів

Питання розробки конструкції розточувальних головок та інструментів висвітлена в великій кількості публікацій. Ним займалась і займається значна кількість українських і закордонних вчених. В Україні сформувались цілі наукові школи, що займаються питанням досліджень процесу розточування та розробкою конструкцій інструментів. Слід відмітити одеську школу під керівництвом професора Лінчевського П. А. [1, 2], Джугуряна Т.Г. [1], Оборського Г.О. [3], до якої можна віднести вчених Буяклі І. М. [1, 2], Іоргачова В. Д. [1, 2], Онищенко С. М. [2], Оргіян О. А. [3], Оргіян А. О. [3], Баланюк Г. В. [3, 4], Попов В. С. [5] та ін. Основним напрямом їх досліджень є розточування глибоких точних отворів великих діаметрів з матеріалів що важко обробляються, отворів або із значним перепадом діаметрів. Роботи представників харківської школи (Аветісян В. К. [6, 7], Сідашенко О. І. [6, 7], Карпусенко В. П. [6], Поліщук І. В. [6], Автухов А. К. [7], Польотов В. А. [7], Попов О. О. [7], Сайчук О. В. [7], Сичов Ю. І. [8, 9], Тарасюк А. П. [8, 9], Лях Б. Г. [8, 9], Самчук В. В. [8, 9], Кондратюк О. Л. [10]) присвячені питанням обробки тонкостінних заготовок з пластичного матеріалу, суміщення процесів розточування та пластичної деформації, а також можливості оброблення отворів малого діаметра за рахунок застосування електромагнітного приводу подач. Особливістю досліджень представників тернопільської школи під керівництвом проф. Луціва І. В. [11-13], Нагорняка С. Г. [13], Кривого П. Д. [14-21] є створення багатолезового оснащення з адаптивним зв'язком або інструментів з асиметричним розміщенням лез. Слід відмітити також роботи вчених Іванова С.В., Чернова С.К. та ін., що присвячені також питанням тематики досліджень.

Роботи вчених КНР, зокрема з Янчензького технологічного інституту та Хенаньського політехнічного університету (Zhen Feng [22]; Hou Dongmei [22];

Kou Zongfeng; Wei Xuguang; Wei Tao; [23]; Xia Wensheng; Xu Tongtong [24]; Zhao Wu; Zhao Jian; Huang Dan [25]). присвячені розробці конструкцій інструментів для точної обробки глибоких отворів труб а також розточування отворів великого діаметру розточувальними головками, розробкам самоцентруючих регульованих інструментів для тонкого розточування, а також різноманітних пристосувань з інструментами, із регулюванням радіального вильоту різців в процесі обробки.

Дослідження науковців ФРН (Löschner Ralf [26], Mapal Fabrik Für Präzisionswerkzeuge Dr Kress Kg [27] Wolf Rene [De]; Ehrmann Rudolf [De]; Vaszil-Schaeffer Wolfgang [28], Stadelmann R. [29] , Іспанії ( Frank Peter [30]) присвячені завданням розробки конструкцій розточувальних головок з компенсацією складових сил різання для зрівноважування інструменту [26, 30], зниження схильності до вібрації розточувального інструменту для обробки глибоких отворів. А також спеціалізованих розточувальних інструментів. Наприклад для отворів блоків циліндрів двигунів.

У роботах науковців США (Kamikubo Toshitaka [31], Lambrick John D [32]) основна увага приділяється розробці конструкції розточувальних інструментів з максимально простим переналагоджуванням на розмір [31], а також забезпечення максимальної надійності різального інструменту [32].

Питання дослідження самого процесу розточування в тому числі і розточування глибоких отворів, а також розробці конструкцій розточувальних інструментів присвячені і праці відомих російських вчених: Гречішнікова В. А.[33], Кірсанова С.В. [33], Мещерякова [34], Лазарева Д. Е. [35, 36], Схіртладзе А. Г. [33], Уткіна Н. Ф. [37, 38].

Розробленням конструкцій розточувальних інструментів займаються фірми виробники: Acrow, H. B. Carbide, Fette-Kieninger, Guhring, ISCAR, Kaiser, Nikken, Pinzbohr, SAU, Guhring, Seco Tools AB, Mircona, Sundi Precision Tools, OMG North America, Swiss, Sandvik Coromant, де було запропоновано велику кількість модернізацій металорізальних інструментів в т ч і інструментів, призначених для обробки глибоких отворів.

## 1.2. Схеми роботи багатолезових металорізальних інструментів при обробленні отворів

За напрямом нормальних напружень, які виникають як у корпусі інструменту та і в його оправці розрізняють обробку глибоких отворів: на розтяг (рис. 1.1, а) та на стиск (рис. 1.1, б) [37, 39, 40].

За першою схемою, яка зображена на рис. 1.1, а, процес оброблення заданого отвору починають з торцевої поверхні (А) заготовки 5, що розміщена протилежно до оправки. Внаслідок дії осьової складової сили різання  $P_x$  в оправці 3 виникають нормальні напруження розтягу.

У другій схемі, представленій на рис. 1.1, б, обробка отвору починається із торцевої поверхні (Б) заготовки 5, яка розташована найближче до каретки 4. Дія осьової складової сили різання  $P_x$  на оправку 3 призводить до виникнення в неї нормальних напружень стиску. Крім цих напружень оправка ще працює на кручення та на стійкість.

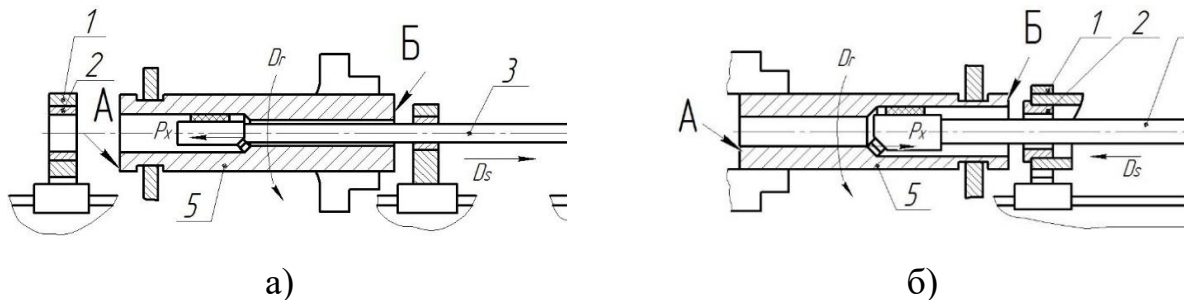


Рис. 1.1. Схеми обробки отворів за нормальними напруженнями інструменту: а) «на розтяг»; б) «на стиск»

Як першу так і другу схеми використовують при чорновій та чистовій обробці деталей методом розточування або зенкерування. Для точного позиціонування інструменту в отворі застосовують кондукторну втулку 2, яка розміщена у напрямній стійці 1. При обробленні за другою схемою (рис 1.1 б) кондукторна втулка 2 являється елементом стружко- та маслоприймачів або напрямного пристосування спеціальної конструкції, що розташована у стійці 1. У обидвох вищезазначених схемах базування розточувальної головки відбувається в кондукторній втулці 2 за допомогою напрямних. Внаслідок обробки точність розміщення осі отвору заготовки, що обробляється при

чорновій обробці «на розтяг» є кращими, ніж при чорновій або чистовій обробці «на стиск», тому що при цій схемі оправка працює у сприятливіших умовах внаслідок чого, похибки зменшуються [39, 40].

Відхилення прямолінійності осі отвору при чорновому обробленні «на стиск» значно більші, ніж при обробці «на розтяг». Проте на практиці при обробці «на розтяг» виникають труднощі, що полягають у складності встановлення направляючого пристосування та кондукторної втулки поруч з торцевою поверхнею А заготовки.

Отже, для розробки конструкції трирізцевих розточувальних головок, їх методики проектування тощо, приймаємо схему обробки отворів «на розтяг».

### **1.3. Огляд і аналіз інструментального забезпечення для оброблення глибоких отворів**

У літературі [18, 52] подано класифікацію багатолезових металорізальних інструментів для оброблення глибоких отворів (рис. 1.2).

Дана класифікація поділяє всі розточувальні інструменти за тринадцятьма ознаками на певні класи. На наш погляд найважливішим є поділ на класи за методом оброблення, де зокрема виділено три класи: розточувальні інструменти, що працюють за схемою поділу припуску (рис. 1.3,а), інструменти, що забезпечують схему розподілу подачі (рис. 1.3,б) та, що забезпечують схему водночас поділу подачі та припуску (рис. 1.3,в).

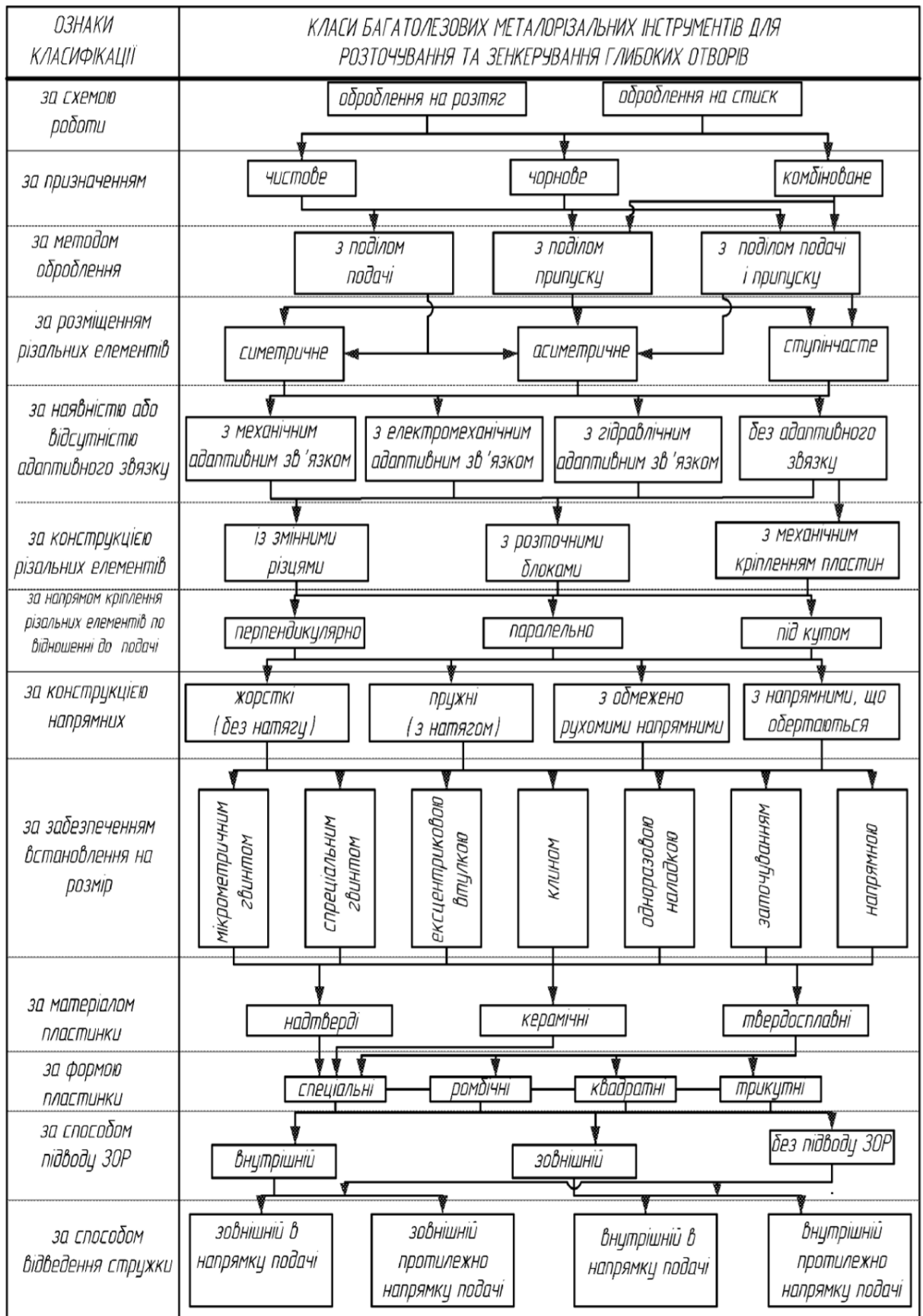


Рис. 1.2. Класифікація багатолезових металорізальних інструментів згідно джерел [18, 52]

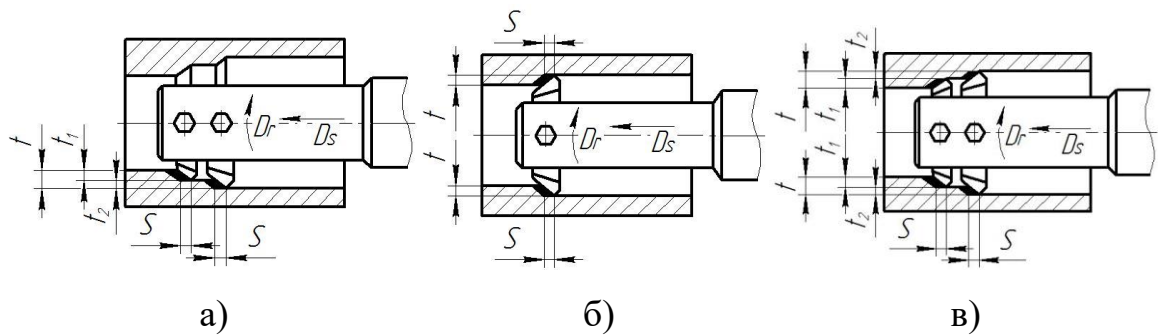


Рис. 1.3. Схеми обробки отворів розточувальними інструментами, що відносяться до першого а), другого б) і третього в) класів

### 1.3.1. Розточувальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою поділу припуску

Різальні інструменти цього класу використовують ступінчасте розміщення різальних елементів, та можуть застосовуватись для чорнової, чистової та комбінованої обробки отворів.

Їхня особливість полягає у тому, що різальні елементи які розташовані у радіальному напрямку так, що кожний із них зрізає частину припуску що знімається за один прохід. Глибина різання кожного елемента може бути як однакова так і різна, а самі елементи мають різну відстань по відношенню до осі інструменту. Крім розподілу припуску на різальних елементах важливим є і їх правильне розташування вздовж осі.

Різальні леза цих інструментів можуть розташовуватись на корпусі по різному: по один бік (різальні інструменти одностороннього різання); асиметрично та симетрично по колу. Здійснимо аналіз типових представників таких інструментів.

Одним із них, що відноситься до різальних інструментів одностороннього різання, є дворіздева розточна головка з конкретним базуванням [37] (рис. 1.4), у якої змінні призматичні різці 5 з напайними пластинами твердого сплаву встановлені у пази корпусу 1. Їх налаштування на заданий діаметр здійснюють гвинтами 6, а для закріплення їх використовують гвинти 2.

Напрявні елементи закріплюють гвинтами на корпусі головки так ,що три із них жорстко закріплені, а одна рухома у радіальному напрямку. На хвостовику даного інструменту виконані посадочні поверхні Б під оправку. МОТС до



різального елемента підводять крізь отвір В. Для того щоб встановити вимірювальні прилади для налаштування різальних елементів на потрібний діаметр, у передній частині корпусу знаходиться запресована втулка з отвором А.

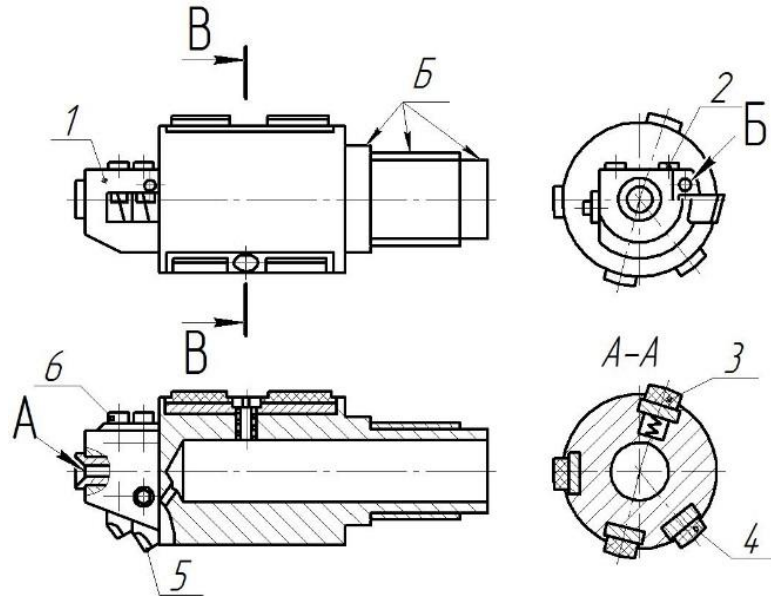


Рис. 1.4. Дворізцева розточна головка з конкретним базуванням

Також представником цього класу інструментів являється розточувальна головка марки Walter (рис. 1.5). Вона складається корпусу 1, де з одної сторони розташовані різальні пластини 2, 3 та 4, які мають різні вильоти в радіальному напрямку та зміщені вздовж осі. Різальна пластина 2 здійснює зняття основного припуску, а різальний елемент - 4 для кінцевого оброблення.

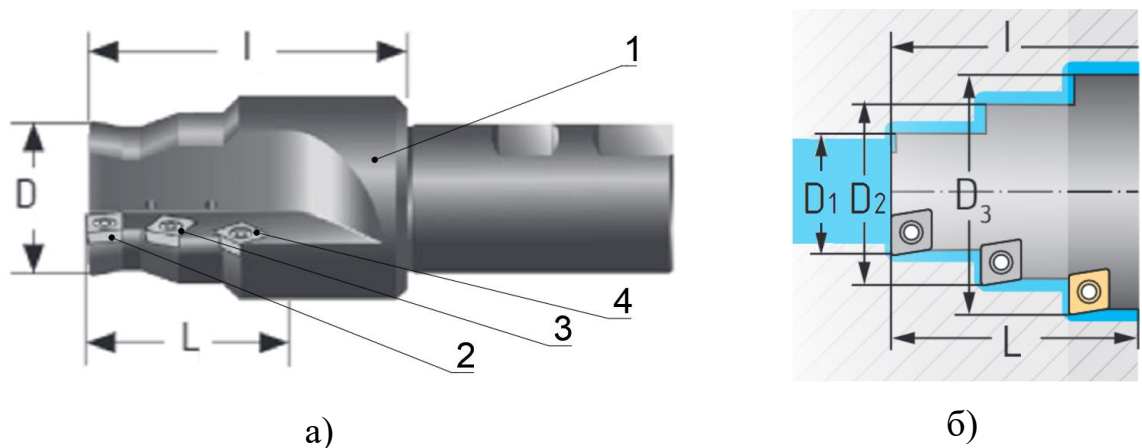


Рис. 1.5. Розточувальна головка фірми Walter: а) головний вигляд;

б) схема різання

Різновидом багатолезових металорізальних інструментів для розточування отворів, які належать до другого класу, є розточувальні головки, працюючі за схемою ступінчастого і повнопрофільного розточування. Прикладом є розточувальна головка компанії Swiss (рис. 1.6,а,б). У ній різальні елементи рівномірно розташовані по колу, зате зміщені як в радіальному, так і в осьовому напрямках. Розточувальні інструменти такого класу виготовляють фірми: Shenzhen Kaled Tools Co, Acrow, ISCAR, Guhring, Tungaloy, OMG North America, Kaiser, Seco, Nachi-Fujikoshi Corp., Mircona, Dura-Mill, Zhejiang Xinxing Tools Co. Nikken, OSG Corporation, Wuhan SQIN Technology Co., Ltd (група MYook), SAU, Sundi Precision Tools, Zhuzhou Lihua Cemented Carbide Co., Swiss, Sandvik Coromant, Pinzbohr.

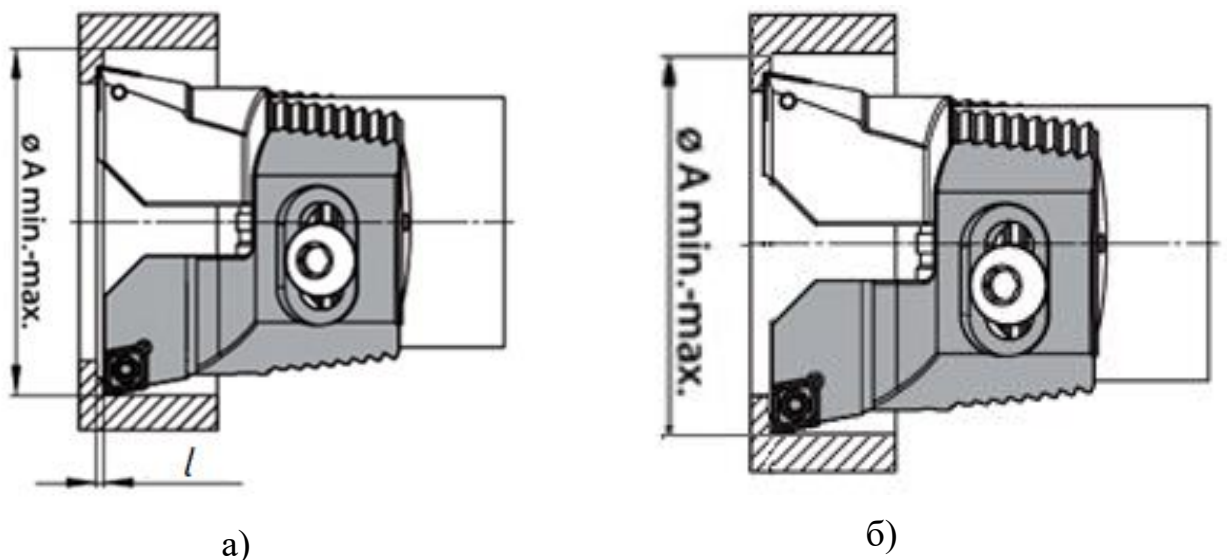


Рис. 1.6. Схеми: а) ступінчастого розточування глибоких отворів;  
б) повнопрофільного розточування глибоких отворів

Також прикладом такої конструкції інструментів може бути розточувальна головка фірми Walter (рис. 1.7). Вона складається з корпусу 1, хвостовика 2 і робочої частини 3. В корпусі 1 виконані радіальні отвори 4 для підведення МОНС до зони різання. В робочу частину 3 встановлюють у напрямні пази 5 спеціальні розточувальні блоки 6 з пластинами твердого сплаву, вершини яких різновіддалені від осі, що тим самим забезпечує поділ припуску, і мають різну

відстань одна відносно одної в осьовому напрямку. Конструкція цієї розточувальної головки задовольняє встановлення розточувальних блоків, призначених для ступеневого і повнопрофільного розточування. Недоліками даної розточувальної головки є, відсутність напрямних елементів, що у свою чергу призведе до значного відхилення реальної осі отвору від теоретичного.

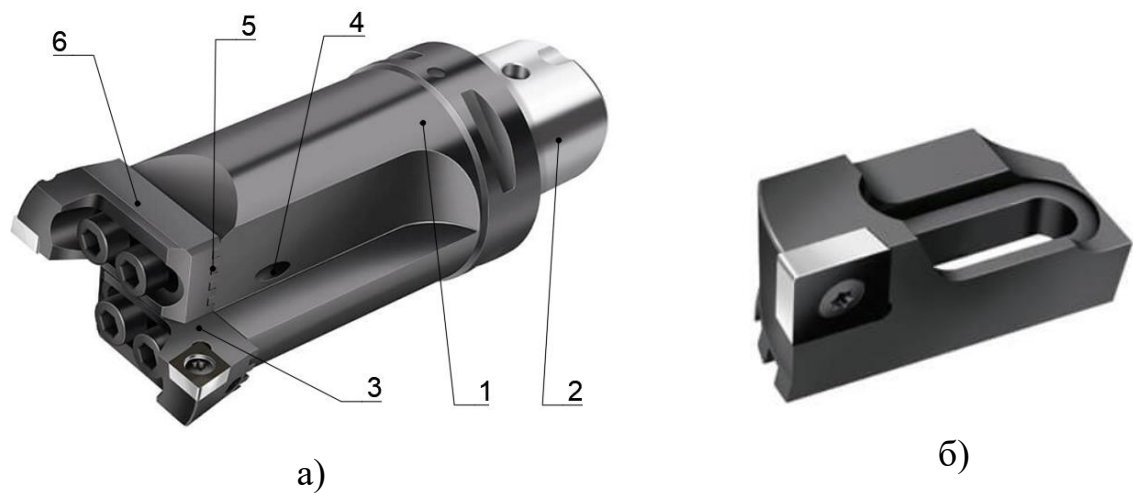


Рис. 1.7. Розточувальна головка фірми Walter: а) головний вид;  
б) розточувальний блок

Представником розточувальних головок з поділом припуску та асиметричним розміщенням лез по колу (рис. 1.8.) є розточна головка, розглянута у [53], що призначена для обробки заготовок, у яких діаметри отворів становлять більше 30 мм та з точністю 6-9 квалітету. Особливістю конструкції даної розточувальної головки в тому, що в корпусі 1, який з'єднаний з оправкою 2 виконані симетрично чотири канавки, що утворюють чотири пера, на двох із яких розташовані різальні пластини 3, 4, та зміщені в осьовому і радіальному напрямках одна відносно одної що тим самим забезпечує поділ припуску, а на двох інших у поздовжні пази встановлені рухомі напрямні 5, 6.

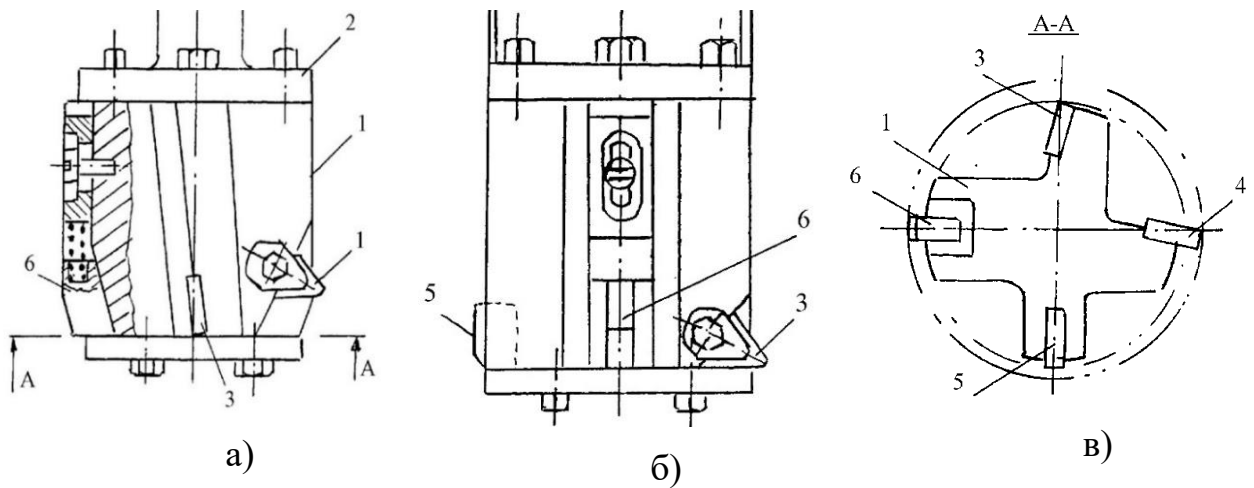


Рис. 1.8. Розточувальна головка, що працює з поділом припуску та асиметричним розміщенням лез: а) головний вигляд; б) профільний вигляд; в) розріз по А-А.

Недолік цієї конструкції у тому, що вона не забезпечує строго співвісність осі розточувальної головки відносно осі оброблюваної поверхні, що призведе до появи додаткових вібрацій і спотворення профілю обробленого отвору.

Також можна віднести до цього класу розточувальні інструменти згідно [60] (рис. 1.9), перевагою якого є точне регулювання осьового та/або радіального положення різців.

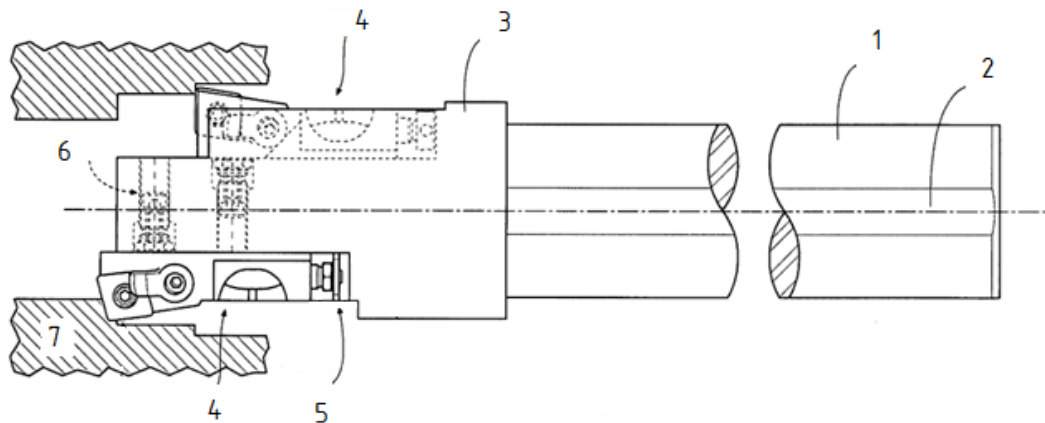


Рис. 1.9. Розточувальна головка з мікро-регульованим диференціальним гвинтом [60]

Розточувальна головка містить корпус, який складається з хвостовика 1 із поздовжньою віссю 2 та робочої частини 3, на які безпосередньо встановлюються встановлені розточувальні блоки 4 із мікро-регульованими диференціальними гвинтовими вузлами 5, 6 для регулювання осьового та

радіального положення різців у заготовці 7. Розточувальний блок 4 може бути один або декілька. Мікро-регульовані гвинтові вузли 5, 6 можуть встановлюватися безпосередньо до корпусі інструменту без необхідності кріплення розточувальних блоків 4.

Таким чином, проаналізувавши конструкції багатолезових інструментів, що працюють за схемою поділу припуску, можемо сказати, що існуючі конструкції забезпечують зняття максимального об'єму зрізаного шару за один прохід і можуть ефективно використовуватись для чорнового оброблення з забезпеченням точності за 12-14 квалітетами.

### **1.3.2. Розточувальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою поділу подачі**

Розточувальні інструменти, які здійснюють обробку за схемою поділу подачі мають певну особливість, а саме: різальні елементи розміщені в такій послідовності що кожен із них зрізає шар металу по всій його ширині, в той же момент подачею на оберт являється сума всіх їхніх подач, а вершини цих елементів рівновіддалені у радіальному напрямку. Загальна подача може поділятися між різальними елементами розточувальної головки як рівномірно, так і нерівномірно.

Рівномірний поділ подачі різцями представляє собою розміщення різців рівномірно по колу, де вони знаходяться у своєму теоретичному положенні. Схема такого розподілу подачі зображена на рис. 1.10,а.

При подачі на оберт розточувальної головки  $s$ , трьох різцях та головному куті в плані  $\varphi = 90^\circ$ , товщина зрізуваного шару для одного різця рівна  $s/3$ . Внаслідок похибок в кутовому і осьовому розміщенні вершин різців, в реальних умовах обробки не буде абсолютного рівномірного поділу товщини зрізаючого шару. Крім того, при налаштування інструменту завжди є свої допуски. Нерівномірний поділ товщини зрізуваного шару спеціально можна досягнути або за рахунок кутового (рис. 1.10,б), або за рахунок осьового зміщення різців (рис. 1.10,в). Відповідно у цих випадках товщина зрізаного шару пропорційна до кутів зміщення різців, або наступний різець зрізає те, що не зрізав попередній.

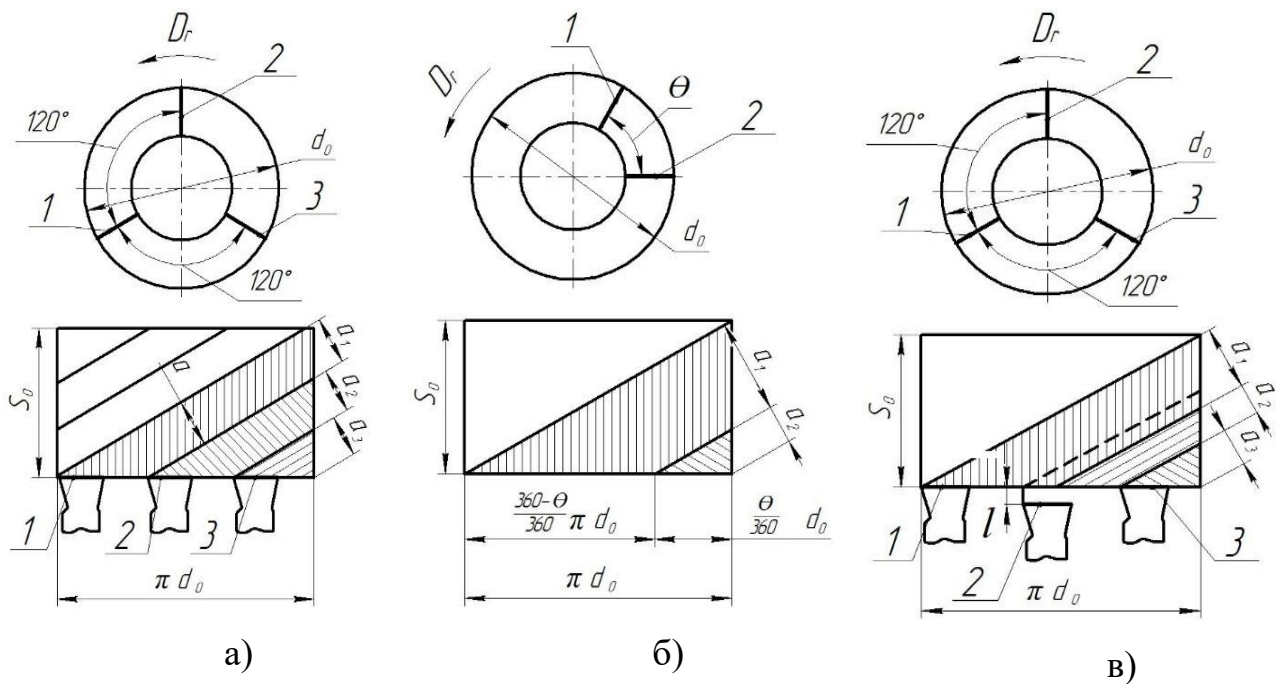


Рис. 1.10. Варіанти схем поділу подачі: а) рівномірний; б), нерівномірний за рахунок кутового зміщення різальних елементів; в) нерівномірний за рахунок осевого зміщення різальних елементів

Представником такого класу розточувального інструменту являється дворізцева розточувальна головка [61] (рис. 1.11).

Розточувальна головка складається із корпусу 1, до якого гвинтами 2 притискається розточний блок 3. На розточному блоці 3 встановлені різальні пластини 4, які зміщені одна від одної на  $180^\circ$ . Пластини встановлені із можливістю регулювання в радіальному напрямку з допомогою рифлень 5. Для забезпечення цього регулювання передбачені два гвинти 6, які закріплені на корпусі 2 інструменту і прикріплені до відповідних тримачів 7 та 8, які служать опорами для встановлення радіального положення державки різця.

Даний інструмент призначений для обробки відносно малих та середніх припусків, наприклад, припуск на обробку 10% від кінцевого діаметра при високій подачі та швидкості різання.

Висока стійкість забезпечується навіть для відносно великих діаметрів. Розточувальна головка може бути встановлена до приводного механізму будь яким чином.

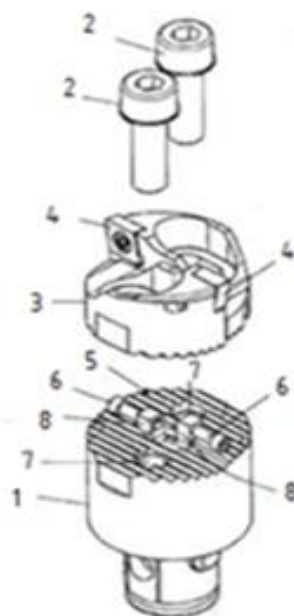


Рис. 1.11. Дворізева розточувальна головка

Необхідно відзначити, що багатолезові металорізальні інструменти із симетричним розміщенням лез мають недостатню вібростійкість [56, 57], через те що частоти, які виникають під час обробки кожним лезом, можуть накладатися одна на одну, тим самим утворивши резонанс. Даний недолік частково можна усунути при обробці інструментами з асиметричним розміщенням лез [57, 58].

До розточувальних головок із асиметричним розміщенням різальних елементів відноситься також і розточувальна головка з підвищеною вібростійкістю (рис. 1.12), яка також розглянута в [59].

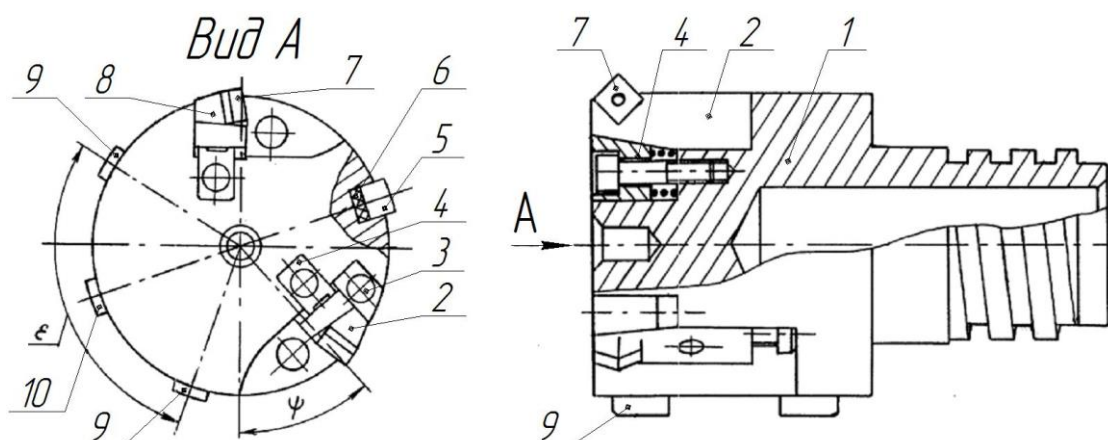


Рис. 1.12. Розточувальна головка підвищеної вібростійкості

Розточувальна головка складається з корпусу 1, повздовжніх пазів у які із

можливістю зсуву по колу встановлені розточувальні блоки 2, 8 радіальне положення яких можна регулювати клиновими механізмами 4. Розточувальний блок 2 також можливо регулювати як в кутовому напрямку так і вздовж осі за допомогою клину 3, який в свою чергу контактує із пружиною та опорною поверхнею розточувального блоку 2. Різання розточувального блоку 2 здійснює пластина 7, яка встановлена механічно.

Пружні напрямні які встановлені у повздовжні пази корпусу 1 складаються із твердосплавних пластин 5 та 10, що в свою чергу контактують з пружними прокладками 6 та встановлені нерухомо та з боку найбільшого центрального кута між розточувальними блоками 2 та 8.

Зміщення різців відносно осі можна визначити за формулою:  $\chi = \psi \cdot s / 360$ , де  $\psi$  – кутове зміщення різця в перпендикулярній площині відносно осі розточувальної головки. Недоліками цієї конструкції являється: складність забезпечення відповідної точності обробленої поверхні отвору, що залежить як від точності самих розточувальних пластин, так і від їх точного встановлення у розточувальному блоці; несиметричність розміщення різальних елементів спричинює появу мікронерівностей на обробленій поверхні різної висоти та не забезпечує відповідне зрівноваження радіальних складових сил різання, в результаті чого не зважаючи на використання напрямних елементів, в процесі роботи можливе відхилення осі отвору від прямолінійності.

Проаналізувавши конструкції багатолезових металорізальних інструментів з асиметричним розташуванням різальних елементів, працюючих за схемою поділу припуску та подачі, можна відзначити їх перевагу, над інструментами із симетричним розташуванням, а саме підвищену вібростійкість [56, 57], що дозволяє забезпечити ефективнішу роботу та вищу якість поверхні обробленої деталі.

### **1.3.3. Багатолезові металорізальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою одночасного поділу припуску та подачі**

Особливість багатолезових різальних інструментів працюючих за схемою одночасного поділу припуску та подачі заключається у розбиття лез на групи, в



межах якої відбувається поділ подачі, а між цими групами забезпечується поділ припуску.

До представників даного класу інструментів можна віднести розточувальну головку фірми Tungaloy (рис. 1.13), яка складається із корпусу 1, до обидвох сторін якого припаяні різальні елементи 2, 3, 4 та 5, які мають різний радіальний виліт вздовж осі, та хвостовика 6.

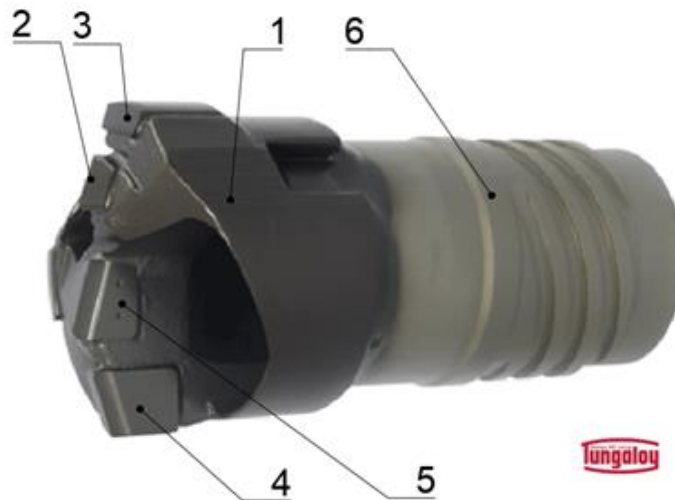


Рис. 1.13. Розточувальна головка фірми Tungaloy

До представників різальних інструментів, які працюють за методом поділу припуску і подачі можна віднести розточну головку (рис. 1.14), яка описана у [37, 41]. Метою розточувальної головки є забезпечення чистової обробки отвору за один прохід використовуючи жорстко-закріплені різці 5 та специфіку плаваючої пластини 3. Особливість конструкції даної розточувальної головки в тому, що плаваючі пластини встановлюються в один чи два прямокутних паза, які знаходяться на його корпусі. А направляючі у вигляді шпонок повернуті на  $45^\circ$  відносно різальних кромки. Вихід МОТС з торцевої поверхні головки перекривається гвинтом 6. Різальні елементи 5 які нерухомо встановлені у різцетримач 1 та закріплені гвинтами 2, забезпечують розточування отвору із значним припуском за один прохід, а пластини 3 – високу якість та точність обробленої поверхні на всю довжину оброблюваного отвору.

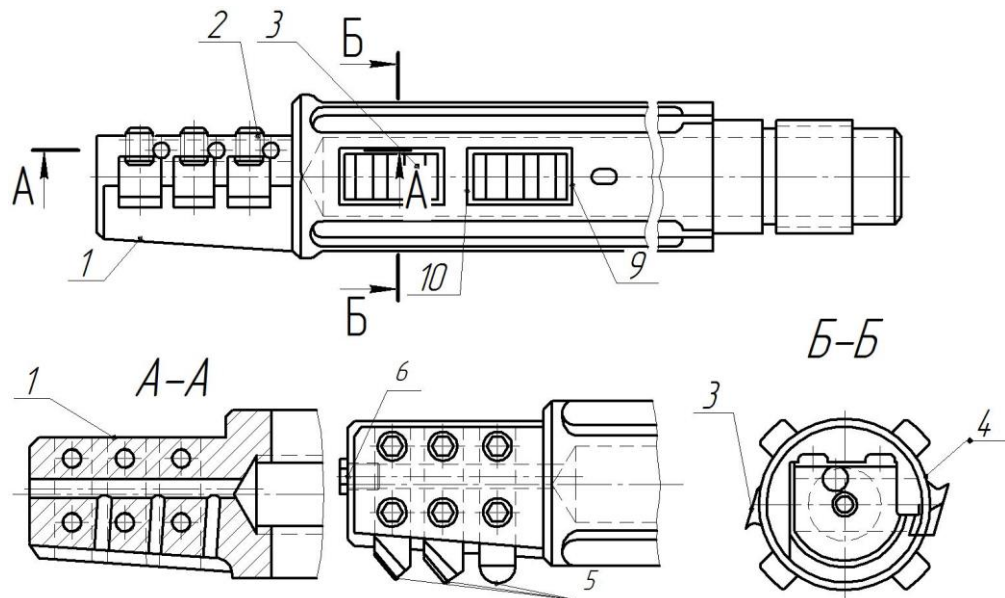


Рис. 1.14. Комбінована розточувальна головка

Ще одним представником даного класу інструментів є розточувальна головка, [18, 51], що складається з корпусу 5 (рис. 1.15 а,б,в), на одному кінці якого розташованих хвостовик 3 з центральним отвором 2. На хвостовику 3, для співвісного з'єднання різального інструменту та пустотілої оправки, виконані конусна 4 та різьова 1 поверхні. Допускається конусну частину замінити циліндричною. В радіальні пази 6 які розташовані на правому кінці корпусу 5, встановлюються три чистові різці 7, 12, та 15 і один чорновий різець 9, які притискаються до диска 10 гвинтами 11. Диск 10 в свою чергу знаходиться в жорсткому контакті з корпусом 1 за допомогою гвинтів 13 і штифтів 14. Виліт різців в радіальному напрямку регулюється гвинтами 8. Для підводу МОТС в зону різання на різцях 7, 9, 12, 15 виконані спеціальні пази.

Центральні кути між вершинами чистових різців першого 7 і другого 12  $\theta_1$  та першого 7 і третього  $\theta_2$  знаходяться у перпендикулярній до повздовжньої осі головки площині. Допоміжні кути в плані  $\varphi'$  різців 7, 12, 15 та головні кути в плані  $\varphi$  різців 7, 12 однакові, а на різці 9 кут в плані коригований.

Положення чорнового різця 9 визначається положенням результуючої сили від радіальних складових сил різання, утворених чистовими різцями 7, 12, 15. Центральний кут між вершиною першого чистового різця 7 та вершиною чорнового різця 9  $\theta_3$ , в площині перпендикулярній до поздовжньої осі

інструменту, для обох варіантів конструкторського виконання чотирирізцевої розточувальної головки.

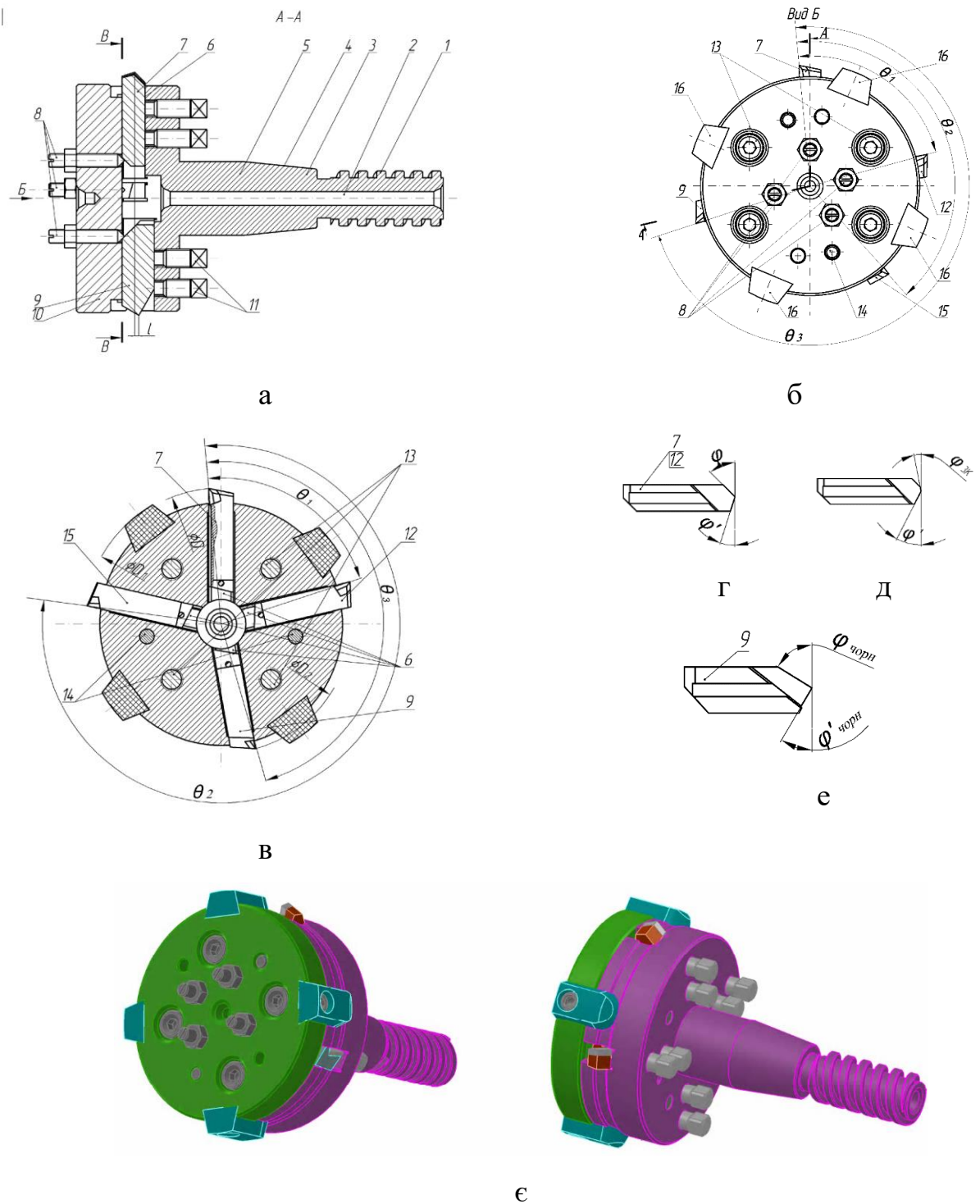


Рис. 1.15. Конструкція розточувальної головки для комбінованого розточування глибоких отворів за I варіантом її конструкторського виконання: а) головний вигляд; б) вид по стрілці Б; в) переріз В-В; г), д), е) проекції в плані відповідно першого та другого г), третього д) чистових і чорнового е) різців; е) – 3D модель

Вершина чорнового різця 9 зміщена відносно вершин чистових різців 7, 12, 15, що знаходяться в одній площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструменту, в напрямку подачі на величину  $l$ , а його виліт в радіальному напрямку менший від радіального вильоту чистових різців 7, 12, 15, що виставлені на однаковий діаметр  $D$ , на величину  $t_{чист}$ , яка визначається з умови зрівноваження радіальних складових сил різання на чистових та чорновому 9 різцях.

На периферії корпусу та диска виконані чотири симетрично розміщені пази типу «ластівчин хвіст», в які встановлені напрямні елементи 16, виконані із поліуретану. Для фіксування інструменту в отворі та зменшення впливу різноманітних коливань на якість оброблення діаметр описаного кола по напрямних ( $D_I$ ) більший діаметра описаного кола навколо вершин чистових різців (діаметра оброблюваного отвору  $D$ ) на величину  $D_I - D = 1-2$  мм. Направні зміщені в напрямку протилежному до напрямку подачі відносно вершин різальних елементів на певну величину. Для плавного входу розточувальної головки в отвір для обробки, у напрямних виконані спеціальні забірні фаски.

Застосування комбінованих розточувальних головок при чистовому розточуванні дало можливість виконувати операцію чистового розточування глибокого отвору за один прохід замість раніше використовуваних двох-трьох проходів. Це зниження числа проходів дозволило підвищити продуктивність операції розточування глибоких отворів на 70-80% [14, 15].

В роботах [15, 18, 19, 21, 51] подані рекомендації до встановлення як технологічних так і конструкторських параметрів чотирирізцевих розточувальних головок, що працюють за методом одночасного поділу припуску та подачі без врахування радіуса при першині різця, а в [19] – з врахуванням радіусів вершин різців на базі моделей шорсткості, поданих в [16, 17, 49].

В праці [20] частково розглянутий підхід до розміщення різців у трирізцевій розточувальній головці, що працює із одночасним поділом припуску та подачі, проте він вимагає додаткового обґрунтування.

#### **1.4. Висновки по розділу, постановка мети і задач дослідження**

Внаслідок проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Для забезпечення кращих якісних показників отворів (в т.ч. глибоких) найкраще підходить схема обробки, при якій в корпусі інструменту виникають напруження розтягу.
2. Внаслідок аналізу конструкцій розточувальних інструментів виявлено доцільні сфери їх використання.
3. Для забезпечення найбільшої продуктивності доцільно застосовувати розточувальні інструменти, які забезпечують в процесі роботи одночасний поділ припуску на обробку та подачу.

Мета роботи: розробка конструкції трирізцевих розточувальних головок підвищеної продуктивності, що працюють з одночасним поділом припуску та подачі, на основі науково-обґрунтованого підходу до розміщення різців

Основні завдання:

1. Розробити методика обґрунтування технологічних конструкторських параметрів трирізцевих розточувальних головок які б забезпечували одночасно поділ подачі і припуску при розточуванні.
2. Запропонувати залежності для визначення основних технологічних та конструкторських параметрів.
3. Здійснити оптимізацію допустимих значень геометричних параметрів чистових різців з умови забезпечення максимальної продуктивності.
4. Розробити конструкцію трирізцевої розточувальної головки за запропонованою методикою.
5. Визначити економічну ефективність використання запропонованого інструменту.

## РОЗДІЛ 2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1. Загальна концепція та методика забезпечення підвищення продуктивності обробки трирізцевою розточувальною головкою

Подамо методику розміщення різців та визначення конструкторсько-технологічних параметрів для розточувальної головки підвищеної продуктивності, яка забезпечує оброблення отворів з одночасним поділом товщини та ширини зрізуваного шару, виходячи із забезпечення заданої шорсткості оброблюваної поверхні на базі математичних моделей, поданих в [16, 49]. Використаємо у трирізцевій розточувальній головці (ТРГ) один чорновий та два чистові різці. Чорновий різець змістимо відносно чистових у осьовому напрямку в сторону подачі на певну величину. Та у радіальному напрямку на величину його глибини різання  $t$ . Суть даного методу полягає у спеціальному кутовому розміщенні чистових різців, яке дає змогу забезпечити низьку шорсткість обробленої поверхні зокрема другим чистовий різець встановлюється у вершину мікронерівності, що створена першим чистовим різцем [20]. З урахуванням того, що значення кутів в плані головного  $\varphi$  та допоміжного  $\varphi'$  на чистових різцях приймаємо однаковими  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$  та  $\varphi'_1 = \varphi'_2 = \varphi'$  виникає необхідність корегування одного із них для забезпечення однакової теоретичної висоти мікронерівностей профілю обробленої поверхні. Запропоновано два методи корегування кутів у плані чистових різців, і, відповідно, два варіанти конструкторського виконання головки: перший – коректування головного кута в плані  $\varphi$  на другому чистовому різці (ДЧР)–  $\varphi_{2K}$ , другий – коректуванням допоміжного кута в плані  $\varphi'$  на ДЧР –  $\varphi'_{2K}$ . Чорновий різець пропонується розміщувати в точці рівнодійної радіальної сили різання на чистових різцях

Подамо загальну схему зрізання шару матеріалу запропонованими ТРГ, (рис. 2.1) [54].

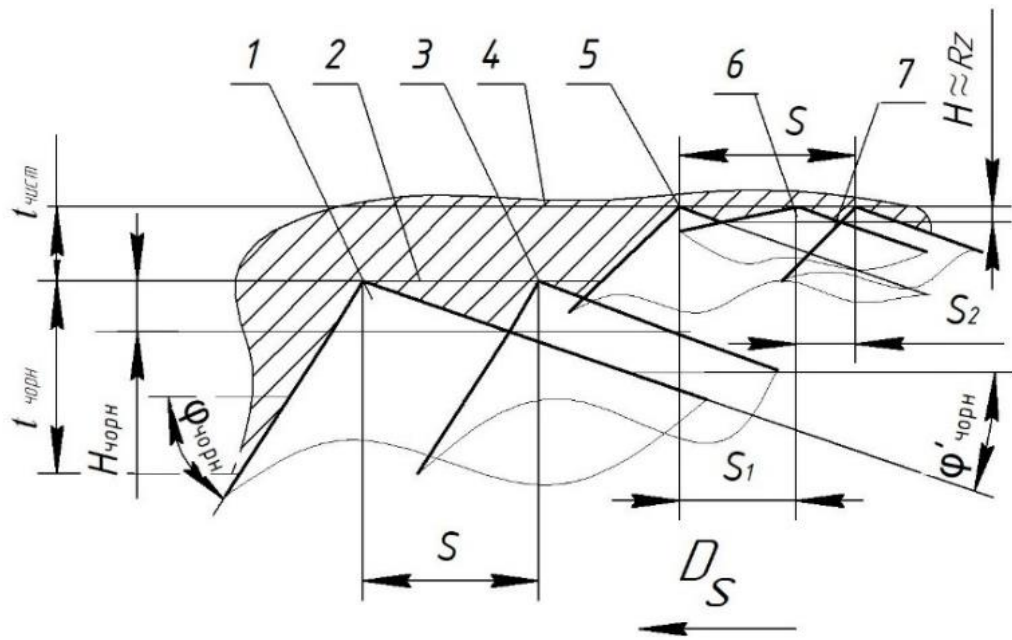


Рис. 2.1. Загальна схема зрізання шару матеріалу ТРГ, з одночасним поділом припуску та подачі: 1 і 3 – положення чорнового різця у момент закінчення та початку оберту відповідно; 2 і 4 – траєкторія руху вершин різців відповідно чорнового та чистових; 5 і 7 – положення першого чистового різця у момент початку оберту і у момент після закінчення оберту, відповідно; 6 – положення другого чистового різця після закінчення оберту

## 2.2. Обґрунтування конструкторських та технологічних параметрів трирізевих розточувальних головок, що працюють з одночасним поділом припуску та подачі

### 2.2.1. Обґрунтування конструкторських та технологічних параметрів трирізевих розточувальних головок без врахування радіусів вершин різців

Для пояснення запропонованої суті розміщення чистових різців у розточувальній головці скористаємось рис. 2.2, на якому подана схема розміщення чистових різців за першим (I) варіантом конструкторського виконання ТРГ [54].

Введемо систему координат  $uOx$ , для того щоб визначити значення подачі на чистових різцях (рис. 2.2). Розмістимо вершини різців на осі  $Ox$  та направимо її в напрямку протилежному від подачі, тобто вправо.

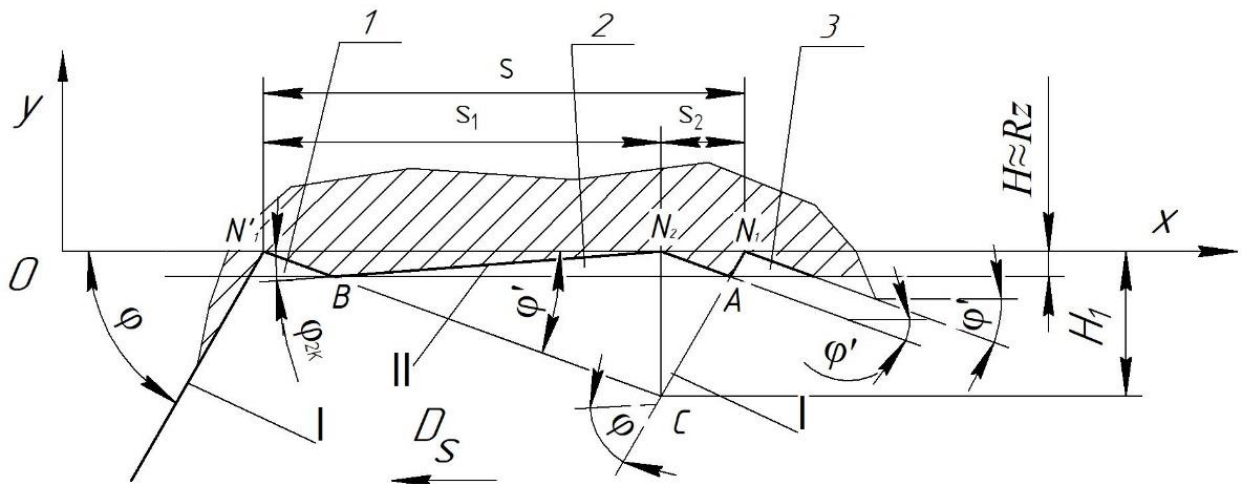


Рис. 2.2. Схема розміщення чистових різців та мікронерівність поверхні за першим варіантом: 1 і 3 – положення ПЧР у момент закінчення оберту та початку оберту момент відповідно; 2 – положення ДЧР

Виберемо довільну точку на осі  $Ox$  –  $N_1$ , яка буде вершиною ПЧР – 3 на початку оберту. Промені з  $N_1$  проведені під кутами  $\varphi$  та  $\varphi'$  до осі  $Ox$  будуть відображати положення головної та допоміжної різальної кромки (ГРК і ДРК) ПЧР у момент початку оберту. Задамо величину  $H \approx Rz$  і прийнявши [16] величина подачі на другому чистовому різці буде:

$$s_2 = H \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi'). \quad (2.1)$$

Ця подача схематично буде відображатись відрізком  $N_1N$  на осі  $Ox$ . Точка  $N_2$  є вершиною ДЧР – 2 в момент закінчення оберту. Місцезнаходження допоміжної різальної кромки другого чистового різця визначимо провівши з т.  $N_2$  пряму лінію під кутом  $\varphi'$  до осі  $Ox$ .

Після проведення з точки  $N_2$  прямої перпендикулярної осі  $Ox$  до перетину з головною різальною кромкою другого чистового отримаємо точку  $C$  та відрізок  $N_2C$ . Провівши лінію під кутом  $\varphi'$  з точки  $C$  до перетину з віссю  $Ox$ , отримаємо положення першого чистового різця в момент закінчення оберту – 1, а разом із тим і величину подачі на оберт ( $s$ , мм/об), дорівнює довжині  $N_1N_1' = N_1N_2 + N_2N_1'$  (рис. 2.2).



З  $\Delta N'_1 N_2 C$ ,  $N_2 C = H_1 = s_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi$ . Значення подачі  $s = H_1 \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')$  підставивши значення подачі  $s_2$  з (2.1), і значення  $H_1$  яке рівне  $H_1 = s_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi$  будемо мати:  $s = H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')$ .

Звідси отримуємо:

$$s = H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.2)$$

Для отримання положення головної різальної кромки другого чистового різця, значення корегованого кута  $\varphi_{2K}$ , проведемо пряму через точки  $N_2$  та  $B$  (точка перетину прямої, яка паралельна осі  $Ox$ , проходить через точку  $A$ , з головною різальною кромкою ПЧР після закінчення оберту). Довжина відрізка  $N'_1 N_2$  відповідає значенню подачі ПЧР, відповідно  $s_1$  (рис. 2.2).

Подачу  $s_1$  на першому чистовому різці визначали з  $\Delta N'_1 N_2 C$ :

$$s_1 = N'_1 N_2 = H_1 / \operatorname{tg} \varphi'. \quad (2.3)$$

Розглянувши  $\Delta N'_1 N_2 C$  значення  $H_1$  визначиться із залежності:

$$H_1 = s_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.4)$$

Підставивши з (2.1) в (2.4) замість  $s_2$  його значення отримаємо:

$$H_1 = H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.5)$$

Підставивши значення  $H_1$  з (2.4) та (2.5) в (2.3), отримали величин подачі на ПЧР  $s_1$ , Отримаємо:

$$s_1 = \frac{H_1}{\operatorname{tg} \varphi'} = \frac{s_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi'} = \frac{H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi'} = \frac{H + H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi'}.$$

Звідси:

$$s_1 = \frac{H + H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi'} \quad (2.6)$$

Подамо пояснення другого варіанту конструкторського виконання головок з допомогою схеми (рис. 2.3)[54].

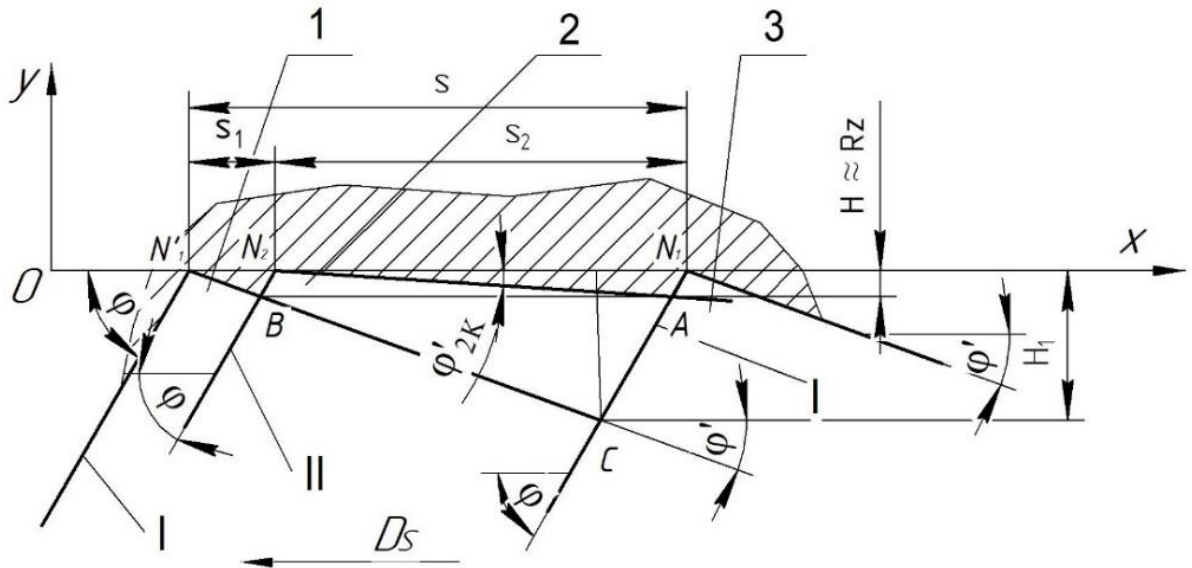


Рис. 2.3. Схема розміщення чистових різців та мікронерівності поверхні за II варіантом: 1 – положення ПЧР на початку обертю; 2 – положення ДЧР зміщеного відносно I-го на кут  $\theta_1$ ; 3 – положення I-го різця у момент закінчення обертю

Визначимо технологічні параметри такі як значення подачі чистових різців, для цього введемо систему координат  $uOx$ . Розташування ПЧР в момент початку та закінчення обертю – 1 та 3 відповідно, що аналогічно за I варіанту виконання трирізцевої розточувальної головки. Другий чистовий різець потрібно встановити так, щоб висота мікронерівностей, які утворилися в наслідок проходження головної різальної кромки другого чистового різця та допоміжної різальної кромки першого чистового різця була рівною  $H \approx Rz = \text{const}$ , а коригуванням значень допоміжного кута в плані на ДЧР –  $\varphi'_{2K}$  забезпечуємо, щоб теоретична висота мікронерівностей, утворених в результаті контактів головної різальної кромки ПЧР та допоміжної різальної кромки ДЧР теж була

рівна заданій  $H \approx Rz = const$ . Визначимо подачу  $s_1$  як  $s - s_2$  взявши значення подачі  $s$  з (2.2), а значення  $s_2$  з (2.1). Здійснимо перетворення:

$$\begin{aligned} s_1 &= s - s_2 = H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi - H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') = H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')^2 - \\ &- H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') = H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot (\operatorname{tg} \varphi (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') - 1) = \\ &= H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi' - 1) = H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi' = \\ &= H \cdot \operatorname{ctg} \varphi' + H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi')^2 = H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi' + \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi')^2). \end{aligned}$$

Отже:

$$s_1 = H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi' + \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi')^2). \quad (2.7)$$

Вплив  $\varphi$  та  $\varphi'$  на  $s$  буде такий же, як і у I варіанті виконання трирізцевої розточувальної головки.

### 2.2.2. Обґрунтування конструкторських та технологічних параметрів трирізцевих розточувальних головок із радіусними вершинами різців

Для випадку коли радіус вершини різця не рівний нулю, тобто  $r \neq 0$  схема розміщення ПЧР та ДЧР та мікропрофіль поверхні після роботи розточувальної головки з корегованим головним кутом в плані (за першим варіантом) зображено на рис. 2.4.

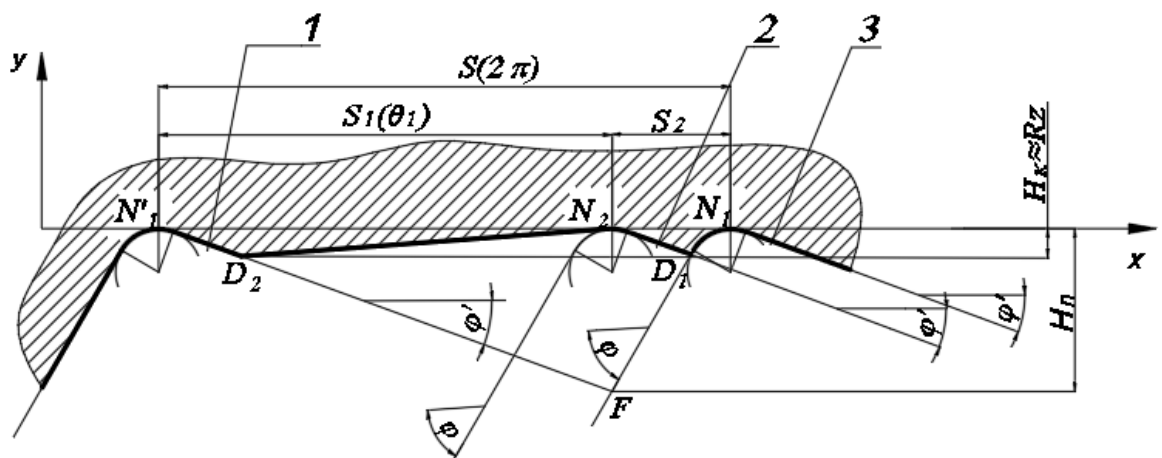


Рис. 2.4. Схема розміщення чистових різців за I варіантом і профіль обробленої поверхні: 1, 3 – положення ПЧР у момент закінчення та початку оберту відповідно; 2 – положення ДЧР

Для визначення подач на чистових різцях скористаємось системою координат  $yOx$ , аналогічно як в п.2.2.1. Напрямок осі  $Oy$  – вгору, а вісь  $Ox$  – протилежно до напрямку подачі). Вершини першого та другого чистових різців розмістимо осі  $Ox$ .

Вибравши довільну точку на осі  $Ox$  –  $N_1$  і розмістили в ній вершину ПЧР у момент початку здійснення оберт. Із врахуванням величини  $H \approx Rz_p$  і використавши залежності [16] величина подачі на (ДЧР)  $s_2$  буде визначатись в залежності від  $\varphi$ ,  $\varphi'$ ,  $r$  та  $H$  і їх комбінацій.

Подемо у детальнішому вигляді на рис. 2.5.а,б,в. варіанти профілів  $N_2N_1D_1$  в залежності від комбінацій вищезазначених параметрів. За формулами [16] знайдемо подачу на другому чистовому різці  $s_2$ .

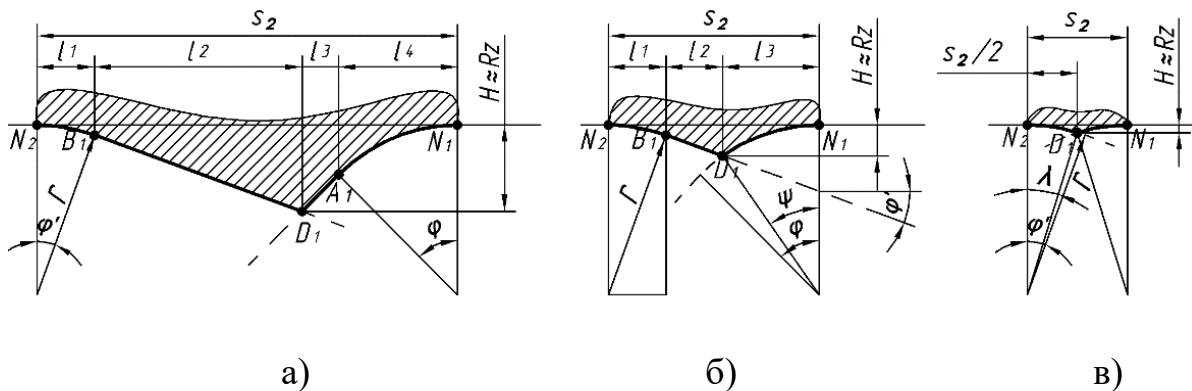


Рис. 2.5. Можливі схеми профілю поверхні для визначення  $s_2$ ,

сформовані в результаті контактів відповідних радіусних та прямолінійних ділянок ГРК та ДРК: а) в результаті контактів радіусної і прямолінійної ділянок головної різальної кромки першого чистового різця з ПГР та прямолінійної і радіусної ділянок допоміжної різальної кромки ДЧР з обробленою поверхнею (ОП); б) радіусної частини ГРК ПЧР з ПГР та прямолінійної і радіусної частин ДРК ДЧР з ОП; в) радіусної частини ГРК ПЧР з ПГР та радіусної частини ДРК ДЧР з ОП

При виконанні умови  $H > r - r \cdot \cos \varphi$  (рис. 2.5,а):

$$s_2 = r(\sin \varphi + \sin \varphi') + \frac{H + r \cos \varphi - r}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{H + r \cos \varphi' - r}{\operatorname{tg} \varphi'}, \quad (2.8)$$

Якщо  $r - r \cdot \cos \varphi' < H < r - r \cdot \cos \varphi$ , (рис. 2.5,б):

$$s_2 = r \cdot \sin \varphi' + \frac{H - r + r \cos \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi'} + r \cdot \sqrt{1 - ((r - H)/r)^2}, \quad (2.9)$$

при  $H < r - r \cdot \cos \varphi'$  (рис. 2.5,в):

$$s_2 = 2r \sqrt{1 - ((r - H)/r)^2}. \quad (2.10)$$

Вершину ДЧР розташовуємо лівіше від ПЧР на величину подачі  $s_2$ . Вважаючи, що вона встановлена в місці максимальної величини мікронерівностей профілю обробленої поверхні, після проходу першого чистового різця, розмістимо перший чистовий різець після закінчення оберту. Для цього проведемо з вершин ДЧР відрізок  $N_2F$ , який перпендикулярний до напрямку подачі до перетину із головною різальною кромкою ПЧР до початку оберту і відповідно ця ж точка F буде лежати на ДРК ПЧР після здійснення оберту.

Встановивши положення першого чистового різця після здійснення оберту, визначали подачу на оберт подачу на оберт  $s$ , скориставшись рис. 2.6, на якому показані варіанти можливих профілів обробленої поверхні.

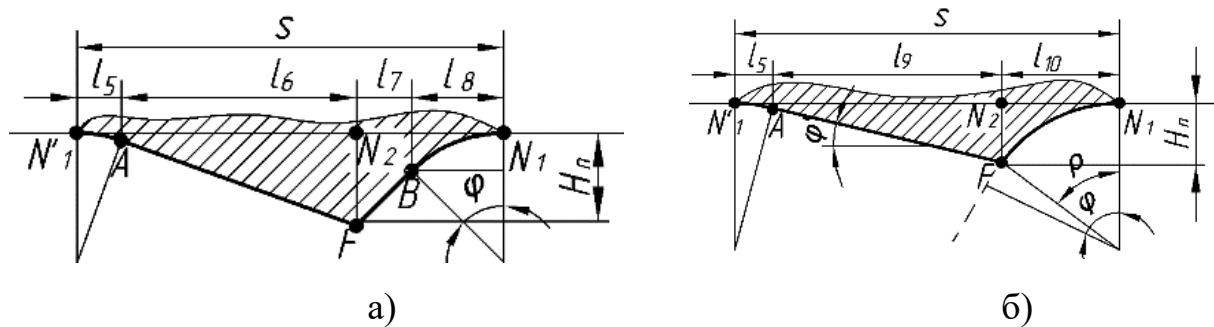


Рис. 2.6. Фрагмент схеми з рис. 2.4 для визначення величини  $s$  при теоретично отримуваних варіантах профілю: а) контакт радіусної і прямолінійної частин ГРК ПЧР до початку оберту з поверхнею головного руху та прямолінійної і радіусної частин ДРК ПЧР після закінчення оберту з обробленою поверхнею; б) радіусна ділянка ГРК ПЧР до початку оберту з ПГР та прямолінійна і радіусна ділянки ДРК ПЧР після здійснення оберту з ОП

Знайдемо величину  $N_2F = H_{II}$  (рис. 2.6,а,б). Якщо знайдена за (2.8), (2.9)

чи (2.10) величина  $s_2 > r \cdot \sin \varphi$ , то  $H_n = s_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi - r(1 - \cos \varphi) / \cos \varphi$  (рис. 2.6а): і

загальна подача  $s$  визначиться за формулою:

$$s = r(\sin \varphi + \sin \varphi') + \frac{H_n + r \cos \varphi - r}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{H_n + r \cos \varphi' - r}{\operatorname{tg} \varphi'}, \quad (2.11)$$

у випадку  $s_2 < r \cdot \sin \varphi$  то  $H_n = r - r \sqrt{(1 - s_2 / r)^2}$  (рис. 2.6,б)

$$s = r \cdot \sin \varphi' + \frac{H_n - r + r \cos \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi'} + r \cdot \sqrt{1 - ((r - H_n) / r)^2}. \quad (2.12)$$

Використавши рис. 2.7. знайдемо значення корегованого головного кута в плані на другому чистовому різці  $\varphi_{2K}$  скористаємось

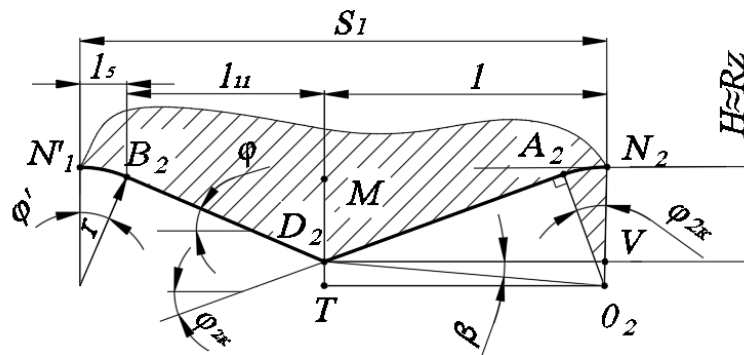


Рис. 2.7. Розрахункова схема для визначення значення скорегованого головного кута в плані на ДЧР  $\varphi_{2K}$

Для спрощення наступних отриманих формул спочатку знайдемо величину  $l$  (рис 2.7):

$$l = s_1 - (l_5 + l_{11}) = s_1 - r \cdot \sin \varphi' + (H - r + r \cdot \sin \varphi') / \operatorname{tg} \varphi', \quad (2.13)$$

Кут  $\beta$  визначиться із залежності:

$$\beta = \operatorname{arctg}(r - H) / l; \quad (2.14)$$

Розглянувши  $\Delta D_2 O_2 V$ , з якого:  $D_2 O_2 = l / \cos \beta$  і оскільки  $D_2 O_2$  є також і гіпотенузою в  $\Delta D_2 O_2 A_2$ , визначимо  $\angle A_2 D_2 O_2$ :

$$\angle A_2 D_2 O_2 = \operatorname{arcsin} A_2 O_2 / D_2 O_2 = \operatorname{arcsin} r \cos \beta / l.$$

Оскільки  $\varphi_{2K} = \angle A_2 D_2 O_2 - \beta$ , то:

$$\varphi_{2K} = \operatorname{arcsin} \frac{r \cdot \operatorname{tg} \varphi' \cdot 1 / \sqrt{1 + \beta^2}}{s_1 - 2r \sin \varphi' - H + r} - \operatorname{arctg} \beta. \quad (2.15)$$

Схема розміщення ПЧР та ДЧР за II варіантом для випадку коли  $r \neq 0$  та розрахунковий мікропрофіль поверхні подана на рис. 2.8.

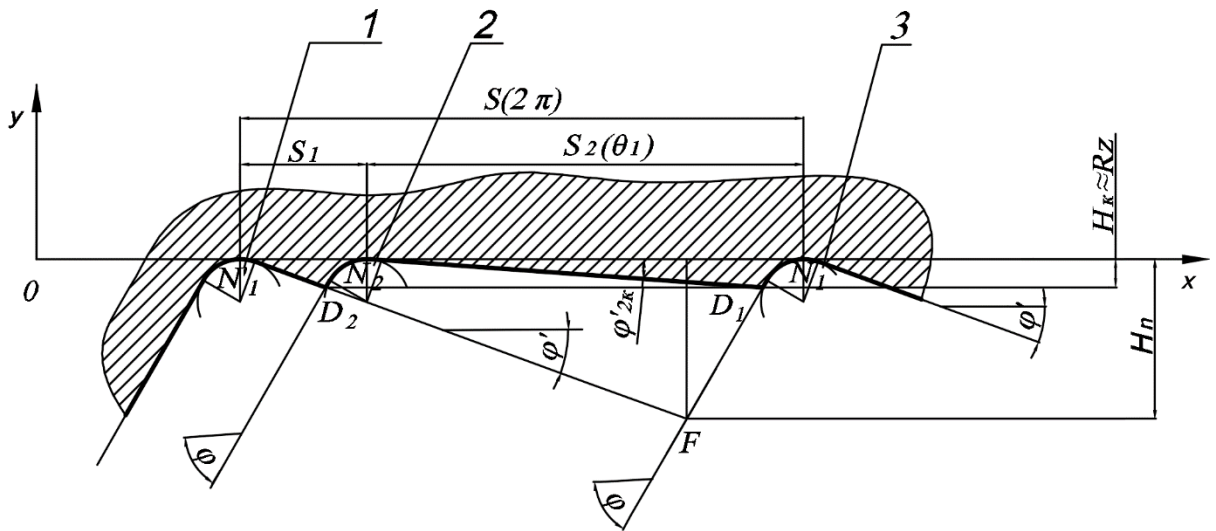


Рис. 2.8. Схема розміщення ПЧР та ДЧР за II варіантом виконання ТРГ і розрахунковий профіль обробленої поверхні: 1,3 – положення ПЧР у момент закінчення та початку відповідно; 2 – положення ДЧР

Для визначення подач на ПЧР та ДЧР введемо аналогічно до попередніх випадків систему координат  $yOx$ . Принцип розміщення першого чистового різця аналогічний до його розміщення за I варіантом. Другий чистовий різець встановлюємо так, щоб в результаті контактів головної різальної кромки ДЧР та допоміжної ПЧР висота мікронерівностей була рівна  $H \approx Rz = const.$  Скорегувавши значення допоміжного кута в плані  $\varphi'_{2K}$  на ДЧР отримуємо також задану висоту  $H \approx Rz = const.$  Як і в попередньому випадку  $s_2$  та  $s$  отримуються за формулами відповідно (2.1), та (2.2), значення  $s_1 = s - s_2$ .

Із рис. 2.9. визначимо величину корегованого допоміжного кута в плані на другому чистовому різці.

Виконаємо аналогічні розрахунки як і за першим варіантом. Кут  $\beta$  визначиться за формулою (2.14). З  $\Delta D_2 O_2 V$ :  $D_2 O_2 = \frac{l}{\cos \beta}$ . Відрізок  $D_2 O_2$  є гіпотенузою в  $\Delta D_2 O_2 A_2$ , відповідно  $\angle A_2 D_2 O_2$ :  $\sin \angle A_2 D_2 O_2 = A_2 O_2 / D_2 O_2 =$   

$$= \frac{r}{a / \cos \beta} = \frac{r \cos \beta}{a}$$

З урахуванням того, що  $\angle A_2 D_2 V = \varphi_{2K} = \angle A_2 D_2 O_2 - \beta$ , то:

$$\varphi'_{2K} = \arcsin \frac{r \cos \beta}{a} - \beta. \quad (2.16)$$

де  $a = s_1 - (a_1 + a_2)$  при  $s_1 \geq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi' + 1/\sin \varphi')$  і  $a = s_1 - a_3$  при  $s_1 \leq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi' + 1/\sin \varphi')$ , де  $a_1 = r \cdot \sin \varphi'$ ,  $a_2(H - r + r \cdot \sin \varphi')/\operatorname{tg} \varphi'$  (рис. 2.9),  $a_3 = r \cdot \sin(\arccos(r - H)/r)$ .

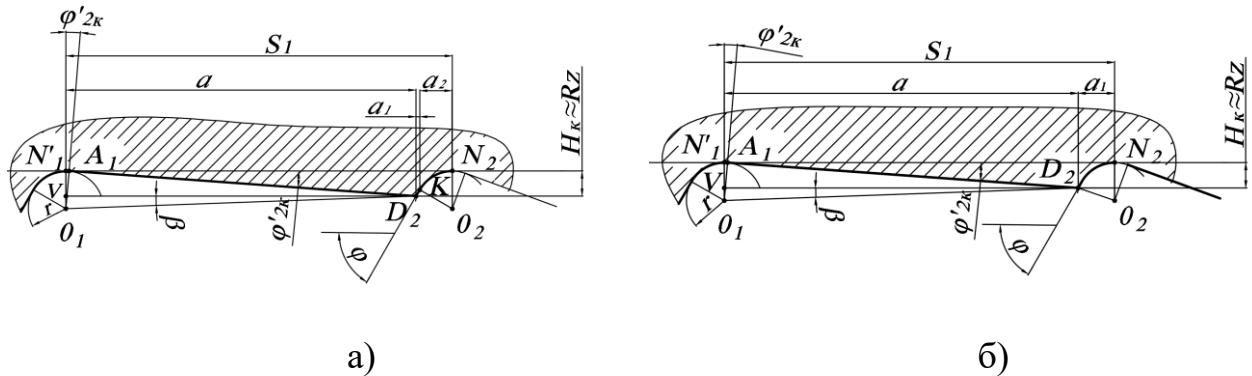


Рис. 2.9. Схема для визначення скорегованого значення допоміжного кута в плані на другому чистовому  $\varphi'_{2K}$  при певних варіантах профілю: а) контактування РД і ПД ГРК ПЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ДЧР з ОП; б) контактування РД ГРК ПЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ДЧР з ОП

### 2.3. Оптимізація кутів в плані різців

#### 2.3.1. Оптимізація кутів в плані за I варіантом конструкторського виконання

Оптимізацію проведемо, знайшовши такі комбінацію кутів в плані різців  $\varphi$  та  $\varphi'$ , щоб при заданому розміщенні різців можна було встановити максимальну подачу. Взявши до уваги [54], та розглянувши  $\Delta N'_1 N_2 B$  (рис.2.2) знайдемо скореговане значення  $\varphi_{2K}$  на ДЧР:  $\varphi_{2K} = \operatorname{arctg}((s_1 - H \cdot \operatorname{ctg} \varphi')/H)$ . Спростуємо дане рівняння та підставляємо значення  $s_1$  з (2.6): Подамо певні перетворення:

$$\begin{aligned} \varphi_{K2} &= \operatorname{arctg} \frac{\left( \frac{H + H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi'} \right) - H \cdot \operatorname{ctg} \varphi'}{H} = \operatorname{arctg} \frac{(H + H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi') \operatorname{ctg} \varphi' - H \cdot \operatorname{ctg} \varphi'}{H} = \\ &= \operatorname{arctg} \frac{H \operatorname{ctg} \varphi' + H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi')^2 - H \cdot \operatorname{ctg} \varphi'}{H} = \operatorname{arctg} \frac{H(\operatorname{ctg} \varphi' + \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi')^2 - \operatorname{ctg} \varphi')}{H} = \\ &= \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \varphi' + \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi')^2 - \operatorname{ctg} \varphi') = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi')^2) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{(\operatorname{tg} \varphi')^2} \end{aligned}$$

отримаємо:



$$\varphi_{2K} = \text{arcctg}(\text{tg}\varphi/\text{tg}^2\varphi'). \quad (2.17)$$

Аналіз впливу головного  $\varphi$  та допоміжного  $\varphi'$  кутів у плані на величину подачі  $s$  (2.2) здійснювали з використанням графіків залежностей  $s$  від цих величин, що представлені на рис. 2.10.

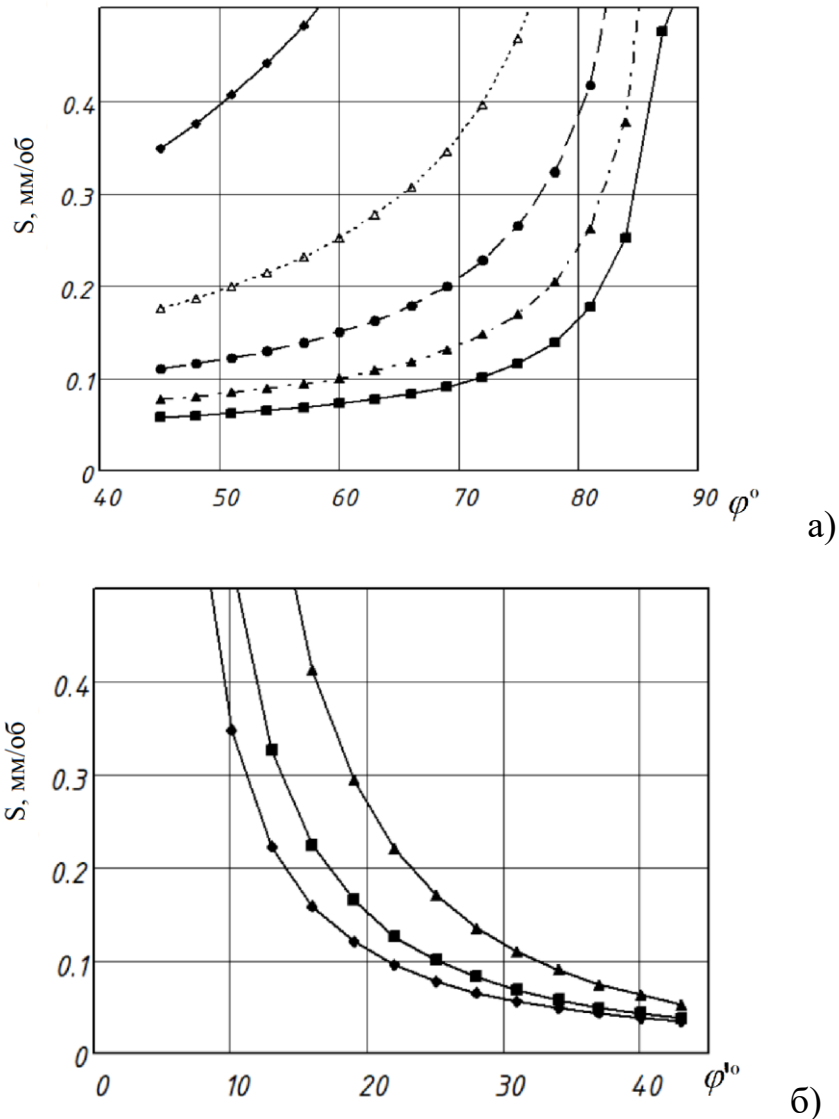


Рис. 2.10. Графіки залежностей подачі  $s$  ТРГ від  $\varphi$  та  $\varphi'$  при  $H = \text{const}$ :  
 а)  $s = f(\varphi)$  при різних значеннях  $\varphi'$ :  $\blacklozenge\text{---}\blacklozenge\text{---}\blacklozenge\text{---}$   $\varphi' = 10^\circ$ ;  $\blacktriangle\text{---}\blacktriangle\text{---}\blacktriangle\text{---}$   $\varphi' = 15^\circ$ ;  $\bullet\text{---}\bullet\text{---}\bullet\text{---}$   $\varphi' = 20^\circ$ ;  $\blacktriangleleft\text{---}\blacktriangleleft\text{---}\blacktriangleleft\text{---}$   $\varphi' = 25^\circ$ ;  $\blacksquare\text{---}\blacksquare\text{---}\blacksquare\text{---}$   $\varphi' = 30^\circ$ ; б)  $s = \psi(\varphi')$  при різних значеннях  $\varphi$ :  
 $\blacklozenge\text{---}\blacklozenge\text{---}\blacklozenge\text{---}$   $\varphi = 45^\circ$ ;  $\blacksquare\text{---}\blacksquare\text{---}\blacksquare\text{---}$   $\varphi = 60^\circ$ ;  $\blacktriangleleft\text{---}\blacktriangleleft\text{---}\blacktriangleleft\text{---}$   $\varphi = 75^\circ$

Аналіз вищеподаних графіків (рис. 2.10.а) показує, що із збільшенням головного кута в плані  $\varphi$  збільшується також і загальна величина подачі  $s$  ТРГ при запропонованому розташуванні різців і заданому  $H \approx Rz = \text{const}$ . Із

збільшенням допоміжного кута в плані  $\varphi'$  (рис. 2.10,б) величина подачі  $s$  зменшується. Тобто, що для збільшення величини подачі на оберт (підвищення продуктивності обробки), при запропонованому розміщенні різців та  $H \approx Rz = \text{const}$  доцільно збільшувати  $\varphi$  та зменшувати  $\varphi'$  на різцях.

Графіки впливу головного та допоміжного кутів в плані першого і другого чистових різців на скорегований головний кута в плані другого чистового різця при  $H \approx Rz = \text{const}$ , представлені на рис. 2.11.

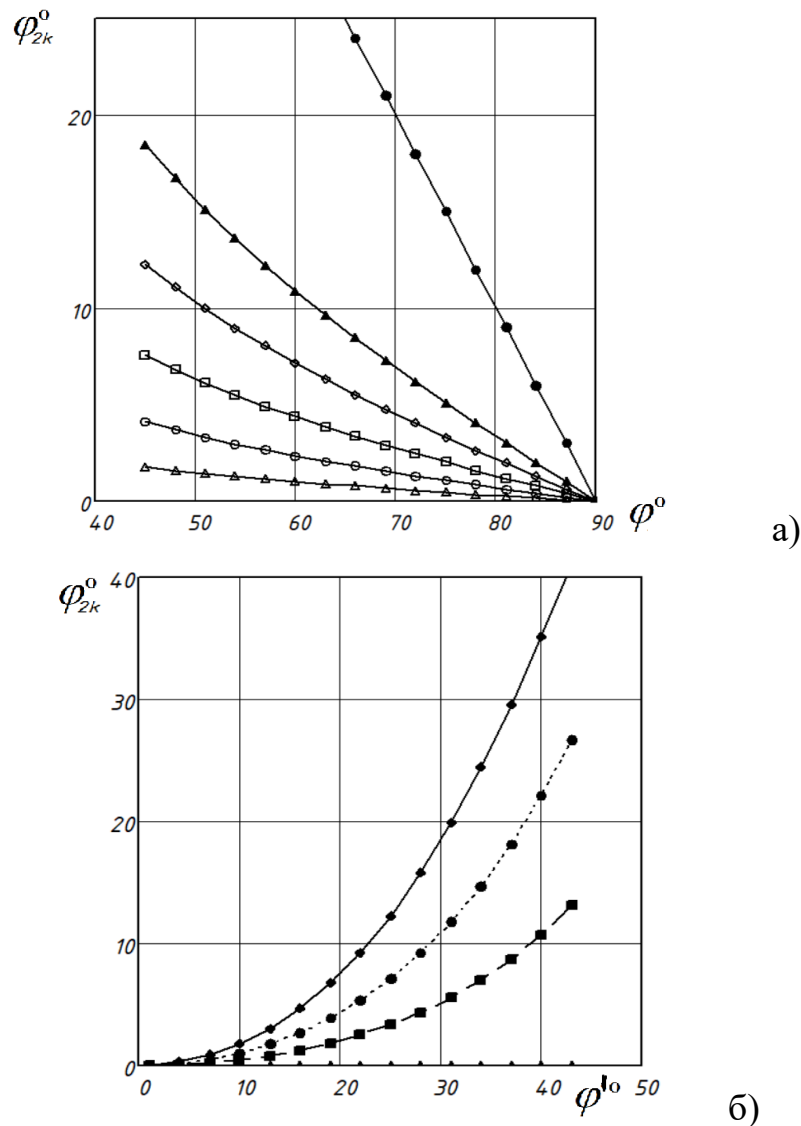


Рис. 2.11. Графіки залежностей  $\varphi_{2k}$  від значень  $\varphi$  та  $\varphi'$ : а)  $\varphi_{2k} = \nu(\varphi')$  при різних  $\varphi'$ :  $\triangle-\triangle-\triangle$  -  $\varphi' = 10^0$ ;  $\circ-\circ-\circ$  -  $\varphi' = 15^0$ ;  $\square-\square-\square$  -  $\varphi' = 20^0$ ;  $\diamond-\diamond-\diamond$  -  $\varphi' = 25^0$ ;  $\blacktriangle-\blacktriangle-\blacktriangle$  -  $\varphi' = 30^0$ ;  $\bullet-\bullet-\bullet$  -  $\varphi' = 45^0$ ; б)  $\varphi_{k2} = \zeta(\varphi')$  при різних  $\varphi$ :  $\blacklozenge-\blacklozenge-\blacklozenge$  -  $\varphi = 45^0$ ;  $\bullet-\bullet-\bullet$  -  $\varphi = 60^0$ ;  $\blacksquare-\blacksquare-\blacksquare$  -  $\varphi = 75^0$

З аналізу цих графіків робимо висновок, що із збільшенням  $\varphi$  – значення  $\varphi_{2K}$  зменшується, і із збільшенням  $\varphi'$  – збільшується. Характер впливу  $\varphi$  та  $\varphi'$  на скорегований головний кут в плані на ДЧР  $\varphi_{2K}$  протилежний до їхнього впливу на величину подачі на оберт  $s$ , що є технічним протиріччям. Розв'язок даного технічного протиріччя здійснили, методом знаходження (оптимізації) головного та допоміжного кутів в плані на ПЧР та ДЧР з використанням технічних обмежень [54].

Обмеження визначали із певних міркувань, які подані нижче:

I. Оскільки значення головного кута в плані має свої допустимі значення і не може бути меншим мінімального  $\varphi_{2\min}$ , то необхідно, щоб виконувалась нерівність:  $\varphi_{2\min} \leq \varphi_2$ . Тоді із використанням вищеподаних залежностей перше обмеження виразиться наступним чином:  $\varphi_{2K\min} \leq \text{arcctg}\left(\frac{\text{tg}\varphi}{(\text{tg}\varphi')^2}\right)$ , або  $\varphi \leq \text{arctg}\left((\text{tg}\varphi')^2 \cdot \text{ctg}\varphi_{2K\min}\right)$ .

II. Два чистові різці при запропонованому розміщенні повинні забезпечувати шорсткість не нижчу трирізцевої розточувальної головки з симетричним розміщенням різців то  $s_2$  на ДЧР  $s_2/s \leq 1/3$ . Підставимо в дану нерівність (2.1) і (2.2) та виконаємо певні перетворення:

$$\frac{H \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')}{H \cdot \text{tg}\varphi \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')^2} \leq \frac{1}{3}; \Rightarrow \frac{1}{\text{tg}\varphi \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')} \leq \frac{1}{3}$$

$$\text{tg}\varphi \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi') \leq 3; \Rightarrow 1 + \text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\varphi' \leq 3$$

$$\text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\varphi' \leq 2; \Rightarrow \text{tg}\varphi \leq \frac{2}{\text{ctg}\varphi'}; \Rightarrow \varphi \leq \text{arctg}\left(\frac{2}{\text{ctg}\varphi'}\right)$$

Отже друге обмеження:  $\varphi \leq \text{arctg}(2 \cdot \text{tg}\varphi')$ .

III. Оскільки  $\varphi_{2K}$  завжди менше від  $\varphi$ , або  $\varphi_{2K} \leq \varphi$ , підставивши замість  $\varphi_{2K}$  його значення з (2.17), отримаємо:  $\text{arcctg}\left(\frac{\text{tg}\varphi}{(\text{tg}\varphi')^2}\right) \leq \varphi$ . Розв'язавши дану нерівність відносно  $\varphi$  отримаємо:  $\varphi \geq \text{arcctg}\left(\sqrt{1/(\text{tg}\varphi')^2}\right)$ .

Очевидними є ще і наступні обмеження:

IV.  $\varphi \geq \varphi_{\min}$ ; V.  $\varphi \leq \varphi_{\max}$ ; VI.  $\varphi' \geq \varphi'_{\min}$ ; VII.  $\varphi' \leq \varphi'_{\max}$ .

Задавшись функцією мети, а саме: продуктивність обробки при забезпеченні певного заданого параметра шорсткості повинна бути максимальною, тобто  $s \rightarrow \max$ , або з урахуванням (2.2)  $(ctg\varphi + ctg\varphi')^2 \cdot tg\varphi \rightarrow \max$  отримаємо систему рівнянь, що є математичною моделлю геометричних параметрів (кутів в плані) різців головки.

$$\left. \begin{aligned} \varphi &\leq \arctg\left(\left(tg\varphi'\right)^2 \cdot ctg\varphi_{2K\min}\right) \\ \varphi &\leq \arctg(2 \cdot tg\varphi') \\ \varphi &\geq \arctg\left(\sqrt{1/\left(ctg\varphi'\right)^2}\right) \\ \varphi &\geq \varphi_{\min} \\ \varphi &\leq \varphi_{\max} \\ \varphi' &\leq \varphi'_{\max} \\ \varphi' &\geq \varphi'_{\min} \end{aligned} \right\} H \approx Rz = const; (ctg\varphi + ctg\varphi')^2 \cdot tg\varphi \rightarrow \max$$

Розв'язок системи проілюструємо в системі координат  $\varphi O \varphi'$  (рис 2.12). На графіках зображені обмеження, які позначені відповідними римськими цифрами.

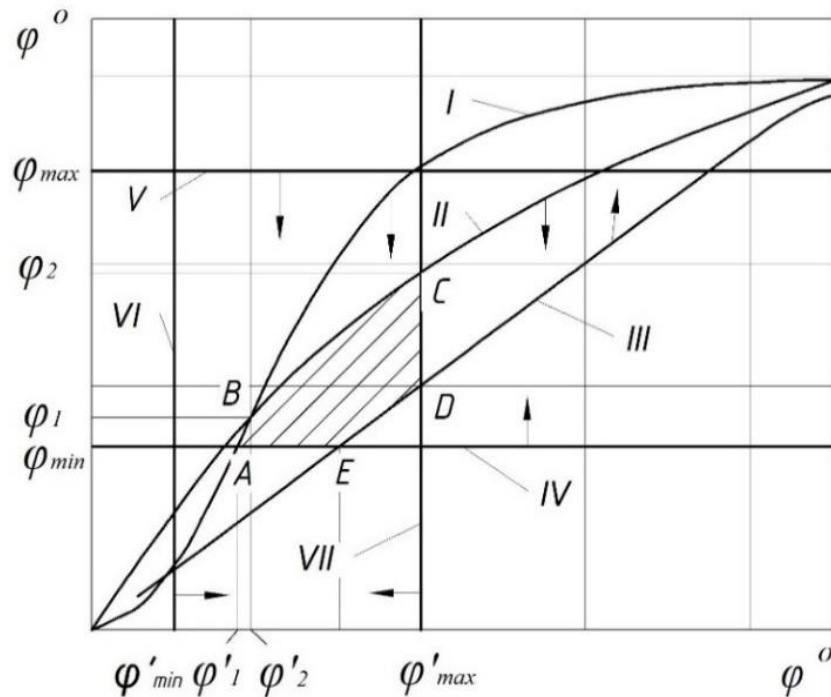


Рис. 2.12. Графічні обмеження оптимальних значень  $\varphi$  та  $\varphi'$  для першого варіанту ТРГ

Аналіз графіків (рис. 2.12) показав, що оптимальні значень  $\varphi = \varphi_{opt}$  та  $\varphi' = \varphi'_{opt}$ , лежить в середині заштрихованої області - квазіопуклого багатокутника  $ABCDE$ .

Використавши функцію мети –  $(ctg\varphi + ctg\varphi')^2 \cdot tg\varphi \rightarrow \max$ , при і розглянувши з рис. 2.11а,б, а також задавшись, наприклад,  $\varphi'_1 \leq \varphi'_{opt} \leq \varphi'_{max}$  – значення оптимального головного кута в плані  $\varphi_{opt}$  необхідно вибирати на лінії АВС, що обмежує верхні межі його оптимальних значень [54]. Рівняння лінії АВС буде визначатись системою:

$$\varphi_{opt} = \begin{cases} \varphi \leq \arctg\left((tg\varphi')^2 \cdot ctg\varphi_{2K\min}\right) & \text{при } \varphi'_1 \leq \varphi'_{opt} \leq \varphi'_2 \\ \arctg(2 \cdot tg\varphi') & \text{при } \varphi'_2 \leq \varphi'_{opt} \leq \varphi'_{max} \end{cases} \quad (2.18)$$

### 2.3.2. Оптимізація кутів в плані за II варіантом конструкторського виконання

Розглянувши  $\Delta N'_1 N_2 B$  (рис.2.3) знайдемо скореговане значення  $\varphi'_{2K}$  на ДЧР.

Згідно з (рис. 2.3) та [54] можна записати значення подачі  $S_1$  відносно  $\varphi'_{2K}$ . Отримали рівняння виду:  $s_1 = H \cdot (ctg\varphi + ctg\varphi'_{2K})$ . Здійснивши певні перетворення отримаємо рівняння визначення параметру  $\varphi'_{2K}$ :

$$\begin{aligned} H \cdot (ctg\varphi + ctg\varphi'_{2K}) &= H \cdot (ctg\varphi + tg\varphi \cdot (ctg\varphi')^2) \Rightarrow (ctg\varphi + ctg\varphi'_{2K}) = ctg\varphi + tg\varphi \cdot (ctg\varphi')^2 \\ ctg\varphi + ctg\varphi'_{2K} &= ctg\varphi + tg\varphi \cdot (ctg\varphi')^2 \Rightarrow ctg\varphi + ctg\varphi'_{2K} = ctg\varphi + tg\varphi \cdot (ctg\varphi')^2 \\ ctg\varphi'_{2K} &= ctg\varphi + tg\varphi \cdot (ctg\varphi')^2 - ctg\varphi \Rightarrow \varphi'_{2K} = \text{arcctg}\left(ctg\varphi + tg\varphi \cdot (ctg\varphi')^2 - ctg\varphi\right) \end{aligned}$$

Отже:

$$\varphi'_{2K} = \text{arcctg}\left(ctg\varphi + tg\varphi \cdot (ctg\varphi')^2 - ctg\varphi\right). \quad (2.19)$$

За другим варіантом конструкторського виконання графічні залежності

впливу головного  $\varphi$  та допоміжного  $\varphi'$  кутів в плані на величину скорегованого допоміжного кута на ДЧР  $\varphi'_{2K}$  подані на рисунку 2.13.

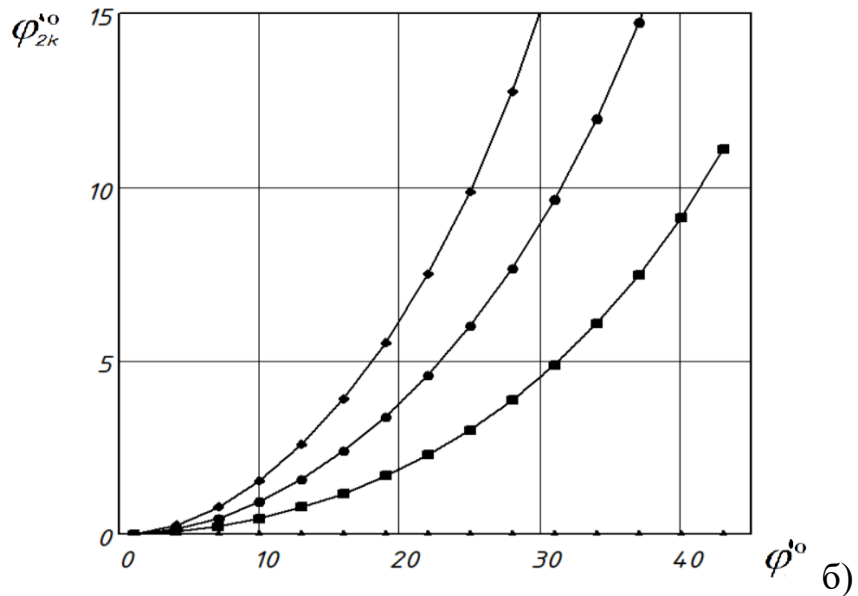
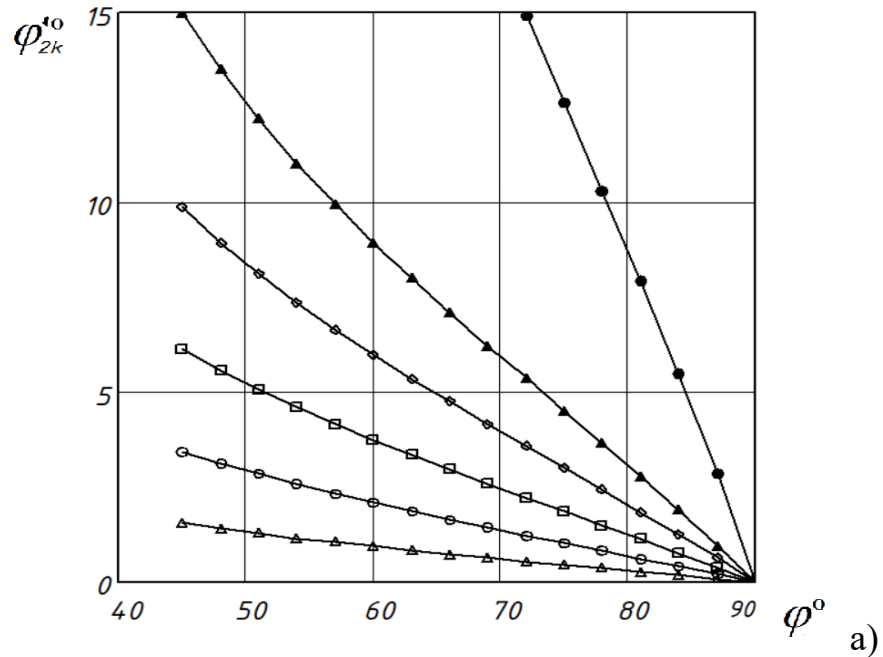


Рисунок 2.13. Графіки залежностей  $\varphi'_{2K}$  від головного та допоміжного кутів в плані: а)  $\varphi'_{2K} = \rho(\varphi)$  при різних  $\varphi'$ :  $\triangle-\triangle-\triangle$  -  $\varphi' = 10^\circ$ ;  $\circ-\circ-\circ$  -  $\varphi' = 15^\circ$ ;  $\square-\square-\square$  -  $\varphi' = 20^\circ$ ;  $\diamond-\diamond-\diamond$  -  $\varphi' = 25^\circ$ ;  $\blacktriangle-\blacktriangle-\blacktriangle$  -  $\varphi' = 30^\circ$ ;  $\bullet-\bullet-\bullet$  -  $\varphi' = 45^\circ$ ; б)  $\varphi'_{2K} = \sigma(\varphi')$  при різних  $\varphi$ :  $\blacklozenge-\blacklozenge-\blacklozenge$  -  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\bullet-\bullet-\bullet$  -  $\varphi = 60^\circ$ ;  $\blacksquare-\blacksquare-\blacksquare$  -  $\varphi = 75^\circ$

З графіків (рис. 2.13) бачимо, що із збільшенням  $\varphi$  значення скорегованого

допоміжного кута ДЧР  $\varphi'_{2K}$  зменшується, а із збільшенням  $\varphi'$  – значення скорегованого допоміжного кута ДЧР  $\varphi'_{2K}$  збільшується. Відповідно до характеру впливу  $\varphi$  та  $\varphi'$  на  $\varphi'_{2K}$ , здійснювали оптимізацію геометричних параметрів чистових різців [54].

Технічні обмеження отримували з наступних міркувань:

I.  $\varphi'_{2K}$  повинен бути більшим мінімально допустимого значення, тобто  $\varphi'_{2K} > \varphi'_{\min}$ .

II.  $\varphi'_{2K}$  не може бути більшим, ніж  $\varphi'$ , тобто  $\varphi' \geq \varphi'_{2K}$  тоді  $\varphi' \geq \text{arctg}(\text{ctg}\varphi' + \text{tg}\varphi \cdot (\text{ctg}\varphi')^2 - \text{ctg}\varphi)$ , виразивши  $\varphi$  через  $\varphi'$  отримаємо:

$$\varphi \geq \text{arctg} \left( \frac{1 + \sqrt{1 + 4(\text{ctg}\varphi')^2}}{2(\text{ctg}\varphi')^2} \right).$$

III. Два чистові різці при запропонованому розміщенні повинні забезпечувати шорсткість не нижчу трирізцевої розточувальної головки з симетричним розміщенням різців то  $s_2$  на ДЧР  $s_2/s \leq 1/3$ . Підставивши замість  $s_2$  і  $S$  їх значення з (2.1) і (2.2) відповідно, та розв'язавши відносно  $\varphi$  отримаємо:  $\varphi \leq \text{arctg}(2 \cdot \text{tg}\varphi')$ .

Інші обмеження та функція мети аналогічні до обмежень та функції мети конструктивного виконання ТРГ за I варіантом.

Отримали систему рівнянь, що є математичною моделлю геометричних параметрів (кутів в плані) різців головки.

$$\left. \begin{aligned}
 & \varphi'_{2K} > \varphi'_{\min} \\
 & \varphi \geq \operatorname{arctg} \left( \frac{1 + \sqrt{1 + 4(\operatorname{ctg} \varphi')^2}}{2(\operatorname{ctg} \varphi')^2} \right) \\
 & \varphi \leq \operatorname{arctg} (2 \cdot \operatorname{tg} \varphi') \\
 & \varphi \geq \varphi_{\min} \\
 & \varphi \leq \varphi_{\max} \\
 & \varphi' \geq \varphi'_{\min} \\
 & \varphi' \leq \varphi'_{\max}
 \end{aligned} \right\} H \approx R_z = \text{const}; (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi \rightarrow \max$$

Розв'язок отриманої системи подано графічно (рис 2.14), також наведено у [54]. В системі координат  $\varphi O \varphi'$  зображені обмеження, на яких відповідними римськими символами показані графіки певних обмежень.

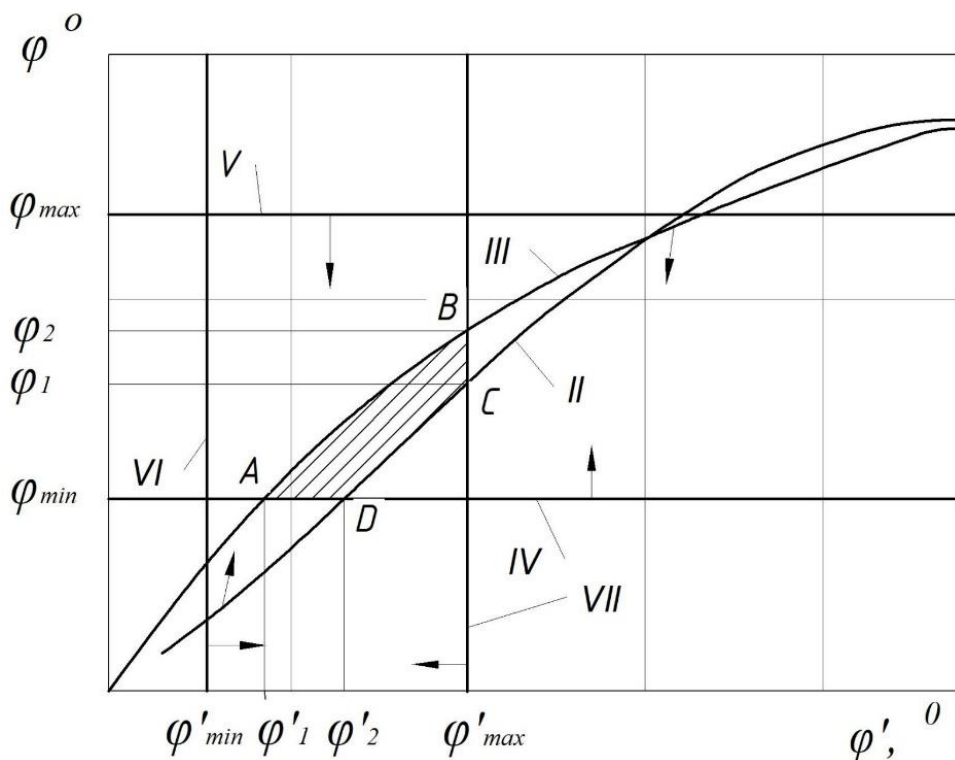


Рис. 2.14. Графічні обмеження оптимальних значень  $\varphi$  та  $\varphi'$  для першого варіанту ТРГ

Внаслідок аналізу графіків (рис. 2.14) можемо констатувати, що множина значень  $\varphi$  та  $\varphi'$ , які рекомендуються при проектуванні ТРГ з поданим алгоритмом розміщення різців лежить всередині заштрихованої області – квазіопуклого багатокутника  $ABCD$ .



Оскільки функція мети записується як  $(ctg\varphi + ctg\varphi')^2 \cdot tg\varphi \rightarrow \max$ , оптимальні комбінації кутів  $\varphi_{opt}$  та  $\varphi'_{opt}$  необхідно вибирати на лінії АВ, рівняння якої запишеться наступним чином:

$$\varphi \leq \arctg(2 \cdot tg\varphi') \text{ при } \varphi'_1 \leq \varphi'_{opt} \leq \varphi'_{max}. \quad (2.20)$$

Значення  $\varphi'_1$  отримуємо як абсцису координат точки А (рис. 2.14). Отримаємо  $\varphi'_1 = \arctg(tg\varphi_{min}/2)$ .

#### 2.4. Особливості зрівноважування радіальних складових сил різання

Виходячи із значень подач першого та другого варіантів за [54] можемо визначити кути розміщення різців розточувальної головки.

Центральні кути, розточувальної головки що визначають кутове розміщення різців визначимо використавши рис. 2.15. Значення кута  $\theta_1$  яке визначає відповідно кутове зміщення другого чистового різця відносно першого отримаємо із залежності:

$$\theta_1 = 2\pi \cdot s_2/s, \quad (2.21)$$

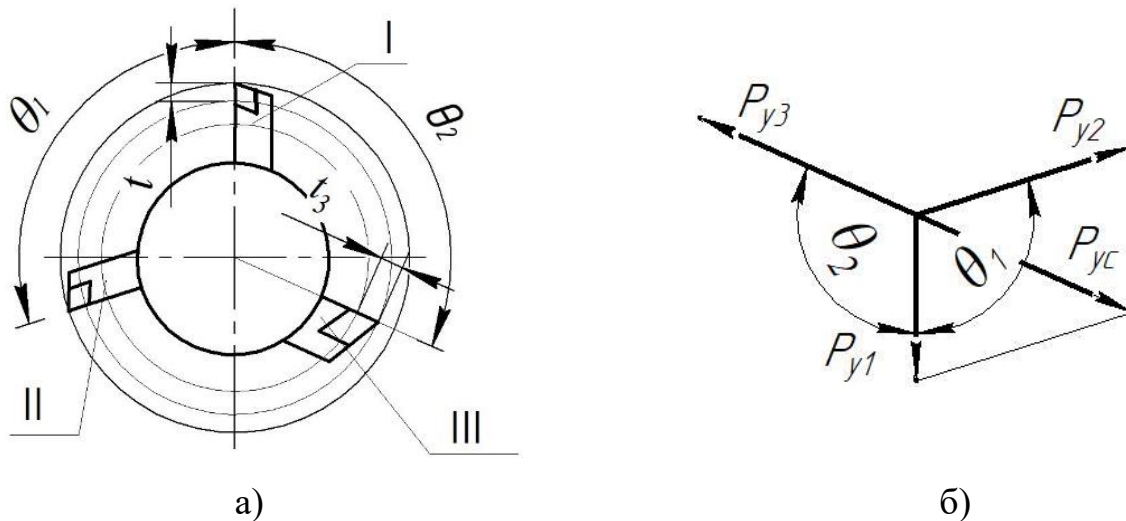


Рис. 2.15. Схеми розміщення чорнового та чистових різців та розрахункова схема для визначення кутових положень різців: I, II і III – відповідно ПЧР, ДЧР і чорновий різець

Скориставшись рис. 2.15, і врахувавши [20, 51] кут  $\theta_2$  визначиться:

$$\theta_2 = \arctg[(1 - \cos\theta_1) / \sin\theta_1] + \pi/2. \quad (2.22)$$

Виліт в радіальному напрямку (глибина різання) чорнового різця

встановлюється із умови зрівноваження радіальних сил різання на чорновому та чистових різцях. Сумарна радіальна складова сил різання на чистових різцях, яка повинна зрівноважуватись на чорновому різці головки з глибиною різання  $t_3$  що працює з подачею  $s$ , визначимо за теоремою косинусів (рис. 2.15).

$$P_{yc} = \sqrt{P_{y1}^2 + P_{y2}^2 - 2P_{y1}P_{y2} \cos \theta_1}, \quad (2.23)$$

де  $P_{y1} P_{y2}$  – радіальні складові сил різання на першому та другому чистових різцях відповідно,  $H$ ;

Враховавши залежність [50]  $P_y = 10C_5 t^{x_2} s^{y_2} HB^{n_2} K_\varphi$  для визначення радіальних складових сил різання, формули для визначення радіальних складових сил різання на першому та другому чистовому, а також чорновому різці запишуться:

$$P_{y1} = 10C_5 t^{x_2} s_1^{y_2} HB^{n_2} K_{\varphi 1}, \quad (2.24)$$

$$P_{y2} = 10C_5 t^{x_2} s_2^{y_2} HB^{n_2} K_{\varphi 2}, \quad (2.25)$$

$$P_{y3} = 10C_5 t_3^{x_2} s^{y_2} HB^{n_2} K_{\varphi 3}. \quad (2.26)$$

де  $C_5$  – коефіцієнт пропорційності, який враховує фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу при визначенні сили різання;

$HB$  – твердість за Брінеллем;

$K_\varphi$  – приведений поправочний коефіцієнт на головний кут в плані;  $x_2, y_2, n_2$  – показники степенів, які характеризують вплив, відповідно,  $t, s$  і  $HB$  на  $P_y$ ;

Підставивши (2.24), (2.25), (2.26) в (2.23) та розв'язавши відносно  $t$ , а також враховавши, що  $t_3 + t = p$ , де  $p$  – припуск на оброблення, отримаємо залежність для визначення глибини різання на чистових різцях, виходячи із умови зрівноваження радіальних складових сил різання

$$t = \frac{p}{2} \left( \frac{\sqrt{s_1^{2y_2} K_{\varphi 1}^2 + s_2^{2y_2} K_{\varphi 2}^2 - 2s_1^{y_2} s_2^{y_2} K_{\varphi 1} K_{\varphi 2} \cdot \cos \theta_1}}{s^{y_2} \cdot K_{\varphi 3}} \right)^{1/x_2}. \quad (2.27)$$

Таким чином при глибині різання на чистових різцях  $t$  при припускові на обробку  $p$  забезпечиться теоретичне зрівноваження різців розточувальної головки.

## **2.5. Висновки по розділу**

1. Розроблена методика визначення параметрів трирізцевих розточувальних головок, які забезпечують в процесі різання одночасний поділ припуску та подачі. Розглянуто, виходячи з геометричних та конструкторських параметрів різців два можливих варіанти виконання ТРГ.

2. Для проектування комбінованих трирізцевих розточувальних головок отримано формули, які дають можливість встановлювати їх технологічні і конструкторські параметри.

3. Проведено оптимізацію геометричних параметрів чистових різців з умови забезпечення максимальної продуктивності оброблення, та подані графічні залежності за якими можна визначити подачу на оберт головки в залежності від параметра шорсткості обробленої поверхні та значення кутів в плані.

## РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

### 3.1. Розробка конструкції трирізцевої розточувальної головки за запропонованою методикою

Розроблена конструкція розточувальної головки [55], що спроектована за вищеподаною методикою і призначена для оброблення глибоких отворів циліндрів подана на рис. 3.1.

Розточувальна головка складається з корпусу 1, на якому виконані хвостовик 2 і робоча частина 3. Кінець 4 корпусу 1, який протилежний до хвостовика в поперечному перерізі має форму квадрата, для забезпечення загвинчування та відгвинчування розточувальної головки. На хвостовику виконані різьбова частина та циліндрична поверхня, що призначені для співвісного з'єднання розточувальної головки з оправкою. Робоча частина виконана у вигляді ступеневого валу з різьбовою, шліцевою частинами та бортиком 9. На шліцевій частині встановлені перша спеціальна втулка 10, передній диск 11 та перехідна втулка 12, на якій розташовані середній диск 13 та друга спеціальна втулка 14. На різьбовій частині корпусу співвісно встановлена гайка 15, яка забезпечує притискання втулок 10, 14 та дисків 11, 13 до бортика 9. Перша спеціальна втулка 10 встановлена на шліцеву частину робочої частини корпусу, одним із своїх торців контактує із бортиком 9, а другим із боковими поверхнями чистових різців 16, 17. На зовнішній циліндричній поверхні першої спеціальної втулки виконані три пари поздовжніх пазів 18, в яких розміщені пружні напрямні 19. На її передньому торці виконаний радіальний паз 20, в який встановлений перший чистовий різець 16 та радіальний проріз 21 у вигляді сектору із кутом  $20^{\circ}$ - $45^{\circ}$  на торцевій поверхні якого виконані радіальні рифлення. У радіальний проріз 21 встановлений з можливістю кутового переміщення другий чистовий різець 17, на одній із поверхонь державки якого виконані поздовжні рифлення, що контактують із відповідними рифленнями радіального прорізу 21. Центральний кут між віссю радіального прорізу 21 та радіального паза 20 становить  $45$ - $120^{\circ}$ .

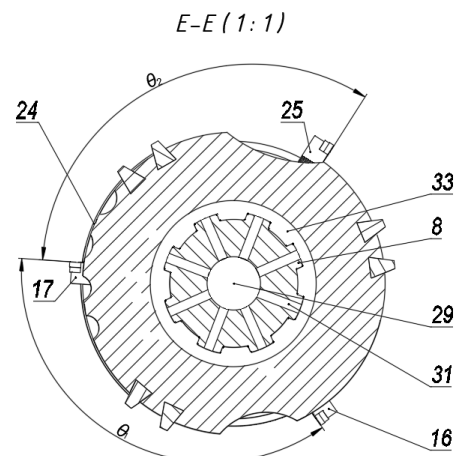
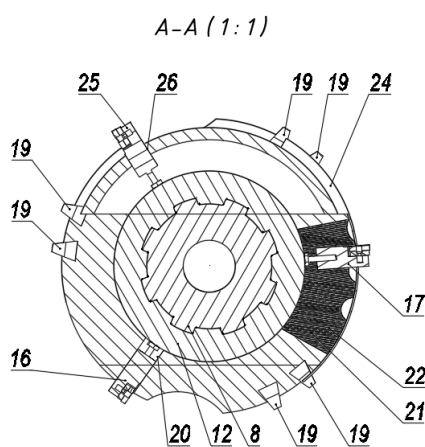
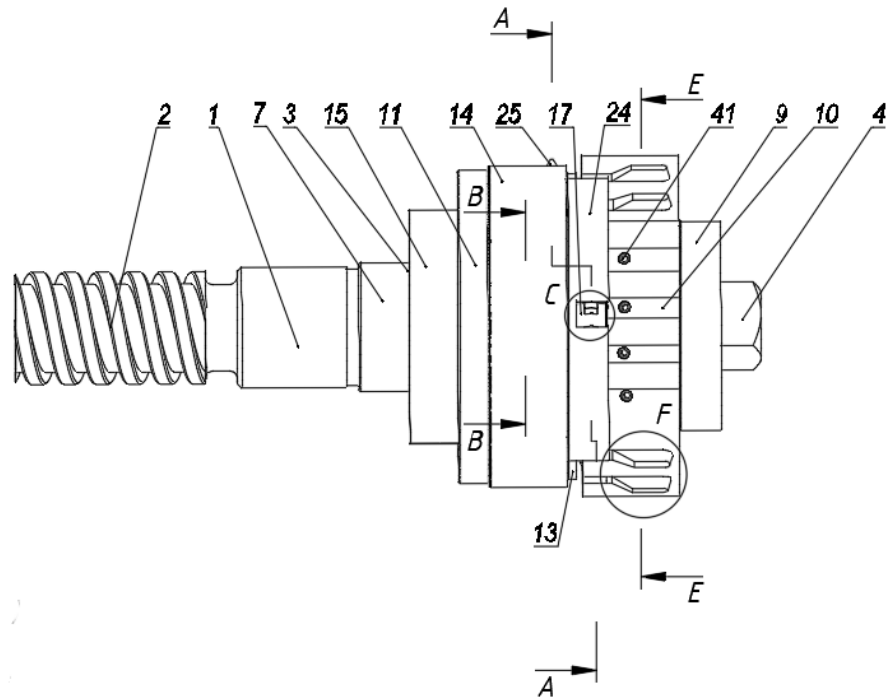
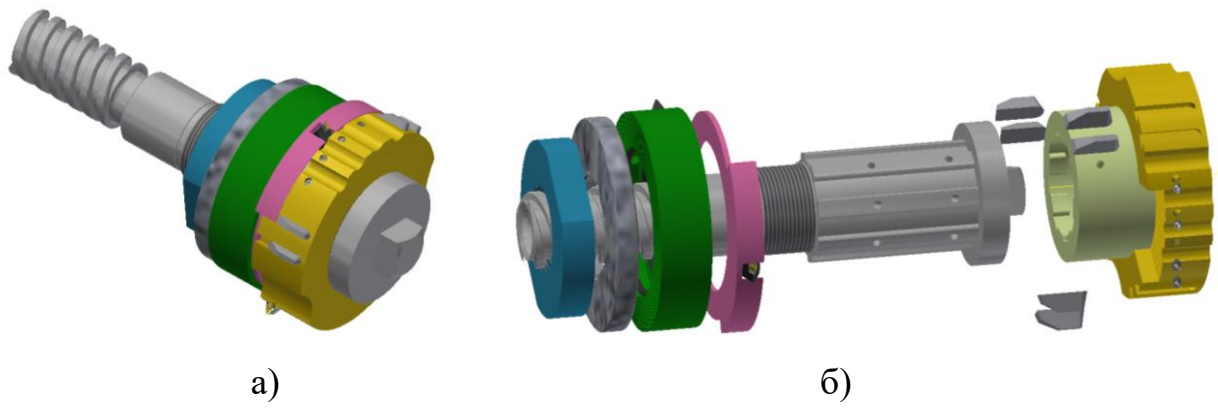


Рис. 3.1. Трирізцева розточувальна головка: а) і б) 3D модель, в) конструктивна схема; г), д) розрізи

Чистові різці 16 та 17 контактують з переднім торцем середнього диску 13, який співвісно встановлений, з можливістю провороту, на перехідній втулці 12, що розміщена на шліцах робочої частини корпусу. Рифлення на торці прорізу 21 першої спеціальної втулки унеможливають прокручування другого чистового 17 різця в процесі роботи. На зовнішній циліндричній поверхні середнього диску 13 виконаний осьовий виступ 24, що призначений для запобігання потрапляння стружки в радіальний проріз першої спеціальної втулки. Своїм заднім торцем середній диск 13 контактує із передньою торцевою поверхнею чорнового різця 25, який знаходиться у радіальному пазі другої спеціальної втулки, що встановлена на перехідній втулці 12 співвісно з нею. На протилежному торці другої спеціальної втулки 14 виконані рифлення, які спряжені із відповідними рифленнями, переднього диску. Передній диск 11 встановлений на шліцах робочої частини корпусу. Рифлення 27 та 28 запобігають провороту другої спеціальної втулки 14 разом із чорновим різцем 25 в процесі роботи та забезпечують можливість кутового регулювання чорнового різця 25. Для підводу МОР в зону різання в хвостовику виконаний центральний отвір, з вікнами на шліцевій частині, що подають рідину до виточок 32 і 33 перехідної 12 і другої спеціальної 14 втулок відповідно. Із виточки 32, перехідної втулки, через спеціальні канали МОР подається на виточку 35, обмеженої виточками під ущільнюючі кільця другої спеціальної втулки де рідина безпосередньо поступає по каналі 38 в зону різання чорнового різця 25, а із виточки 33 МОР поступає до каналів 39 і 40 другої спеціальної втулки 14, звідки виводиться в зони різання чистових різців 16 і 17 відповідно. При чому канали 40 при потребі перекриваються болтами у відповідності з розміщенням різця відносно них.

Для запобігання витікання рідини з корпусу інструменту, встановлено ущільнююче кільце у виточку 43 на задньому торці першої спеціальної втулки, і гумову вставку на задньому торці гайки 15.

### **3.2. Опис принципу роботи інструменту**

Перед початком обробки здійснюють налаштування інструменту згідно [55]. Налаштування відбувається наступним чином. За відповідними залежностями визначають необхідні кути  $\theta_1$  і  $\theta_2$ . На корпус 1 надівають першу спеціальну втулку 10, далі перехідну втулку 12 та середній диск 13. Встановлюють перший та другий чистові різці у відповідні пази. Забезпечуючи кут  $\theta_1$ . У відповідне положення встановлюють середній диск 13. Далі встановлюють другу спеціальну втулку 14 та передній диск 11. Прокручуючи другу спеціальну втулку 14 навколо осі виставляють кут  $\theta_2$ . Далі все затискають гайкою 15 і здійснюють регулювання радіального вильоту. Регулювання радіального вильоту здійснюється за рахунок конструкції державок різців. До початку обробки заготовку у вигляді труби встановлюють на оправку, яка є частиною пристосування, що з'єднане з механізмом подачі верстату. В оправку 2 вкручують розточувальну головку та, щоб вона своєю базовою циліндричною поверхнею хвостовика контактувала з базовою внутрішньою циліндричною поверхнею оправи. Заготовку затискають в патроні і включають оберти, а інструменту надають осьову подачу. До пристосування з інструментом під'єднують та включають подачу МОР.

Після закінчення процесу різання розтискають патрон, знімають готову деталь, розточувальну головку відкручують і процес повторюють знову.

### **3.3. Розрахунок елементів конструкції трирізцевої розточувальної головки**

#### **3.3.1. Розрахунок технологічних та конструкторських параметрів розточувальної головки**

Для розрахунку технологічних та конструкторських параметрів трирізцевої розточувальної головки задамось початковими даними. Діапазон діаметрів обробки даним інструментом 50-120 мм, довжина обробки 400-1100мм, що за відношенням довжини (глибини) отвору до його діаметра відповідає поняттю «глибокий отвір» [37].

Для прикладу проведемо розточування внутрішньої поверхні труби до  $\emptyset 66H6$  на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 забезпечивши шорсткість  $R_a=2,5\text{мкм}$ . Заготовка внутрішнім діаметром  $D=60\text{мм}$ , матеріал - сталь 45 (ГОСТ 8732-78).

Умови обробки:

- Матеріал різальної частини різців розточувальної головки – Т15К6
- Матеріал корпусу – Сталь 40Х (ГОСТ 4543-71)
- Геометрія різальної частини: передній кут  $\gamma=0^\circ$  ; задній кут  $\alpha=7^\circ$ .

Вибираємо геометричні параметри різальної частини різців розточувальної головки згідно [50] та рекомендацій (2.16) і (2.17). Кути різців: чорнового:  $\varphi=60^\circ$ ,  $\varphi'=20^\circ$ , чистових  $\varphi=45^\circ$ ;  $\varphi'=15^\circ$ . Значення головного кута в плані на другому чистовому різці  $\varphi_2$ , який би забезпечував необхідну висоту мікронерівностей згідно формули (2.17) буде рівний:  $\varphi_2 = 4,1^\circ$ . Такий головний кут в плані забезпечується виконанням додаткової фаски на ГРК.

За заданим значенням параметра шорсткості  $R_a$ , використавши [64] визначаємо розрахунковий параметр шорсткості  $H=4R_a=10\text{мкм}$ .

Подачі на першому і другому чистових різцях використавши формули (2.1) і (2.6) відповідно будуть:

$$s_1 = 0.197 \text{ мм/об} , \text{ та } s_2 = 0.057 \text{ мм/об} , s = 0.254 \text{ мм/об} .$$

Необхідну подачу на оберт коректуємо за паспортними даними верстату (16К20) та приймаємо:  $s = 0.25 \text{ мм/об}$ .

Подачі на різцях відповідно будуть:  $s_1 = 0.194 \text{ мм/об}$  , та  $s_2 = 0.056 \text{ мм/об}$  ,

Значення кутів  $\theta_1, \theta_2$  згідно формул (2.21), (2.22) будуть:

$$\theta_1 = 80.64^\circ \text{ та } \theta_2 = -147.5^\circ$$

За формулою (2.27) визначаємо глибину різання на чистових різцях, виходячи із загального припуску на обробку  $p=3 \text{ мм}$ . Отримаємо:

$$t = 0.8\text{мм} .$$

Глибина різання на чорновому різці  $t_3 = 3 - 0.8 = 2.2 \text{ мм}$  .



Швидкість різання, згідно рекомендацій [63] для обробки конструкційних сталей різцями із пластинами твердого сплаву:

$$V_{\text{різ}} = 110 \text{ мм/хв}$$

Визначивши швидкість різання, визначали частоту обертання шпинделя верстату:

$$n = 1000 \cdot V_{\text{різ}} / \pi \cdot D = 1000 \cdot 110 / 3,14 \cdot 66 = 530 \text{ об/хв.}$$

Дійсна частота обертання коректується по паспорту верстату, і приймаємо:

$$n_k = 500 \text{ об/хв.}$$

Визначимо дійсну швидкість різання:

$$V_{\text{різ д}} = \pi \cdot D \cdot n_k / 1000 = 3,14 \cdot 66 \cdot 500 / 1000 = 103,6 \text{ мм/хв.}$$

### 3.3.2. Визначення силових характеристик процесу різання та потужності

Визначимо силу різання за формулою поданою у [62]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p.$$

Поправочні коефіцієнти та показники степенів у формулі сили беремо згідно [62] і воно будуть рівні:  $C_p = 300$ ;  $x = 1$ ;  $y = 0.75$ ;  $n = -0.15$ ;  $K_p = 1$ .

Тепер відповідно знайдемо сили різання:

$$\text{На першому чистовому різці: } P_{z_1} = 350 \text{ Н}$$

$$\text{На другому чистовому різці: } P_{z_2} = 138 \text{ Н}$$

$$\text{На чорновому різці: } P_{z_3} = 1164 \text{ Н}$$

Сумарна сила різання:

$$\sum P_z = 350 + 138 + 1164 = 1652 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1652 \cdot 103}{1020 \cdot 60} = 2.78 \text{ кВт.}$$

### 3.3.3. Розрахунок елементів розточувальної головки з використанням САЕ-системи

Розрахунок розточувальної головки проводимо в середовищі Solidworks Simulation.

Із розробленої 3D моделі (рис. 3.2) за [55], для розрахунку вибираємо лише необхідні вузли, а саме корпус (рис. 3.3,а) та першу спеціальну втулку (рис. 3.3,б), як найбільш навантажені елементи. Характеристику деталей та властивості їх матеріалу опишемо в табл. 3.1 та табл. 3.2 відповідно. Проведемо необхідні розрахунки даних елементів на жорсткість, допустимі напруження в елементах інструменту, переміщення, деформації та запасу міцності.

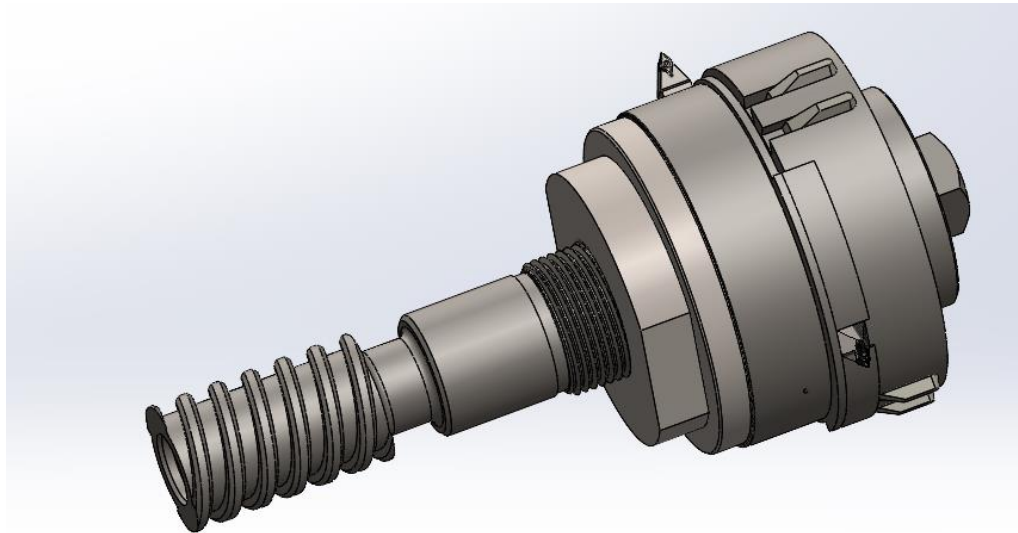


Рис. 3.2. 3D-модель трирізцевої розточувальної головки

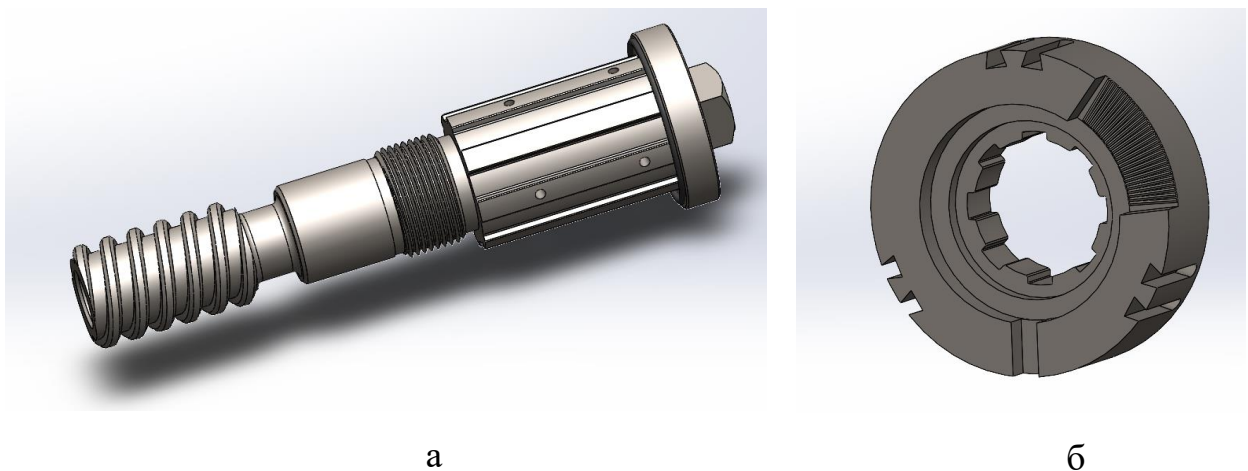


Рис. 3.3. 3D-моделі елементів для розрахунку трирізцевої розточувальної головки: а) корпус інструменту; б) перша спеціальна втулка

Таблиця 3.1. Характеристика деталей інструменту

Назва деталі	Вага	Об'єм	Густина
	кг	м <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Корпус	1,11367	0,0001418 68	7 850
Перша спеціальна втулка	0,700972	9,10353e- 05	7 700

Таблиця 3.2 Властивості матеріалу елементів інструменту

Елемент	Матеріал	Границя міцності	Границя текучості	Модуль пружності	Модуль зсуву
		N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>
Корпус	Нормалізована сталь (AISI 4130)	7,31e+08	4,6e+08	2,05e+11	8e+10
Перша втулка спеціальна	Легована сталь (SS)	7,2382e+ 08	6,2042e+ 08	2,01e+11	7,9e+10

Задаємо крутний момент величиною 185 N.m на першій спеціальній втулці (рис. 3.4а). Відповідно сили реакції на хвостовику (рис. 3.4б) та на циліндричній поверхні (рис. 3.5) запишемо в таблицю 3.3 та таблицю 3.4 відповідно.



Рис. 3.4. Зображення сил що діють на елементи інструменту:

а) першу спеціальну втулку; б) хвостовик

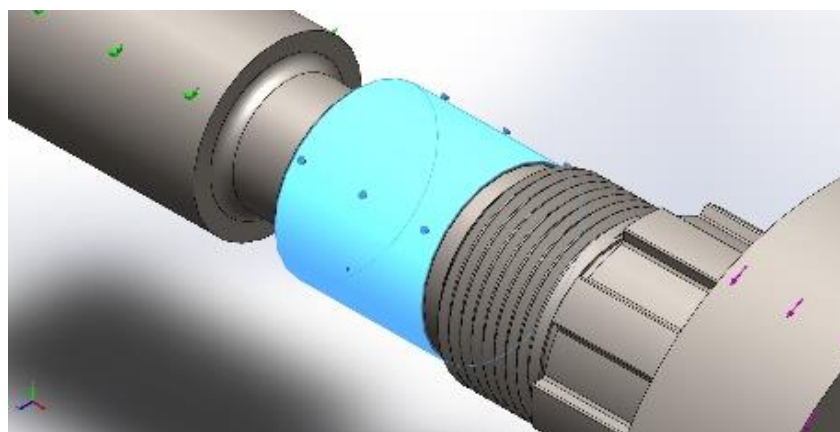


Рис. 3.5. Зображення сил що діють на циліндричну поверхню інструменту

Таблиця 3.3. Сили реакцій на хвостовику

Складові сили різання	X	Y	Z	Результуюча
Сила реакції (N)	3,83529	159,483	411,723	441,549

Таблиця 3.4 Складові сили, які діють на циліндричну частину

Складові сили різання	X	Y	Z	Результуюча
Осьове зусилля (N)	-3,8355	0	4,4111e-16	-3,8355
Поперечна сила (N)	6,5281e-14	-215,35	-566,56	606,11

Задавши усі необхідні параметри та сили які діють на інструмент, будемо сітку моделі твердих тіл (рис. 3.6).

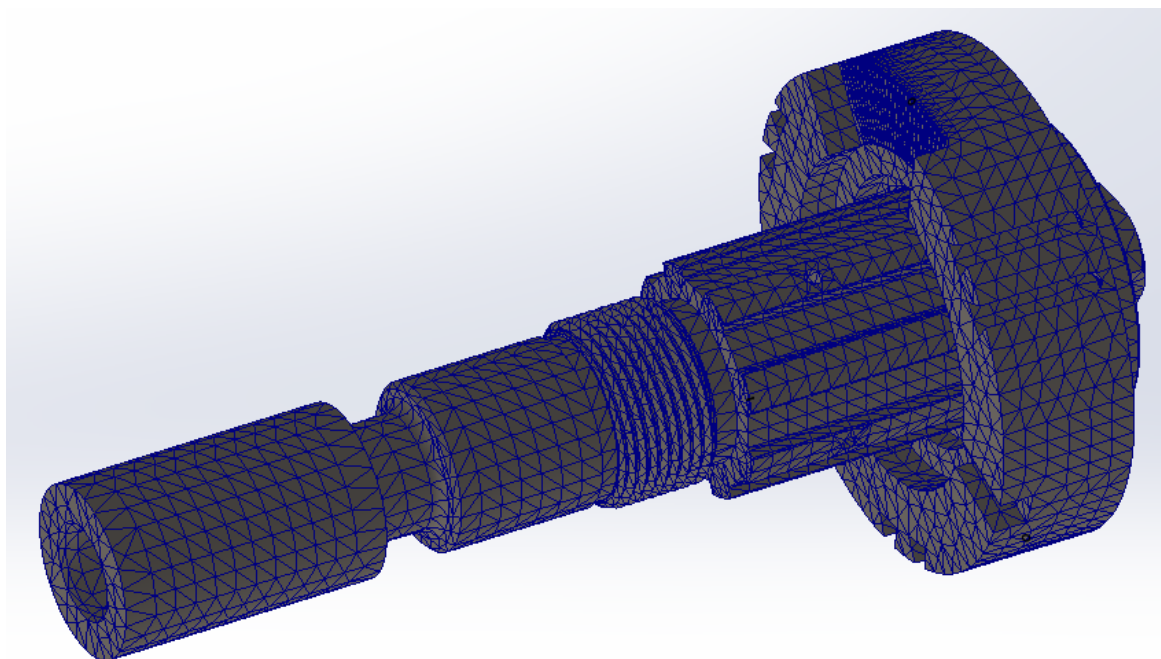


Рис. 3.6. Сітка моделі твердих тіл

Результуючі сили записуємо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 Результуючі сили усієї моделі

Назва сили	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
Сили реакції (N)	3,83529	159,483	411,723	441,549
Сили вільних тіл	-0,00229065	00919092	0,0118573	0,0151761

Після запуску дослідження, ми отримаємо наступні результати:

Напруження, які виникли у корпусі інструменту та на першій спеціальній втулці записані у таблицю 3.6 та зображені на рис. 3.7.

Таблиця 3.6 Напруження на інструменті

Тип	Мінімальне	Максимальне
VON: Напруження	13,660N/m <sup>2</sup>	740 744 704,000N/m <sup>2</sup>
Von Mises	Вузол: 62315	Вузол: 1221

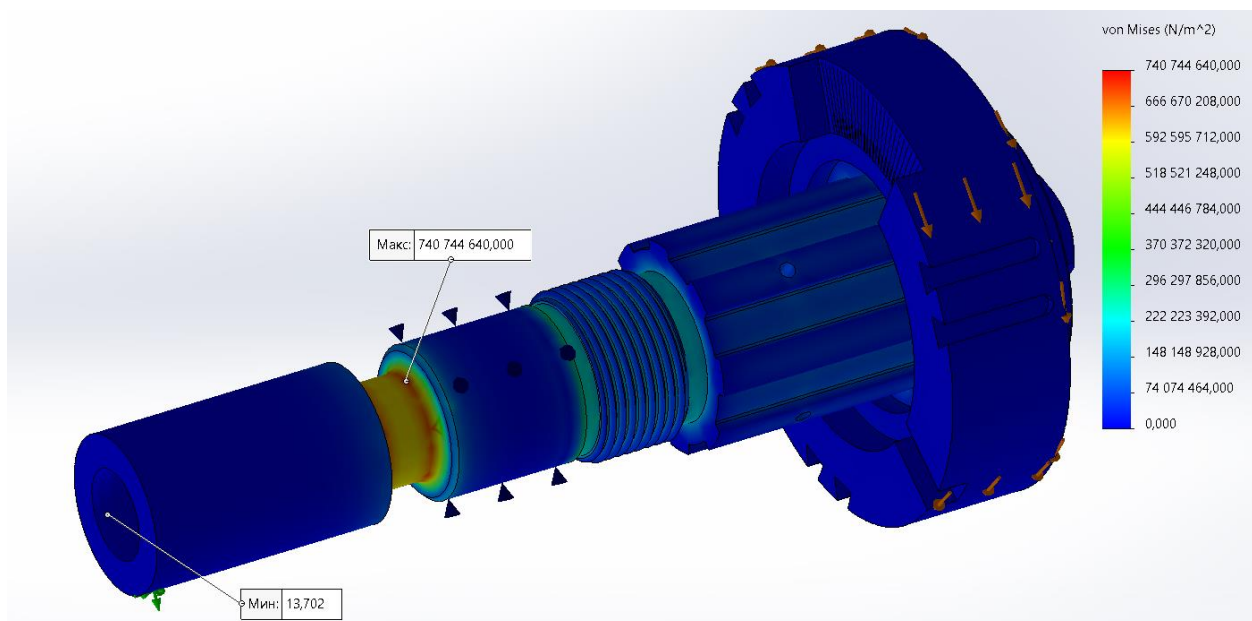


Рис. 3.7. Розрахунок елементів інструменту на напруження

Таким чином максимальні напруження є допустимими для даного матеріалу.

Переміщення, які виникають у корпусі інструменту записані у таблиця 3.7 та зображені на рис. 3.8.

Таблиця 3.7 Переміщення на інструменті

Тип	Мінімальне	Максимальне
URES:	0,000mm	0,434mm
Результуюче переміщення	Вузол: 1719	Вузол: 73707

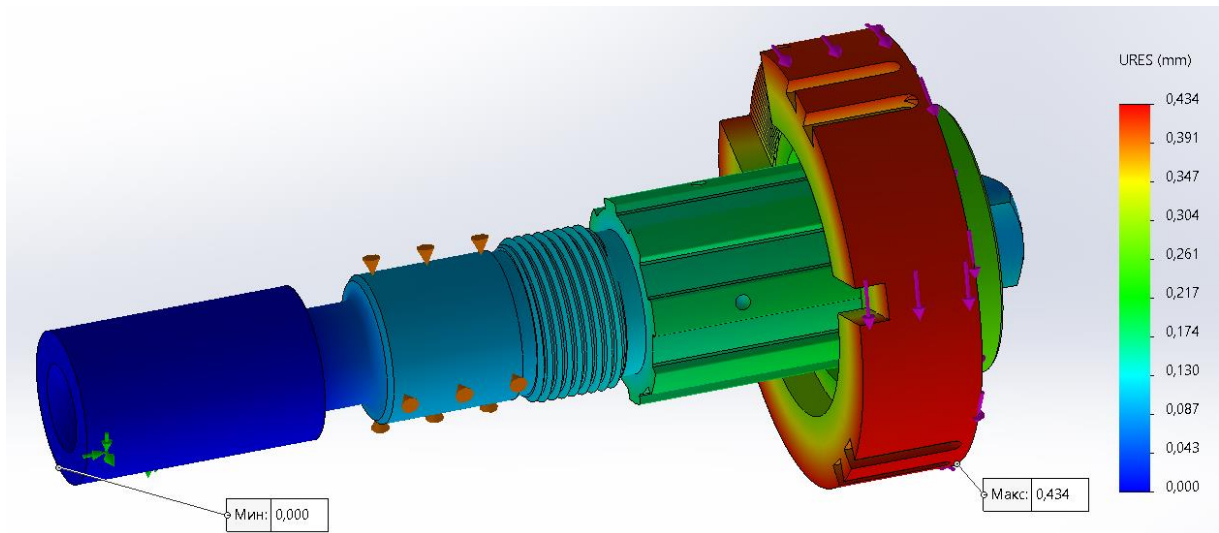


Рис. 3.8. Розрахунок елементів інструменту на переміщення

За результатами цього дослідження можна зробити висновок що максимальна кругова деформація становить 0,434мм

Деформації, які виникають у корпусі інструменту записані у таблиця 3.8 та зображені на рис. 3.9.

Таблиця 3.8 Деформації на інструменті

Тип	Мін	Макс
ESTRN:	0,000	0,003
Еквівалентна деформація	Елемент: 27207	Елемент: 29346

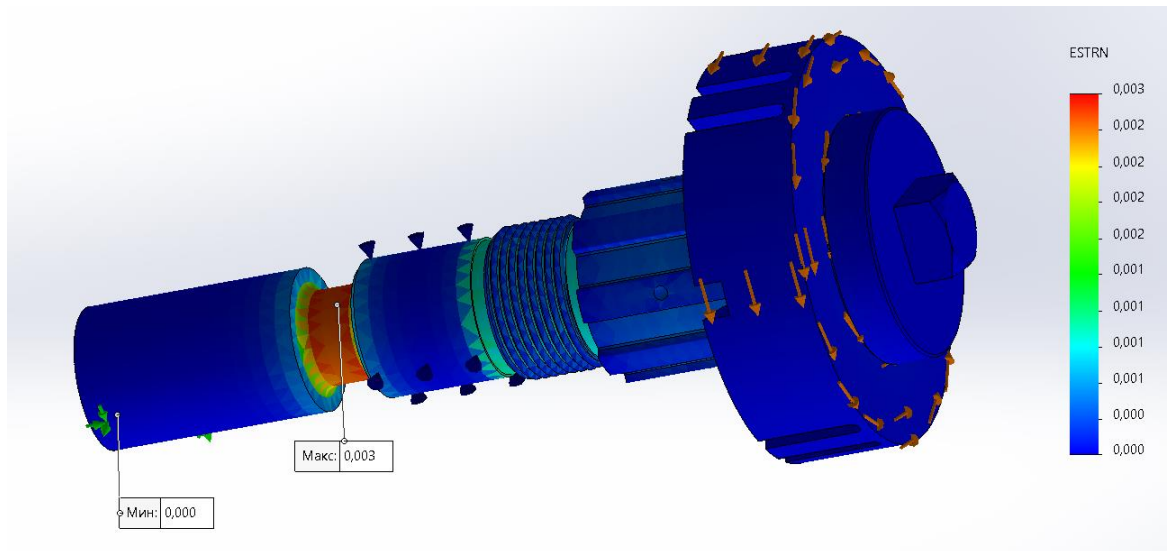


Рис. 3.9. Розрахунок деформації трирізцевої розточувальної головки

Запас міцності корпусу інструменту записаний у таблиця 3.9 та зображений на рис. 3.10.

Таблиця 3.9 Запас міцності

Тип	Мін	Макс
Авто	0,621	33 674 808,000

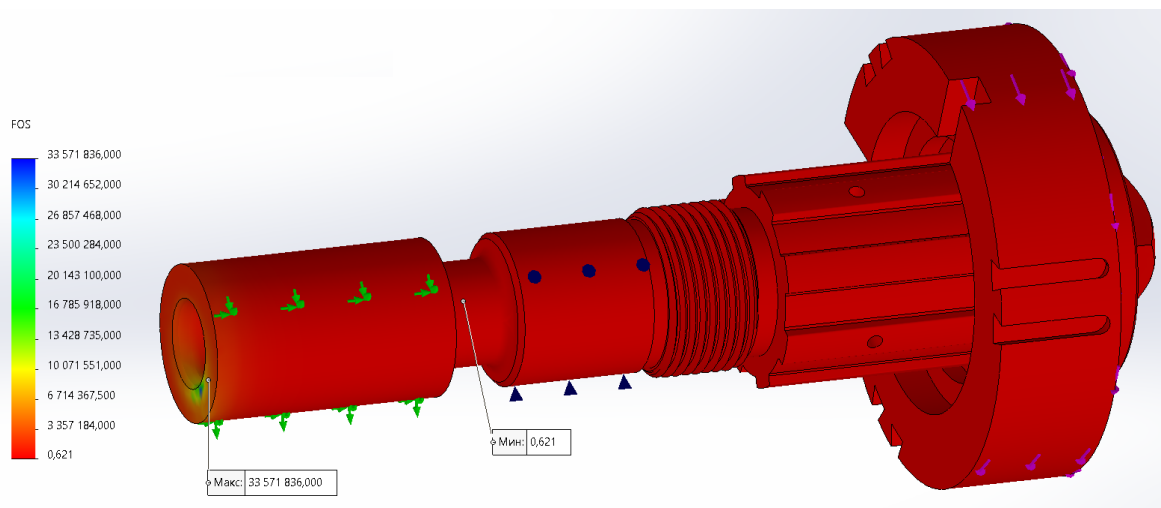


Рис. 3.10. Розрахунок запасу міцності

Виходячи із результатів аналізу розрахунку запасу міцності, робимо висновок що при критичних навантаженнях вразливе місце буде в т. Макс яка показана на рис. 3.10, а зоною руйнування буде місце навколо цієї точки.

У відповідності до проведених досліджень за всіма критеріями міцність та жорсткість елементів конструкції достатня для забезпечення процесу різання.



### 3.4. Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень

#### 3.4.1. Порівняння продуктивності обробки запропонованого та традиційного розточувального інструменту

Для оцінки продуктивності запропонованої розточувальної головки із асиметричним розміщенням різальних елементів по колу та якості оброблюваного отвору у порівнянні із іншими різальними інструментами у яких розташування різальних елементів по колу являється рівномірним, скористаємось рис. 3.11.

Висота мікронерівностей  $H_1$  для схеми із запропонованою методикою (рис. 3.11а) визначиться за формулою (2.2), а для схеми із рівномірним розташуванням різальних елементів (рис. 3.11б) за формулою:  $H_2 = \frac{s}{2(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')}$

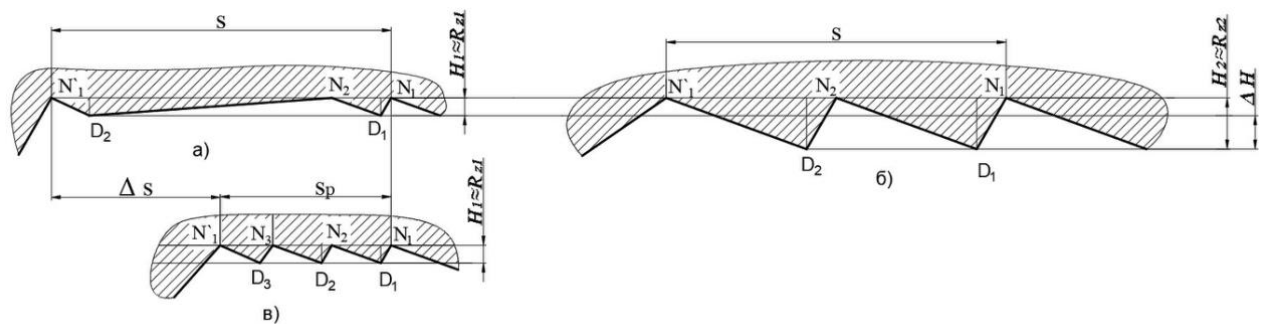


Рис. 3.11. Схеми розташування різальних елементів: а) за даною методикою і висотою мікронерівностей  $H_1$ ; б) з рівномірним розташуванням різальних елементів, і висотою мікронерівностей  $H_2$ ; в) з рівномірним розташуванням різальних елементів та зменшеною подачею і висотою мікронерівностей  $H_1$

Порівняємо дані формули використавши систему:

$$\begin{cases} H_1 = \frac{s}{\operatorname{tg}\varphi \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')^2} \\ H_2 = \frac{s}{2(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')} \end{cases} \quad (3.1)$$

Величина  $s$  з формули (3.2) буде визначатись:  $s = H_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')^2$ , підставивши її в (3.1) отримаємо:

$$H_1 = \frac{2H_2(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')}{\operatorname{tg}\varphi \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')^2} = \frac{2H_2}{1 + \operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{ctg}\varphi'}. \quad (3.2)$$

Отже:

$$H_1 = \frac{2H_2}{1 + \operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{ctg}\varphi'}. \quad (3.3)$$

При заданих кутах в плані  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi' = 15^\circ$  отримаємо:

$$H_1 = 0,422H_2. \quad (3.4)$$

Розберемо варіант забезпечення однакової висоти мікронерівностей із запропонованим розміщенням різальних елементів (рис. 3.11а), у якому подача визначається за (2.2) та з рівномірним розташуванням різальних елементів (трирізцева головка) і зменшеною подачею (рис. 3.11в), де подача визначається за формулою  $s_p = 3H_1(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')$ . Використавши систему:

$$\begin{cases} s_p = 3H_1(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi') \\ s = H_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')^2 \end{cases}, \quad (3.5)$$

Поділимо (3.5) на (3.4) і визначивши  $s$  будемо мати:

$$s = s_p \cdot (1 + \operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{ctg}\varphi') / 3 \quad (3.6)$$

Маючи значення кутів в плані різців  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi' = 15^\circ$  отримаємо:  $s = 1,57s_p$

Основний час обробки традиційними інструментами (спочатку чорнова а потім чистова) при чорновій подачі  $s_{\text{чорн}} \approx 3s_{\text{чист}}$  на розточувальну операцію для виробу довжиною  $l$  та частотою обертання шпинделя  $n$ :

$$t_{\text{ос.1}} = l/ns_{\text{чорн}} + l/ns_{\text{чист}} = l/3ns_{\text{чист}} + l/ns_{\text{чист}} = 4l/3ns_{\text{чист}} = 1,33 \cdot l/ns_{\text{чист}}, \quad (3.7)$$

а при використанні запропонованої розточувальної трирізцевої головки, в якій  $s = 1,57s_{\text{чист}}$  (при кутах в плані на різцях  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi' = 15^\circ$ ) буде:

$$t_{\text{ос.2}} = l/n \cdot 1,57s_{\text{чист}} = 0,636l/ns_{\text{чист}} \quad (3.8)$$

Зменшення основного часу, хв

$$\Delta t_{oc} = t_{oc.1} - t_{oc.2} = 1,33 \cdot l/n s_{чист} - 0,636l/n s_{чист} = 0,694 \cdot l/n s_{чист} \quad (3.9)$$

Таким чином очікуване зменшення основного часу (підвищення продуктивності праці становить:

$$\Delta t\% = \frac{0,694 \cdot l/n s_{чист}}{1,33 \cdot l/n s_{чист}} \cdot 100\% = 52.2\% .$$

### **3.4.2. Економічний ефект використання трирізцевої розточувальної головки з поділом подачі та припуску**

Трирізцева розточувальна головка відрізняється від традиційної головки в конструктивно-технологічних параметрах тим, що оброблення отвору здійснюється як чистовими так і чорновим різцем одночасно, та при заданій шорсткості забезпечується більша подача.

Отже, економічний ефект від використання даної трирізцевої розточувальної головки в тому, що зменшується потрібна кількість розточувальних головок, збільшується економія електроенергії та збільшується продуктивність праці.

Економічний ефект використання запропонованого інструменту у впри незмінних капітальних затратах визначиться за формулою [51]

$$E = E_{el} + E_{instr.} + E_{np}, \quad (3.10)$$

де  $E_{el}$ ,  $E_{св}$ ,  $E_{np}$  – складові елементи економічного ефекту: економія електроенергії; зменшення потрібної кількості розточувальних головок; збільшення продуктивності праці.

Зменшення витрат потужності при обробці партії виробів  $N_{вир.}$  визначається за формулою:

$$E_{el} = \frac{P_z \cdot V}{9750 \cdot \eta} \cdot N_{вир.} \cdot \Delta t_{oc} \quad (3.11)$$

Підставляємо (3.9) в (3.11) і отримуємо економічний ефект від економії електроенергії на потужності:

$$E_{ел} = \frac{P_Z \cdot V}{9750 \cdot \eta} \cdot N_{вир} \cdot C_{ел} \cdot 0,694 \cdot l / 60n s_{чист}, \quad (3.12)$$

де  $C_{ел}$  – вартість однієї кіловат-години, грн.

Економічний ефект від зменшення кількості інструментів:

$$E_{інстр.} = \frac{\Delta t_{ос.}}{k \cdot T} \cdot N_{вир} \cdot 3 \cdot C_{різ} = 3 \cdot \frac{0,694 \cdot l / n s_{чист}}{k \cdot T} \cdot N_{вир} \cdot C_{різ}, \quad (3.13)$$

де  $T$  - період стійкості інструменту (приймаємо для розрахунків  $T=100$  хв),

$C_{різ}$  – сумарна вартість виготовлення всіх різців, або пластин (приймаємо для розрахунків  $C_{різ} = 1000$  грн),

$k$  - кількість перезаточок (або кількість граней непереточуваної пластини (приймаємо  $k = 6$ )).

Економічний ефект від підвищення продуктивності визначиться за формулою:

$$E_{пр} = \Delta t_{ос} \cdot C_{хв} \cdot K_p, \quad (3.14)$$

де  $C_{хв}$  – годинна тарифна ставка верстатника, грн.;  $K_p$  – коефіцієнт, що враховує розрядність роботи.

Підставляємо (3.9) у (3.14) і отримуємо:

$$E_{пр} = 0,694 \cdot l \cdot C_{хв} \cdot K_p / 60n s_{чист}. \quad (3.15)$$

З врахуванням вище наведеного економічний ефект від використання запропонованої трирізцевої розточувальної головки буде

$$E = \frac{P_Z \cdot V}{9750 \cdot \eta} \cdot N_{вир} \cdot 0,694 \cdot l / 60n s_{чист} \cdot C_{ел} + \frac{0,694 \cdot l / 60n s_{чист}}{k \cdot T} \cdot N_{вир} \cdot C_{різ} + 0,694 \cdot l \cdot C_{хв} \cdot K_p / 60n s \quad (3.16)$$

Підставивши необхідні дані в (3.16) та обчисливши отримаємо сумарний економічний ефект  $E=69450$  грн на кожні 10000 виробів, тобто 6,95 грн на кожній деталі.

### **3.5. Висновки по розділу**

1. Запропоновано конструкцію трирізцевої комбінованої розточувальної головки, яка в процесі роботи реалізує одночасний поділ припуску на оброблення та подачу

2. Проведено розрахунки конструкторсько-технологічних параметрів трирізцевої розточувальної головки, а також розрахунок елементів її конструкції з використанням САЕ-системи SolidWorks Simulation

3. Доведено підвищену продуктивність обробки запропонованої розточувальної головки у порівнянні із трирізцевою головкою із рівномірним розміщенням різців

4. Запропоновано методику визначення економічної ефективності використання запропонованої трирізцевої розточувальної головки та визначено економічний ефект, який склав 69450 грн на 10000 умовних деталей.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Безпека праці під час виконання робіт на металорізальних верстатах

З метою запобігання травматизму згідно з [65] при виконанні робіт на металорізальному обладнанні необхідно дотримуватися наступних правил:

До початку робіт.

Потрібно уважно ознайомитися з інструкцією відділу техніки безпеки підприємства для даного фаху. Отримати інструктаж майстра з техніки безпеки щодо конкретних видів робіт на даний робочий день. Упорядкувати робочий одяг застібнути гудзики на рукавах, заправити комбінезон, прибрати волосся під головний убір, оскільки недбалість у робочому одязі може призвести до механічних ушкоджень організму людини внаслідок попадання одягу в зону дії рухомих частин верстата. Пересвідчитись у справності верстата, а саме: наявності захисних кожухів зубчатих передач, приводних пасів; зручності встановлення світильників місцевого освітлення (світло не повинно сліпити очі); перевірити верстат на холостому ході й переконатися у справності кнопок «Пуск» і «Стоп», органів керування, гальм, систем змащування й охолодження, підйомних і завантажувальних пристроїв. Перевірити надійність заземлення електродвигуна, шафи з електроустаткуванням і станини. Упорядкувати робоче місце – прибрати все зайве з верстата й зони робочого місця, зручно встановити тару для заготовок і деталей, перевірити справність дерев'яної решітки. Про несправність у верстаті та його електроустаткуванні негайно повідомити майстра або чергового слюсаря (електрика), і до усунення несправності до роботи не приступати.

Встановлюючи і знімаючи заготовки масою понад 20 кг, користуватися підйомними пристроями, при цьому надійно стропувати заготовку; звільняти заготовку від підвісу лише після її встановлення й надійного закріплення на верстаті. Для встановлення і знімання важкого патрона користуватися

спеціальним пристроєм. Під час заточування не підводити інструмент до торця плоского круга; не допускати великого зазору між підручником і кругом, не притискувати інструмент до круга з великим зусиллям; користуватися захисним щитком або окулярами.

Отримавши інструмент з комори, перевірити, чи немає забоїв на конусних хвостовиках, тріщин у твердосплавних пластинках, сколів або викришувань на різальних кромках і чи надійним є механічне кріплення пластинки.

Не знімати і не відкривати захисної огорожі та запобіжних пристроях: не знімати щитки з електрообладнання, не відчиняти дверей електрошафи, не доторкатися до клем.

Під час роботи і після закінчення робочої зміни.

Захищати очі від стружки захисним екраном (рис. 4.1) або ж окулярами (рис. 4.2, а) чи щитком (рис. 4.2, б). Прикривати патрон слід запобіжним щитком.

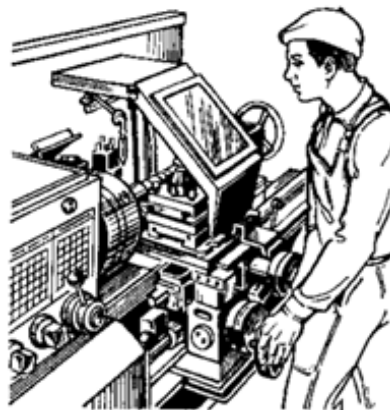


Рис. 4.1 Робота токаря із захисним екраном



Рис. 4.2. Індивідуальні засоби захисту очей: а) захисні окуляри;  
б) захисний щиток

Слідкувати, щоб охолоджувальна рідина чи мастило не потрапили на решітку або підлогу в зоні робочого місця; виявивши витікання мастила з картерів верстата, негайно викликати слюсаря; не спиратися на верстат під час його роботи.

Працюючи з жорстким заднім центром, своєчасно заповнювати мастилом центрові отвори заготовок; періодично перевіряти, чи не відходить задній центр (підкручувати маховичок задньої бабки); не розсовувати кулачки патрона до виходу їх із корпусу; в кулачковому патроні без підтримки центром задньої бабки закріплювати лише короткі заготовки, довгі заготовки підтримувати центром задньої бабки.

Міцно закріплювати оброблювані заготовки на верстаті – у патроні, центрах чи на оправці; не нарощувати рукоятки ключа для закріплення заготовок у патроні, а користуватися «самовідкидним» ключем (рис. 4.3); не застосовувати підкладок між зівом ключа та гранями гайки; правильно й надійно закріплювати інструмент; для встановлення різця застосовувати мінімальну кількість підкладок.

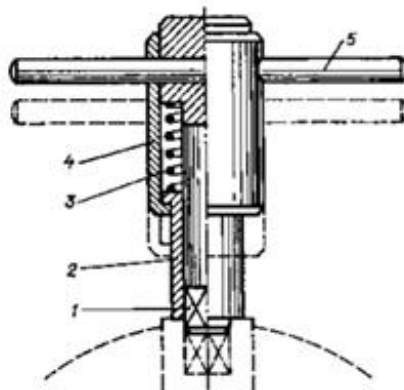


Рис. 4.3. Самовідкидний ключ до патрона: 1) ключ; 2) втулка; 3) пружина; 4) корпус станка; 5) рукоятка

Прибирати стружку лише після зупинки верстата. Видаляти стружку гачком і щіткою (рис. 4.4). Не працювати на верстаті в рукавицях; якщо палець забинтовано – поверх бинта надіти гумовий чохлик; витирати руки чистим ганчір'ям.



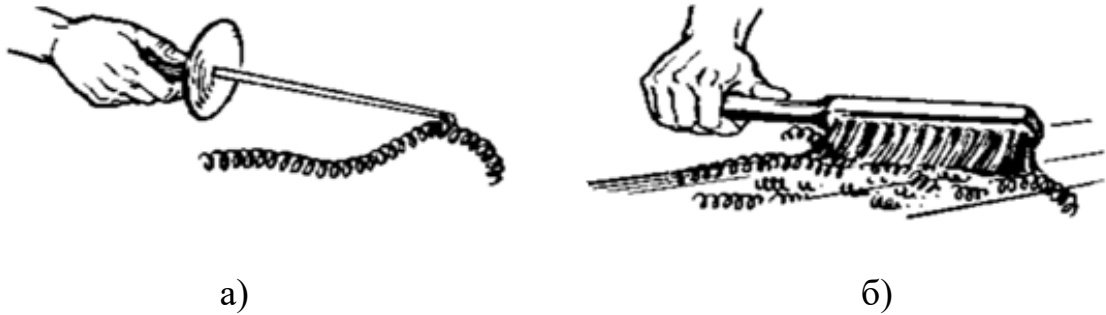


Рис 4.4. Видалення стружки з верстата за допомогою: а) гачка; б) щітки

Не відрізати пруток, якщо виліт зі шпинделя великий; кінець прутка, що виступає, огороджувати трубчастим кожухом з неробочого боку шпинделя. Вимірювання універсальним вимірювальним інструментом або калібрами виконувати лише після вимкнення верстата.

У разі травми – негайно звернутися до медпункту.

Після закінчення роботи слід вимкнути електродвигун верстата, очистити й змастити верстат, заготовки та деталі акуратно скласти на робочому місці, а інструменти – в інструментальну шафу.

Про всі неполадки в роботі верстата сповістити майстра.

## **4.2. Правила охорони праці під час холодного оброблення металів**

### **4.2.1. Загальні вимоги до технологічних процесів при холодній обробці металів**

При холодній обробці металів технологічні процеси згідно [66] повинні відповідати загальним вимогам, а саме:

1. Пристосування, застосовувані під час холодного оброблення металів, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.029-88 «ССБТ. Приспособления станочные. Требования безопасности».

2. Температура зовнішніх поверхонь основного та допоміжного устаткування повинна відповідати вимогам ДСТУ EN 563-2001 «Безпечність машин. Температури поверхонь, доступних до дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих поверхонь» (EN 563:1994, IDT).

3. Пневматичні і гідравлічні системи устаткування повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.040-79 «ССБТ. Гидроприводы объемные и системы

смазочные. Общие требования безопасности конструкции», ГОСТ 12.2.086-83 «ССБТ. Гидроприводы объемные и системы смазочные. Общие требования безопасности к монтажу, испытаниям и эксплуатации», ГОСТ 12.2.101-84 «ССБТ. Пневмоприводы. Общие требования безопасности к конструкции».

4. Завантаження, розвантаження, транспортування вихідних матеріалів, готової продукції повинні виконуватися з дотриманням вимог ГОСТ 12.3.020-80 «ССБТ. Процессы перемещения грузов на предприятиях. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.022-80 «ССБТ. Конвейеры. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.3.009-76 «ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности», Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007 року № 132, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 09 липня 2007 року за № 784/14051 (НПАОП 0.00-1.03-07), та ГОСТ 12.3.010-82 «ССБТ. Тара производственная. Требования безопасности при эксплуатации».

5. Працівники під час виконання робіт з холодного оброблення металів повинні дотримуватися вимог Інструкції з охорони праці під час виконання монтажних робіт інструментами і пристроями, затвердженої наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 05 червня 2001 року № 254, зареєстрованої в Міністерстві юстиції України 20 липня 2001 року за № 616/5807.

6. Установлення і знімання заготовок з матеріалів, що мають виражені токсичні властивості (берилій, магнієві сплави), необхідно виконувати із застосуванням автоматичних маніпуляторів або роботів промислових.

7. Під час оброблення дрібних деталей повинні застосовуватися механічні пристрої (бункери, механічні руки).

Верхні краї бункерів автоматів під час завантаження в них заготовок вручну повинні знаходитися не вище 1300 мм від рівня підлоги. При розташуванні країв бункерів на більшій висоті повинні передбачатися стаціонарні підставки або майданчики.

8. Зберігання і транспортування мастильно-охолоджувальних рідин повинні відповідати вимогам ДСТУ 4454:2005 «Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання» [67].

9. Приготування мастильно-охолоджувальних рідин необхідно виконувати централізовано в окремому приміщенні, обладнаному витяжною вентиляцією.

10. Очищення мастильно-охолоджувальних рідин від механічних домішок необхідно виконувати із застосуванням пристроїв (фільтри, магніти) для уловлювання дрібної стружки, абразиву, пилу та іншого бруду.

11. Для збирання мастильно-охолоджувальних рідин та запобігання розливу їх на підлогу необхідно застосовувати піддони.

12. Видалення стружки з поверхонь верстатів вручну необхідно виконувати на зупиненому устаткуванні за допомогою щіток і гачків у захисних окулярах згідно з вимогами ГОСТ 12.4.013-85 «ССБТ. Очки защитные. Общие технические условия» [68].

#### **4.2.2 Вимоги до охорони праці під час оброблення металів різанням**

1. Оброблення заготовок діаметром до 630 мм включно на універсальних верстатах токарної групи необхідно виконувати із застосуванням захисного огороження зони оброблення. З протилежного робочому місцю боку зона оброблення повинна мати екран.

2. Під час установа і знімання заготовок на універсальних токарних і токарно-револьверних верстатах огороження їх затискних патронів повинні легко відводитися та не обмежувати технологічні можливості верстатів.

3. В універсальних токарних, токарно-револьверних і карусельних верстатах час гальмування шпинделя після його вимикання при всіх частотах обертання не повинен перевищувати: у токарних верстатах для оброблення деталей діаметром до 500 мм - 5 секунд; у токарних верстатах для оброблення деталей діаметром до 630 мм - 10 секунд; у карусельних верстатах для оброблення деталей діаметром до 1000 мм - 10 секунд. Для токарних і карусельних верстатів, призначених для оброблення більших за розмірами деталей, час гальмування не встановлюється.

4. Під час виконання робіт на токарних верстатах з механізованим переміщенням пінолі задньої бабки необхідно застосовувати пристрій (планшайбу) для регулювання і контролю осьового зусилля притискання центра пінолі до заготовки. У токарно-карусельних верстатах планшайба повинна мати огороження, яке не перешкоджає обслуговуванню верстата.

5. Оброблювані заготовки (прутки) на пруткових токарних автоматах і пруткових револьверних верстатах повинні мати огороження по всій довжині, обладнане шумопоглинальним пристроєм.

У разі застосування огороження у вигляді напрямних труб, що обертаються разом із заготовкою (прутком) або коли заготовка (пруток) із задньої сторони виступає за межі огороження, прутковий магазин повинен мати кругове огороження по всій довжині.

6. Під час оброблення довгомірних заготовок (прутків) на універсальних верстатах пруток повинен обгороджуватися захисним пристроєм з боку заднього кінця шпинделя.

7. Під час точіння деталей (валів, осей) довжиною понад дванадцять діаметрів, а також під час швидкісного або силового точіння деталей довжиною понад вісім діаметрів необхідно застосовувати додаткові опори (люнети).

8. Різальний інструмент необхідно встановлювати з мінімальним вильотом. Для установаження різального інструмента по висоті необхідно використовувати набір підкладок різної товщини, довжина і ширина яких повинні бути не меншими опорної частини різця. Закріплення різця повинно здійснюватися не менше ніж двома болтами по всій площині різця.

9. Під час оброблення ламких матеріалів і при утворенні дрібної сталевої стружки необхідно використовувати пристрої для видалення стружки.

10. Під час свердління отворів у деталях необхідно використовувати стаціонарні або ручні затискні пристосування (затискні пристрої, упори, напрямні елементи, кондуктори). Не дозволяється утримувати деталь руками.

11. Пристосування (кондуктори) для свердління та оброблення отворів діаметром до 6 мм, які не закріплені стаціонарно, повинні мати рукоятки, скоби

для утримання їх рукою. Для уникнення повороту пристосування або відривання його від столу необхідно застосовувати упори, притискні пристрої.

12. Оброблення заготовок діаметром до 1250 мм на верстатах зубооброблювальної групи необхідно виконувати із захистом зони оброблення пристроями з оглядовими вікнами з органічного скла.

13. По закінченні циклу оброблення заготовки на верстатах зупинка інструмента повинна відбуватися протягом інтервалів часу, але не більше:

6 секунд - для зубофрезерних і зубодовбальних верстатів, призначених для оброблення деталей діаметром до 1000 мм;

10 секунд - для зубофрезерних і зубодовбальних верстатів, призначених для оброблення деталей діаметром понад 1000 мм;

5 секунд - для зубошевінгувальних, зубохонінгувальних і зубонакатних верстатів;

30 секунд - для зубошліфувальних верстатів, що працюють з конусним, профільним абразивними кругами;

40 секунд - для зубошліфувальних верстатів, що працюють з черв'ячним кругом.

14. Нарізання конічних зубчастих коліс із круговим зубом необхідно виконувати на верстатах з блокуванням включення руху інструмента від електропривода при користуванні ручним приводом інструмента під час вивірення різців зуборізної головки.

15. Оброблення конічних коліс із круговим зубом діаметром 500 мм і більше необхідно виконувати із застосуванням захоплювального пристрою (ременем з буртами) з міцного матеріалу (брезенту), оснащеного рукоятками для захоплення підймальним пристроєм.

16. Під час різання металів неробоча ділянка пилки відрізного круглопилкового верстата повинна бути огорожена. Відрізнні круглопилкові верстати повинні з передньої сторони оснащуватися відкидним убік або знімним захисним екраном.

17. Не дозволяється використовувати пильні диски з діаметром отвору, що перевищує діаметр вала (шпинделя), а також застосовувати вставні кільця (втулки) для зменшення діаметра отвору.

18. Відрізані заготовки необхідно передавати в тару за допомогою конвеєрів, жолобів.

19. Подавання матеріалу під час його розрізання стрічковими або дисковими пилками необхідно виконувати за допомогою спеціальних пристосувань, що забезпечують стійке положення матеріалу.

20. Під час роботи верстата не дозволяється стояти в площині обертання дискової пилки або абразивного відрізного круга, виштовхувати стружку із сегментів диска під час його обертання, а також підтримувати кінець заготовки, що відрізається.

21. Для охолодження зони різання під час оброблення виробів з магнію необхідно застосовувати мастильно-охолоджувальні рідини на основі мінеральних і рослинних масел, що не містять кислот і води.

22. Стружку і пил магнієвих сплавів необхідно зберігати в закритій металевій тарі.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено методику та концепцію розміщення різців у трирізцевих розточувальних головках підвищеної продуктивності, які забезпечують в процесі різання одночасний поділ припуску та подачі та запропоновано два варіанти їх виконання;

2. Отримано залежності для визначення: подач на різцях та на оберт, корегованих кутів в плані другого чистового різця, глибин різання на чорновому та чистових різцях з умови зрівноваження радіальних складових сил різання, центральних кутів розміщення чорнового та чистових різців для трирізцевих розточувальних головок;

3. Проведено графічну оптимізацію допустимих значень головного та допоміжного кутів в плані чистових різців з умови забезпечення максимальної продуктивності оброблення.

4. Розроблено конструкцію трирізцевої розточувальної головки за запропонованою методикою та проведено її розрахунок з використанням САЕ системи SolidWorks Simulation.

5. Запропоновано методику визначення економічної ефективності використання розробленого інструменту. Економічний ефект при розточуванні отворів довжиною 500 мм, діаметром 66 мм на партію 10000 деталей становить 69450 грн.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пат. 82488, Україна, МПК (2006) В 23 В29/00. Розточувальна головка / Буюклі І.М.; Джугурян Т.Г.; Іоргачов В.Д.; Лінчевський П.А; заявник і патентовласник Буюклі І.М.; Джугурян Т.Г; Іоргачов В.Д; Лінчевський П.А. – № а200501682; заявл. 23.02.2005; опубл. 15.12.2006, бюл. № 12.

2. Пат. 89174, Україна, МПК (2009) В 23 В29/00. Розточувальна головка / Буюклі І.М.; Іоргачов В.Д.; Лінчевський П.А; заявник і патентовласник Буюклі І.М Іоргачов В.Д. Лінчевський П.А;– №а200605972; заявл. 30.05.2006; опубл. 11.01.2010, бюл. № 1.

3. Пат. 97969, Україна, МПК (2015.01) В21D 28/26 (2006.01) В21D 35/00 В21J 5/06 (2006.01). Розточувальна головка / Оборський Г.О.; Баланюк Г.В.; Оргіян О.А.; Оргіян А.О.; заявник і патентовласник Одеський національний політехнічний університет,– № u201412057; заявл. 07.11.2014; опубл. 10.04.2015, бюл. № 7.

4. Баланюк Г.В. Підвищення точності та якості багаторізного розточування ступінчастих отворів на основі дослідження динаміки технологічної системи [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Баланюк Г. В. ; Одес. нац. політехн. ун-т. - Одеса, 2018.

5. Попов В.С. Забезпечення точності розташування співвісних отворів при розточуванні інструментами одностороннього різання [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Попов В.С.; Луц. нац. техн. ун-т. - Луцьк, 2012.

6. Пат. 26595, Україна, МПК (2006) В23В 29/00. Пристрій для суміщеного процесу розточування і поверхневої пластичної деформації отворів / Аветісян В.К.; Сідашенко О.І.; Карпусенко В.П.; Поліщук І.В.; заявник і патентовласник Аветісян В.К.– № u200706389; заявл. 08.06.2007; опубл. 25.09.2007, бюл. № 15.

7. Пат. 31097, Україна, МПК (2006) В23Р 6/00. Пристрій для розточування і поверхневої пластичної деформації отворів / Аветісян В.К.; Автухов А.К.; Польотов В.А.; Попов О.О.; Сайчук О.В. ; Сідашенко О.І.; заявник і патентовласник Аветісян В.К. – № u200713207; заявл. 27.11.2007; опубл. 25.03.2008, бюл. № 6.



8. Пат. 61430, Україна, МПК (2011.01) В23В 29/00. Пристрій для розточування отворів / Сичов Ю.І.; Тарасюк А.П.; Лях Б.Г.; Самчук В.В.; заявник і патентовласник Українська інженерно-педагогічна академія,– № u201013318; заявл. 09.11.2010; опубл. 25.07.2011, бюл. № 14.

9. Пат. 81577, Україна, МПК (2013.01) В23В 29/00. Пристрій для розточування отворів / Сичов Ю.І.; Тарасюк А.П.; Самчук В.В.; Лях Б.Г.; заявник і патентовласник Українська інженерно-педагогічна академія.– № u201213459; заявл. 26.11.2012; опубл. 10.07.2013, бюл. № 13.

10. Кондратюк О.Л. Підвищення ефективності силових головок для обробки отворів малого діаметра за рахунок застосування електромагнітного приводу подач : Дис... канд. наук: 05.03.01 – 200 (Харків).

11. Луців І. В. Проектування сверدل адаптивного типу для оброблення глибоких отворів з допомогою ПЕОМ / Луців І., Брошак І. // Вісник ТДТУ. – 2001. – Т. 6. – № 1. – С. 45–51.

12. Луців І. В. Аналіз ресурсу і конструктивних особливостей свердел адаптивного типу для обробки глибоких отворів / І. В. Луців, І. І. Брошак // Процеси механчної обробки в машинобудуванні. – 2009. – Вип. 6. – С. 130-140

13. Луцив И. В. Обработка отверстий большого диаметра инструментами с адаптивной кинематической связью/ Луцив И. В., Нагорняк С.Г. // Технология и организация производства. – Киев, 1987. – С. 27-29.

14. Кривий П. Д. Багатолезовий різальний інструмент для протяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / П. Д. Кривий. В. В. Крупа // Збірник матеріалів наукової конференції механіко-технологічного факультету «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті», 16 травня 2011 : тези допов. – Тернопіль : В-во ТНТУ. –2011. С. 99-100.

15. Кривий П. Д. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з одночасним поділом товщини та ширини зрізаного шару / Кривий П. Д. , Крупа В. В. , Горлій Є. І. // Матеріали доповідей XVI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 27-28 жовтня 2010 : тези допов. – Тернопіль : В-во ТНТУ. – 2010. – Том 2. – С. 30.

16. Кривий П. Д. Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Вісник ЖДТУ. – 2010. – №2. – С. 45-56.

17. Кривий П. Д. Імовірно-статистичний підхід при дослідженні впливу точності подачі на шорсткість обробленої поверхні при точінні та розточуванні / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Матеріали міжнародного наук.-техн. конф. студентів. 193 аспірантів і молодих вчених «Прогресивні напрямки розвитку машиноприладобудування та транспорту» 16-18 травня 2011р. :тези допов. – Севастополь: Вид-во СевНТУ. – 2011. – С. 175-176.

18. Кривий П. Д. Інструментальне забезпечення процесу розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Вісник ЖДТУ. – 2012. – №2. – С. 23-34.

19. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічні параметри багаторізцевих розточних головок з радіусними вершинами різців / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2011.– Вип. 33 – С. 92-99.

20. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів / Кривий П. Д. , Крупа В. В. , Продан В. І. // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – № 1. – С. 147-156. – (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

21. Кривий П. Д. Підвищення ефективності процесу оброблення глибоких отворів циліндрів багатолезовим різальним інструментом / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції 194 "Прогресивні технології у машинобудуванні" присвячена 170-річчю створення Національного університету "Львівська політехніка", 2-6 лютого 2015 : праці. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. – С. 45-47.

22. Пат. CN105458314, КНР, МПК (2006.01) В 23 В 29/03, Boring head / Zhen Feng; Hou Dongmei; заявник і патентовласник The Third Coal Mine Machinery LTD Company of Zhangjiagang. -№ CN201510983679 20151224; заявл. 24.12.2014; опубл. 06.04.2016.

23. Пат. CN103506654, КНР, МПК (2006.01) В 23 В 29/03, В 23 В 41/00, В 23 В 47/00, Mechanism for machining holes inside pipeline / Kou Zongfeng; Yu Haibo; Chen Yang; Wei Xuguang; Wei Tao; Zhong Changjun; заявник і патентовласник First Heavy Group Shaoxing Heavy Machine Tool Co LTD. - №CN201310471369 20131011; заявл. 11.10.2013; опубл. 15.01.2014.

24. Пат. CN106735368, КНР, МПК (2006.01) В 23 В 29/034 Adjustable fine boring cutter and self-centering fine tuning unit thereof / Xia Wensheng; Gao Fei; Xu Tongtong; заявник і патентовласник Yancheng Inst Technology. - №CN201611204334 20161223; заявл. 23.12.2016; опубл. 31.05.2017.

25. Пат. CN108672764, КНР, МПК (2006.01) В 23 В 29/02, В 23 В 29/03, В 23 В 41/02, Adaptive support type boring device for machining web type deep holes and with cutting tool being retractable in radial direction / Zhao Wu; Zhao Jian; Huang Dan; Wang Wenyuan; Huo Boyi; заявник і патентовласник Univ Henan Polytechnic. -№ CN201810775639 20180716; заявл. 16.07.2018; опубл. 19.10.2018.

26. Пат. DE102014013125, ФРН, МПК (2006.01) В 23 D 79/04, МПК (2006.01) В 23 В 29/034, Schälkopf zum Innenschälen von kreisrunden Bohrungen / Löschner Ralf; заявник і патентовласник Wenaroll GmbH Tools and Systems. -№ DE20141013125 20140830; заявл. 30.08.2014; опубл. 24.12.2015.

27. Пат. DE102014208102, ФРН, МПК (2006.01) В 23 В 51/00, В 23 D 77/02, Zerspanungswerkzeug; заявник і патентовласник Maral Fabrik Für Präzisionswerkzeuge Dr Kress KG. -№ DE201410208102 20140429; заявл. 29.04.2014; опубл. 23.10.2015.

28. Пат. DE102014116856, Німеччина, МПК (2006.01) В 24 В 5/06; МПК (2010.01) В 24 D 99/00; ; МПК (2006.01) В 23 С 5/16, Kombinationswerkzeug zur Bearbeitung von Zylinderbohrungen / Wolf Rene; Ehrmann Rudolf; Vaszil-Schaeffer Wolfgang; заявник і патентовласник Kennametal inc. -№DE201410116856 20141118; заявл. 18.11.2014; опубл. 19.05.2016.

29. Пат. 0222979 США, МПКЗ В 23 В29/034. BORING HEAD / Rudolf Stadelmann, Gottlieb Abderhalden, Ralph Stadelmann ; заявник і патентовласник Heinz Kaiser AG. – №20110222979A1 ; заявл. Mar.15,2011 ; опубл. Sep.15,2011.

30. Пат. ES2424503, Іспанія, МПК (2006.01) В 23 В 29 / 034. Drilling tool / Frank Peter; заявник і патентовласник Sandvik intellectual property. se. -№ES 20040717615T 20040305; заявл. 05.03.2004; опубл. 02.10.2013.

31. Пат. US2016193671, США, МПК (2006.01) В 23 С 5/10, МПК (2006.01) В 23 С 5/24. Cutting tool / Toshikata Kamikubo; заявник і патентовласник Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha. -№JP20130153289 20130724; -№WO2014JP02959 20140603; заявл. Jun. 3,2014; опубл. 07.07.2016.

32. Пат. US9782832, США, МПК (2006.01) В 23 В 29/0341, Boring tool / Lambrick John D; заявник і патентовласник DST/Precision L L C., Decatur. -№US201514669220 20150326; заявл. 26.05.2015; опубл. 10.10.2017.

33. Инструменты для обработки точных отверстий / [Кирсанов С. В. , Гречишников В. А. , Схиртладзе А. Г. , Кокарев В. И. ]. – М. : Машиностроение, 2005. – 336с.

34. Светлицкий В. А. Расчет погрешностей обработки глубоких отверстий / Светлицкий В. А. , Мещеряков Р. К. , Ушаков А. И. // Изв. вузов. Машиностроение. – 1977. – №5. – С. 167-171.

35. Лазарев Д. Е. Повышение качества обработки поверхности и точности размеров при растачивании глубоких отверстий / Д. Е. Лазарев, Т. Г. Насад // Вестник СГТУ, 2011. – №3(58). – Вып. 2. – С76-79.

36. Лазарев Д. Е. Режущие инструменты для повышения качества и производительности механической обработки точных отверстий / Д. Е. Лазарев, Т. Г. Насад // Вестник СГТУ, 2011. – №3(58). – Вып. 2. – С. 80-83.

37. Обработка глубоких отверстий / [Уткин Н. Ф., Кижняев Ю. Н., Плужников С. К. и др.] ; под общ. ред Н. Ф. Уткина. – Л. : Машиностроение, 1988. – 269 с.

38. А. с. 1053973 СССР, МКИЗ В 23 В 29/03. Расточная головка / Н.Ф. Уткин, В. В. Григорьев, Н. С. Силин, М. Н. Коростелев (СССР). – №3317409/25-08; заявл. 15.07.81; опубл. 15.11.1983, Бюл. №42.

39. Обработка глубоких отверстий в машиностроении. Справочник. [Кирсанов С. В., Гречишников В. А., Григорьев С. Н., Схиртладзе А. Г.]. – М. : Машиностроение. – 2010. – 344с.

40. Шендеров И. Б. Модель формообразования отверстия при растачивании / И. Б. Шендеров // Вестник машиностроения. – 1998. – №3. – С.22- 25.

41. Обработка глубоких отверстий. Справочник технолога / [под ред. А. Панова]. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.

42. Справочник металлиста: в 5-ти т. / под ред. А. Н. Малова. – М.: Машиностроение, 1977. – Т.3. – 1977. – 748с.

43. А. с. 1472183 СССР, МКИЗ В 23 В 29/03. Расточная головка / А. Л. Айрикян, Т. Г. Джугурян. – №4292346/25–08 ; заявл. 30.07.87 ; опубл. 15.04.89, Бюл. № 14.

44. А. с. 1484454 СССР, МКИЗ В 23 В 29/03. Расточная головка / Г. Д. Григорьян, С. А. Близнюк, Т. Г. Джугурян. – №4200464/25–08 ; заявл. 25.02.87 ; опубл. 07.06.89, Бюл. № 21.

45. А. с. 1565595 СССР, МКИЗ В 23 В 29/03. Многолезцовая расточная головка для обработки глубоких отверстий / В. В. Григорьев, К. В. Воскобой (СССР). – №4300551/31-08 ; заявл. 01.06.87; опубл. 23.05.1990, Бюл. № 49.

46. А. с. 1801707 В 23 В 29/03. Инструментальная головка / А. И. Гамерман, Т. Г. Джугурян, Б. А. Моргун, В. А. Парфенова, Э. М. Сирота. – №4841605/08 ; заявл. 25.06.90 ; опубл. 15.03.93, Бюл. № 10.

47. А. с. 1808500 В 23 В 29/03. Способ обработки отверстий / Т. Г. Джугурян, А. А. Оргиян, А. П. Пупин – №4951657/08 ; заявл. 05.04.91 ; опубл. 15.04.93, Бюл. № 14.

48. А. с. №1683876 МКИЗ В 23 В 29/03. Расточная головка для обработки глубоких отверстий / В. Ф. Гилян, (СССР). – №4437654/08; заявл. 08.06.88; опубл. 15.10.1991, Бюл. № 38.

49. Крупа В. В. Статистична оцінка впливу стохастичності подач на сформовану за різними моделями шорсткість обробленої поверхні при точінні та розточуванні / В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко, А. А. Андрухів, І. Г. Михайлів // Збірник матеріалів 10-ї відкритої наукової конференції Інституту прикладної математики та фундаментальних наук, 17-18 травня 2012р. : тези допов. – Львів : Вво НУ «Львівська політехніка», 2012. – С. В49.

50. Справочник металлиста: в 5-ти т. / под ред. А.Н. Малова. М.: Машиностроение. 1977. Т.3. 1977. 748с.

51. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис. канд. техн. наук, спец. 05.03.01. Тернопіль, 2015. 185 с.

52. Расточной инструмент: каталог продукции / Heinz Kaiser LTD , 2010. – 74 с.

53. Железнов Г. С. Расточной инструмент / Г. С Железнов, Ю. А. Голоднова, С. Г. Железнова // Станки и инструмент. – 2004. – №8. – С. 39-41.

54. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position / Petro Kryvyi, Volodymyr Krupa, Volodymyr Kobelnyk, Yaroslav Kosiv. // Scientific Journal of TNTU. — Ternopil : TNTU, 2019. — Vol 96. — No 4. — P. 57–69.

55. Крупа В.В. Конструкція трирізцевої розточувальної головки з асиметричним розміщенням різців підвищеної продуктивності / Крупа В.В., Косів Я.М. // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 60-річчя з дня заснування ТНТУ та 175- річчя з дня народження Івана Пулюя, (Тернопіль, 14–15 травня 2020 року) – Тернопіль: ТНТУ, 2020. – С. 87-88.

56. Подураев В. Н. Обработка резанием с вибрациями / Подураев В. Н. М.: Машиностроение, 1970. – 350 с.

57. Таурит Г. Э. Безвибрационное многолезвийное резание / Г. Э. Таурит, Е. С. Пуховский, М. И. Лещенко. – К. : Техника, 1982. – 117 с.

58. Маталин А. А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин / Маталин А. А. – К.: Техника, 1971. – 142 с. 109. Металорізальні інструменти / [П.Р. Родін, Ю.М. Бугай, Н.С. Равська, В.І. Солодкий]. – Київ, 1999. – Ч1. – 226 с.

59. Пат. 2104827 РФ, МПК6 В 23 В29/03. Расточная головка / Самыкин В. Н., Волков А. Н., Бурмистров Е. В. ; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет. – №94025997/02; заявл. 12.07.1994 ; опубл. 20.02.1998.

60. Пат. US65484307A, США, МПК (2006.01) В 23 В 51/00, Micro-adjustable differential screw assembly / Musil John C, Quatkemeyer Thomas ; заявник і патентовласник Kennametal Inc. -№ US65484307A; заявл. 18.01.2007; опубл. 24.07.2008.

61. Пат. JP2014012339A, Японія, МПК (2006.01) В 23 В 29/034, МПК (2006.01) В 23 В 29/03, Boring Head / Abderhalden Gottlieb, Stadelmann Ralph; заявник і патентовласник Kaiser Heinz AG. -№ JP2013221854A; заявл. 25.10.2013; опубл. 23.11.2014.

62. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под. ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.2. – 1985. – 496 с.
63. Барановский Ю. В. Режимы резания металлов / Ю. В. Барановский. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.
64. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] : В 3-х т. Т. 1 / В. И. Анурьев ; под ред. И. Н. Жестковой. - 8-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2001. - 920 с.
65. Технологія верстатних робіт: навч.пос. для проф.-техн. навч. закладів / М. А. Вайнтрауб, В. Й. Засельський, Д. В. Пополов, за наук. ред. М. А. Вайнтрауба. – К. : 2015. – 199с.
66. Про затвердження Правил охорони праці під час холодного оброблення металів [Електронний ресурс] / Офіційний вісник України. – 2013.
67. ДСТУ 4454:2005. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання: чинний з 2006-07-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2006.
68. . ГОСТ 12.4.013-85. Система стандартов безопасности труда. Очки защитные. Общие технические условия.-Введ. : с 01.07.86. - Москва : Издательство стандартов , 1985 - 16 с.



Додатки