

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Розробка технології виготовлення блоку доклевелера з дослідженням особливостей обробки глибоких отворів»
«Development of a technology for manufacturing a docking block with research into the specifics of deep hole machining»

Виконав здобувач вищої освіти 2-го року
магістратури групи ПМ-24М-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Роман ТРИГУБЕНКО

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Рецензент: _____

Кропивницький – 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Романа ТРИГУБЕНКА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технології виготовлення блоку доклевелера з дослідженням особливостей обробки глибоких отворів

2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Олександр СКІБІНСЬКИЙ

3. Строк подання роботи до захисту « ____ » _____ 2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: дослідження обробки глибоких отворів, виявлення негативних особливостей даного процесу та розробка рекомендацій щодо усунення таких особливостей та явищ на прикладі обробки отворів центрального блоку доклевелера з розробкою технології його обробки.

Завдання:

- виконати опис процесу обробки глибоких отворів та інструменту для його здійснення;
- проаналізувати негативне явище процесу свердління глибоких отворів, а саме недостатньо інтенсивне виведення стружки із зони обробки;
- проаналізувати причини даного явища;
- виконати пошук відомих варіантів ефективнішого відведення стружки при свердлінні та дослідити відомі конструкції спіральних сверدل, які подрібнюють стружку;
- розробити технологію обробки центрального блоку доклевелера, обрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розрахувати припуски, режими різання та норми часу;
- розробити удосконалену конструкцію спірального свердла для обробки глибоких отворів деталі центральний блок доклевелера, яка забезпечить подрібнення стружки; виконати необхідні економічні розрахунки.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 2	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 3	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 4	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п / п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	ВСТУП	Вересень 2025	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Вересень 2025	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Вересень-жовтень 2025	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Жовтень-листопад 2025	вик.
5	РОЗДІЛ 4	Листопад 2025	вик.
6	РОЗДІЛ 5	Листопад 2025	вик.
7	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Листопад 2025	вик.
8	Графічна частина	Листопад-грудень 2025	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи _____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2025 р.

Здобувач _____ Роман ТРИГУБЕНКО
(підпис)

Анотація

Тригубенко Р.І. Розробка технології виготовлення блоку доклевелера з дослідженням особливостей обробки глибоких отворів: кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: спец. 131 «Прикладна механіка» / наук. кер. О. І. Скібінський; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 91 с. Матеріали презентації 9 креслень.

Метою роботи є дослідження обробки глибоких отворів, виявлення негативних особливостей даного процесу та розробка рекомендацій щодо усунення таких особливостей та явищ на прикладі обробки отворів центрального блоку доклевелера з розробкою технології його обробки.

В роботі виконано: опис процесу обробки глибоких отворів та інструменту для його здійснення; аналіз негативного явища процесу свердління глибоких отворів, а саме поганого виведення стружки із зони обробки або її забивання; аналіз причин даного явища; пошук відомих варіантів ефективнішого відведення стружки при свердлінні та дослідження відомих конструкцій спіральних сверدل, які подрібнюють стружку; розробку технології обробки центрального блоку доклевелера, вибір металорізальних верстатів, затискних, допоміжних та контрольних пристроїв; розрахунок припусків, режимів різання та норм часу; розробку удосконаленої конструкції спірального свердла для обробки глибоких отворів деталі центрального блоку доклевелера, яка забезпечить подрібнення стружки; виконано необхідні економічні розрахунки.

Актуальність: забезпечення покращення подрібнення стружки під час свердління глибоких отворів.

Практична цінність: Виконавши аналіз конструкцій сверدل, які забезпечують подрібнення стружки, запропоновано конструкцію спірального свердла, головні різальні кромки якого заточені під різними кутами, що забезпечує зменшення товщини та ширини стружки та додатково дане свердло забезпечене канавками на передніх поверхнях. Подрібнення стружки при її контакті із поверхнею канавки покращить процес виведення стружки із зони обробки та мінімізує негативний вплив тертя стружки об щойно оброблену поверхню отвору.

Ключові слова: свердло, глибокий отвір, стружка, подрібнення стружки, канавка.

Annotation

Roman TRYHUBENKO. Development of a technology for manufacturing a docking block with research into the specifics of deep hole machining. Master's Thesis: CNTU, 2025. - 91 p. Presentation materials 9 il.

The purpose of the work is to study the processing of deep holes, identify negative features of this process and develop recommendations for eliminating such features and phenomena using the example of processing holes in the central block of the dock leveler with the development of its processing technology.

The work includes: a description of the deep hole processing process and the tool for its implementation; analysis of the negative phenomenon of the deep hole drilling process, namely poor removal of chips from the processing zone or its clogging; analysis of the causes of this phenomenon; search for known options for more effective chip removal during drilling and research of known designs of twist drills that crush chips; development of the processing technology for the central block of the dock leveler, selection of metal-cutting machines, clamping, auxiliary and control devices; calculation of allowances, cutting modes and time standards; development of an improved design of a twist drill for processing deep holes in the central block of the dock leveler part, which will ensure chip crushing; necessary economic calculations.

Relevance: ensuring improved chip grinding during drilling of deep holes.

Practical value: Having analyzed the designs of drills that provide chip grinding, a design of a spiral drill is proposed, the main cutting edges of which are sharpened at different angles, which ensures a reduction in the thickness and width of the chip, and additionally this drill is equipped with grooves on the front surfaces. Chip grinding when it comes into contact with the groove surface will improve the process of removing chips from the processing zone and minimize the negative impact of chip friction on the newly processed surface of the hole.

Keywords: drill, deep hole, chips, chip grinding, groove.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ ГЛИБОКИЙ ОТВІР, ЙОГО ОБРОБКА, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1. Поняття глибокий отвір, методи обробки.....	8
1.2. Інструмент для обробки глибоких отворів.....	9
1.3. Негативний вплив стружки при свердлінні глибоких отворів.....	17
1.4. Постановка задач дослідження.....	18
РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ТА МЕТОДИ ПОДРІБНЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ СВЕРДЛІННІ.....	19
2.1. Конструкції спіральних сверدل, що покращують подрібнення та виведення стружки.....	19
2.2. Висновки.....	29
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ЦЕНТРАЛЬНОГО БЛОКУ ДОКЛЕВЕЛЕРА.....	30
3.1. Характеристика виробу та вузла до якого входить деталь.....	30
3.2. Службове призначення та характеристика центрального блоку.....	34
3.3. Розробка технології виготовлення центрального блоку.....	38
3.4. Висновки.....	73
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛА ДЛЯ ОБРОБКИ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ЦЕНТРАЛЬНОГО БЛОКУ.....	74
4.1. Вибір напрямків удосконалення конструкції свердла.....	74
4.2. Проектування конструкції свердла.....	74
4.3. Висновки.....	77
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛА.....	78
5.1. Загальні вихідні дані.....	78
5.2. Визначення витрат на підготовку виробництва.....	79
5.3. Визначення собівартості та оптової ціни інструменту.....	80
5.4. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки).....	83
5.5. Розрахунок показників економічної ефективності.....	83
5.6. Висновки.....	85
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87

ВСТУП

Машинобудування відіграє ключову роль у розвитку економіки будь-якої держави, оскільки є основою технічного прогресу, індустріалізації та підвищення конкурентоспроможності національного виробництва. Сучасний етап розвитку машинобудівної галузі характеризується динамічними змінами, що обумовлені інтеграцією новітніх цифрових технологій, впровадженням автоматизованих систем управління, роботизацією виробництва та зростанням вимог до енергозбереження й екологічної безпеки продукції.

На фоні глобалізації та зростання конкуренції як на внутрішньому, так і на міжнародному ринку, актуальності набуває питання забезпечення високої якості машинобудівної продукції. Досягнення стабільної якості стає критичним фактором для збереження позицій підприємства, залучення інвестицій та розширення ринків збуту. Водночас, підвищення якості продукції відбувається в умовах зростаючих вимог до ефективності виробничих процесів.

В роботі необхідно виконати опис процесу обробки глибоких отворів та інструменту для його здійснення. Виконати наліз негативного явища процесу свердління глибоких отворів, а саме поганого виведення стружки із зони обробки або її забивання та проаналізувати причин появи даного явища. Виконати пошук відомих варіантів ефективнішого відведення стружки при свердлінні та дослідити відомі конструкції спіральних сверدل, які подрібнюють стружку. Розробити технологію обробки центрального блоку доклевелера, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої. Розробити удосконалену конструкцію спірального свердла для обробки глибоких отворів деталі центральний блок доклевелера, яка забезпечить подрібнення стружки.

РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ ГЛИБОКИЙ ОТВІР, ЙОГО ОБРОБКА, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

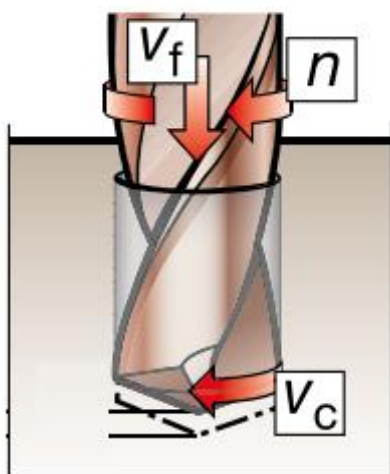
1.1. Поняття глибокий отвір, методи обробки

Глибоким отвором називають отвір, значення відношення довжини якого до діаметру рівне або більше 5 ($L/D \geq 5$).

Особливість обробки глибоких отворів полягає в необхідності забезпечення точності, якості та прямолінійності поверхні отвору, довжина якого значно перевищує його діаметр. Обробка глибоких отворів здійснюється інструментом великої довжини.

Обробка глибоких отворів виконується свердлінням та фрезеруванням. Інструментом при свердлінні отвору є свердло, яке під час обробки виконує обертовий рух навколо власної осі та рух подачі – вздовж осі оброблюваного отвору (рис. 1.1, а).

Різальним інструментом при фрезеруванні глибоких отворів виступає кінцева фреза. Фрезерування отворів виконується одним із двох методів інтерполяції: колової або гвинтової. Колова інтерполяція забезпечує рух фрези по колу, формуючи в процесі фрезерування заданий діаметр отвору, та врізання на певний крок обробки після кожного проходу по колу. Фрезерування отворів методом гвинтової інтерполяції (рис. 1.1, б) забезпечує рух фрези по спіралі із постійним врізанням.



а)



б)

Рис. 1.1. Схеми обробки отворів:

а – свердлінням; б – фрезеруванням методом гвинтової інтерполяції

1.2. Інструмент для обробки глибоких отворів

Для обробки глибоких отворів свердлінням, в якості різального інструменту застосовують свердла різних конструкцій в залежності від діаметру оброблюваного отвору: рушничні, спіральні, мікросвердла, а також свердлильні головки.

Рушничні свердла, що здатні обробляти точні глибокі отвори з високою якістю поверхні, спочатку були винайдені для виробництва рушничної зброї. Сучасний стан розвитку металообробки дозволяє застосовувати цей інструмент для глибокого свердління практично будь-яких матеріалів.

Рушничні свердла (рис. 1.2) призначені для свердління отворів діаметром 1-50 мм, а значення співвідношення довжини до діаметру може досягати 200. Свердла даного типу мають одну ріжучу кромку.

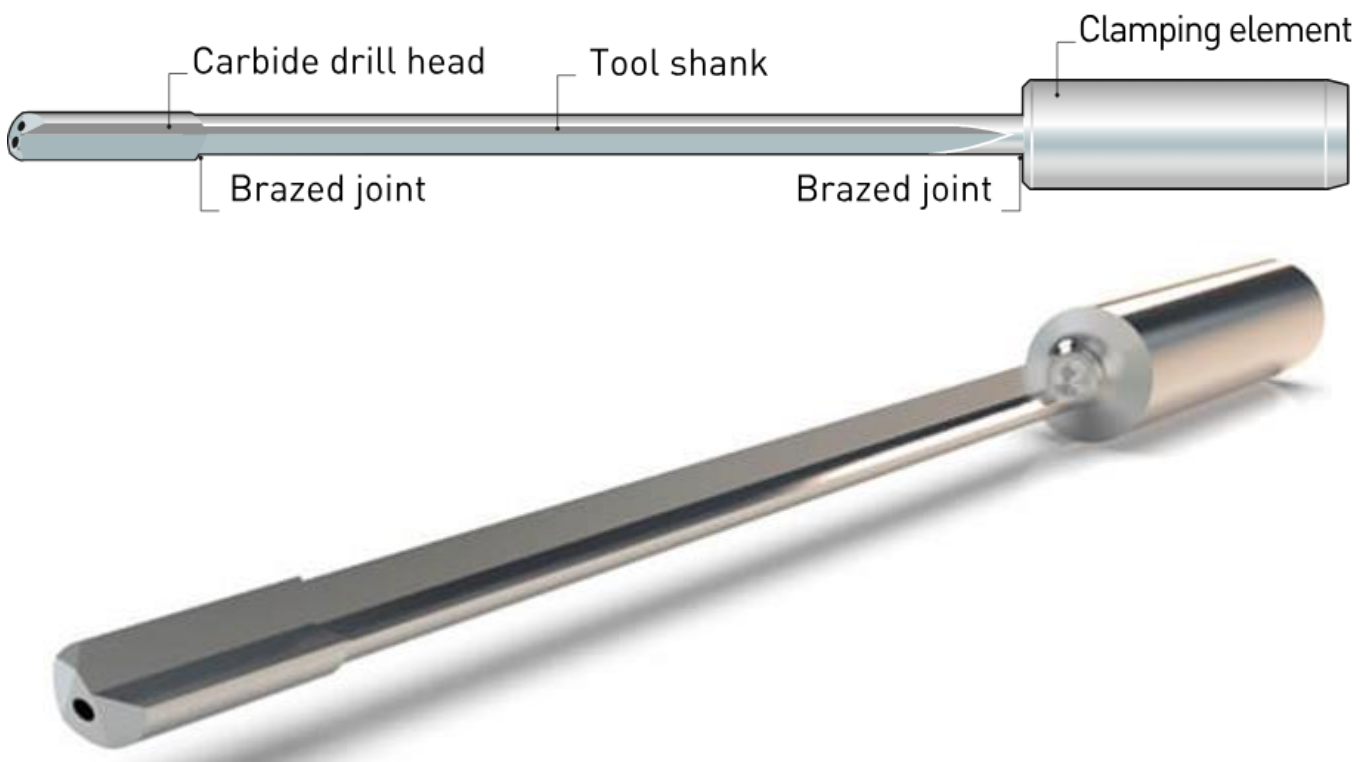


Рис. 1.2. Рушничне свердло

Рушничне свердло складається з цільної головки, корпусу та хвостовика. Головна різальна кромка розташована під прямим кутом до осі свердла, допоміжна кромка – нахилена під кутом 10° , задній кут – $\alpha = 8 \dots 10^\circ$. Зворотний конус 0,04...0,05 мм на

100 мм довжини вздовж свердла забезпечує зменшення тертя інструмента об стінки отвору.

Рушничне свердло має наскрізний поздовжній отвір, через який змащувально-охолоджувальна рідина (ЗОР) під високим тиском подається до зони обробки. Поток ЗОР стружка виводиться із оброблюваного отвору через V-подібну зовнішню канавку (рис. 1.3).

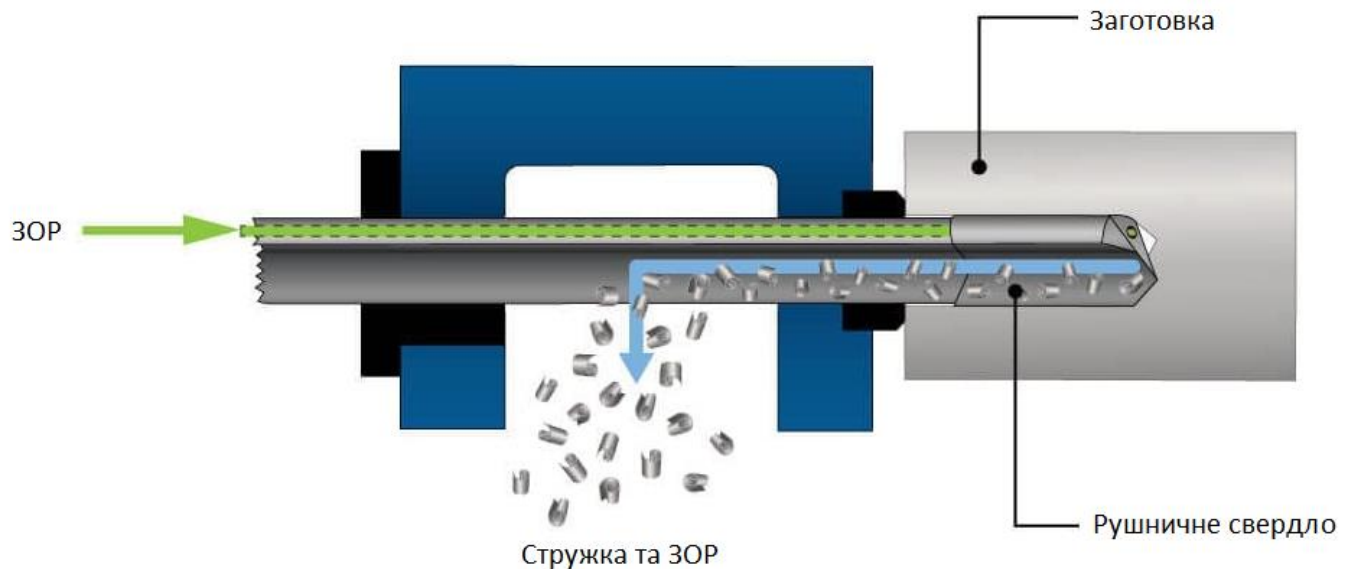


Рис. 1.3. Процес свердління глибокого отвору рушничним свердлом

Під час свердління глибокого отвору рушничним свердлом необхідно використовувати направляючу втулку для точного врізання інструменту. Іншим варіантом є засвердлювання так званого пілотного отвору. Тобто, спочатку необхідно просвердлити отвір звичайним свердлом того ж діаметру, що буде і глибокий отвір, але на глибину $1,5D-2D$. Оброблена поверхня буде виконувати роль направляючої при подальшій обробці рушничним свердлом.

Існують рушничні свердла із двома різальними кромками (рис. 1.4). Така конструкція інструменту дозволяє збільшувати швидкість подачі до двох разів у порівнянні зі стандартним рушничним свердлом. Наявність двох каналів для подачі ЗОР забезпечує інтенсивніше змащення під час свердління та краще видалення стружки із оброблюваного отвору.

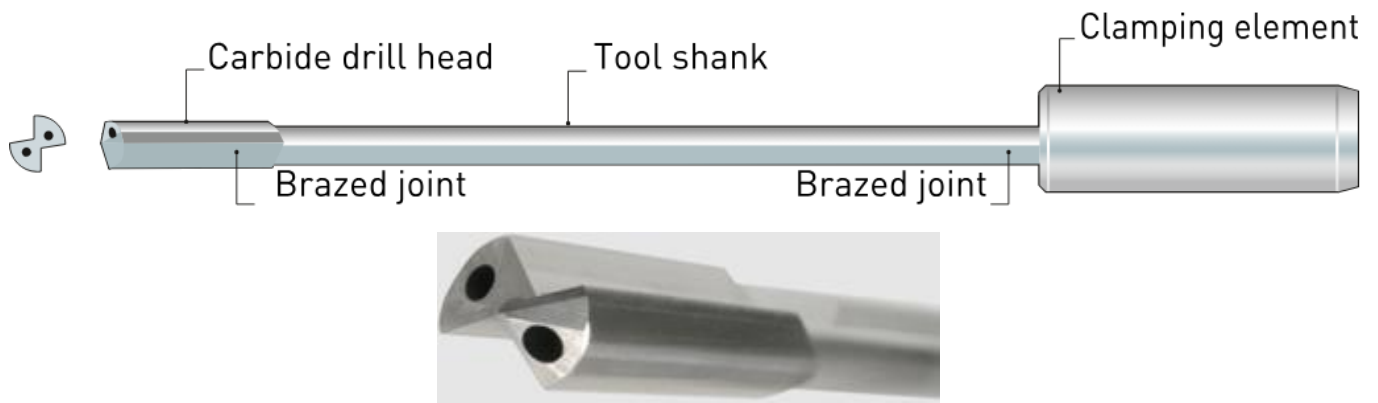


Рис. 1.4. Рушничне свердло із двома різальними кромками

Свердлильні головки (ВТА, STS) – різальний інструмент призначений для свердління глибоких отворів діаметром 20-630 мм, що є більшим за діапазон діаметрів, які можна обробити рушничними свердлами. Зі співвідношенням довжини отвору до діаметру до 200. Свердління свердлильними головками є більш ефективним методом обробки глибоких отворів ніж обробка рушничним свердлом завдяки більшій продуктивності. Можна досягти збільшення швидкості подачі у 5-7 разів більшої, ніж свердлінням звичайним свердлом при такому ж діаметрі, завдяки конструкції інструменту та більш ефективному видаленні стружки.

Свердлильна головка (рис. 1.5) складається із корпусу на якому розміщені різальні пластини. Метод кріплення різальних пластин може бути різним в залежності від діаметру інструменту: припаювання, механічне кріплення.



Рис. 1.5. Свердлильна головка

Свердлильні головки схожі із розточувальними головками та із торцевими фрезами але мають суттєву конструктивну відмінність – трубчасту форму. Зовнішня різьба на корпусі головки призначена для з'єднання із довгою трубкою.

ЗОР подається під тиском до ріжучої кромки між зовнішньою поверхнею труби, свердлильною головкою та щойно просвердленим отвором у матеріалі заготовки. Потік охолоджуючої рідини не тільки забезпечує змащення свердлильної головки під час різання, але й змушує металеву стружку витікати через внутрішній діаметр трубки (рис. 1.6), а потім із шпинделя верстата. Відведення стружки через отвір в інструменті забезпечує відсутність контакту щойно обробленої поверхні отвору зі стружкою, що позитивно впливає на якість поверхні завдяки унеможливленню тертя зрізаних часточок металу об поверхню отвору. Оскільки стружка відводиться через внутрішній отвір свердлильної головки та трубки, свердлильна головка не потребує у своїй конструкції стружкових канавок, що забезпечує більший поперечний переріз інструменту та підвищує його жорсткість та стабільність в умовах різання.

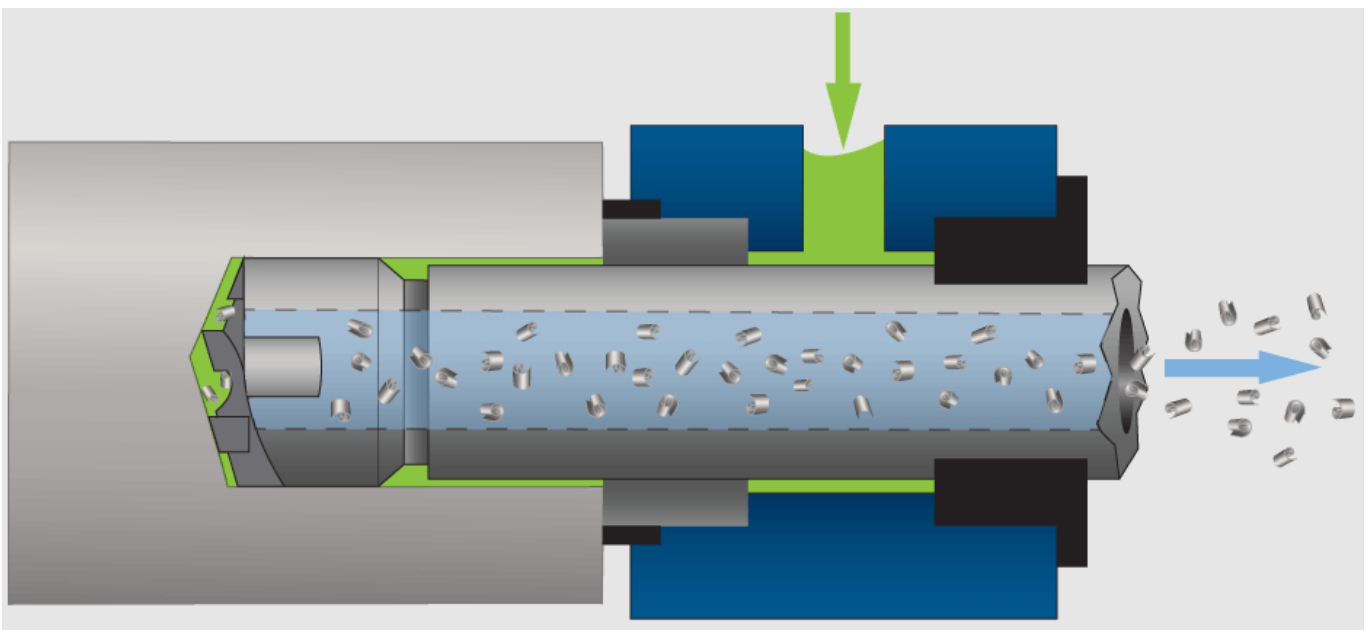


Рис. 1.6. Процес свердління глибокого отвору свердлильною головкою

Діаметр свердлильної головки завжди більший, ніж трубки. Мінімальний діаметр отвору для обробки свердлильною головкою становить 20 мм через мінімально можливий розмір трубки.

Спиральні свердла це найпоширеніший інструмент для виготовлення отворів в деталях. Вони здатні обробляти отвори глибиною до 30 діаметрів забезпечуючи H8 квалітет точності розміру.



Рис. 1.7. Спиральне свердло для обробки глибоких отворів

Для свердління отворів довжиною понад $12D$ рекомендується застосовувати так зване пілотне свердло. Під пілотним свердлом розуміють свердло необхідного діаметру довжиною $5D$. Отвір, що просвердлено пілотним свердлом буде направляючим при подальшій обробці свердлом довжина якого рівна $12D$ і більше. Схематично, оброку, що виконується пілотним свердлом зображено на рисунку 1.8.

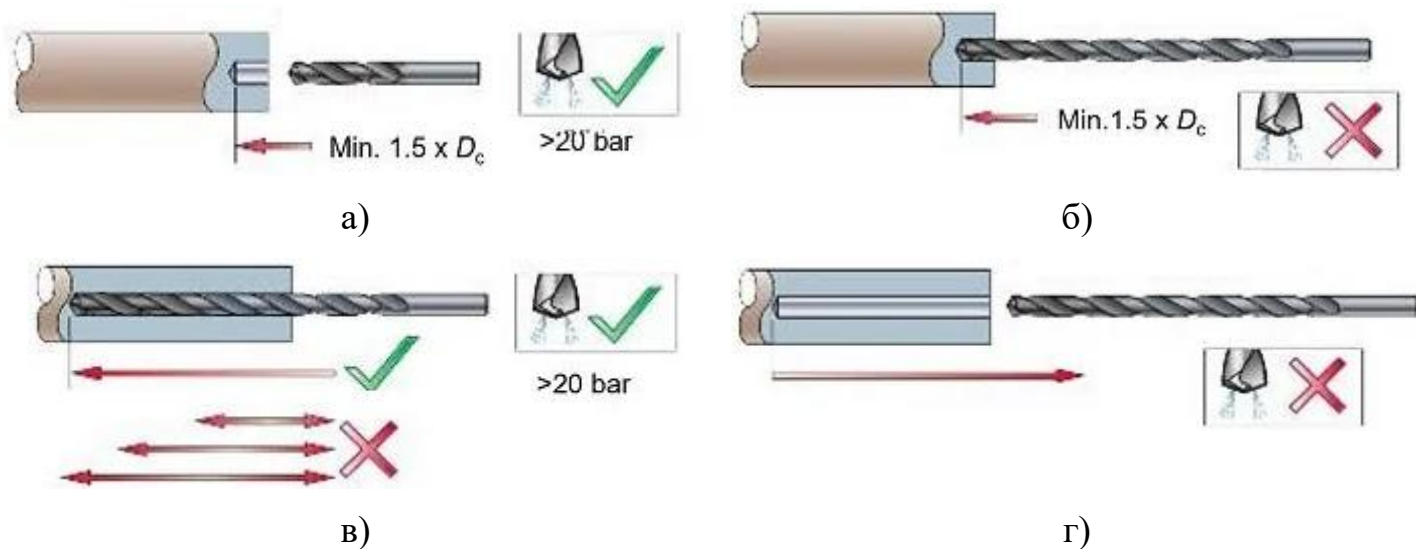


Рис. 1.8. Схема свердління глибокого отвору двома свердлами:

а – свердління отвору довжиною $1,5D$ пілотним свердлом; б – введення свердла довжиною більше $12D$ в отвір; в – свердління глибокого отвору; г – виведення свердла із зони обробки

Завдяки гвинтовій передній поверхні, стружка разом із ЗОР виводиться із оброблюваного отвору. Свердління глибоких отворів не передбачає періодичного виведення свердла із отвору для видалення стружки.

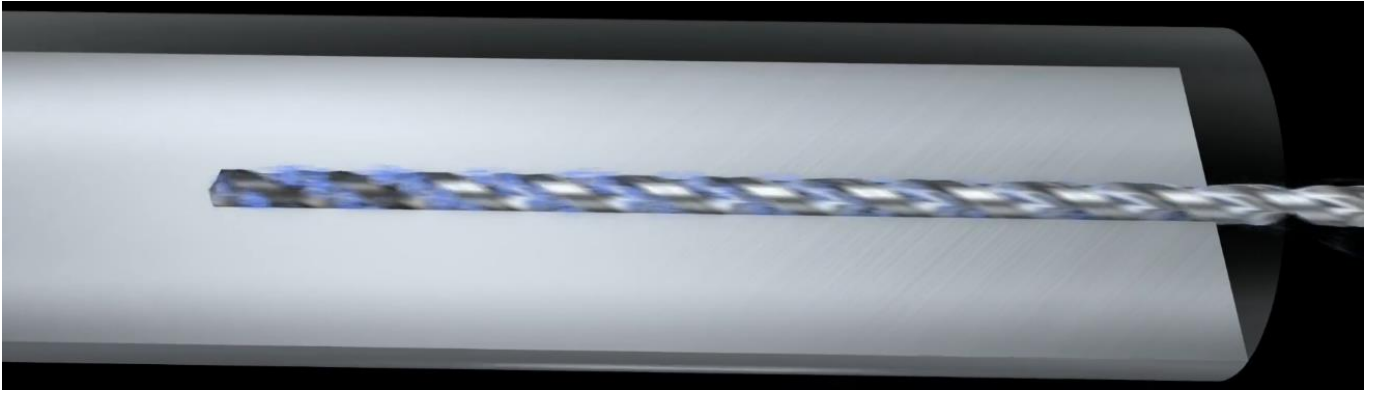


Рис. 1.9. Процес свердління глибокого отвору спіральним свердлом

Мікросвердла застосовуються при обробці отворів діаметр яких менше 3 мм. За своєю конструкцією мікросвердло це спіральне свердло, яке має внутрішній канал для подачі ЗОР у зону різання. Вони здатні свердлити отвори глибиною 20-80D.

Перед свердлінням отвору мікросвердлом, виробники інструменту рекомендують спочатку просвердлити отвір того ж діаметру пілотним свердлом довжиною 5D. Даний отвір виконуватиме роль центрувальної поверхні для мікросвердла для глибокої обробки.

Як альтернативу пілотному свердлу, світові виробники різальних інструментів пропонують мікросвердла, робоча частина на довжину 2D яких покрита спеціальним покриттям (рис. 1.10), що забезпечує засвердлювання із самоцентруванням та збільшує стійкість до зношування та тепла.

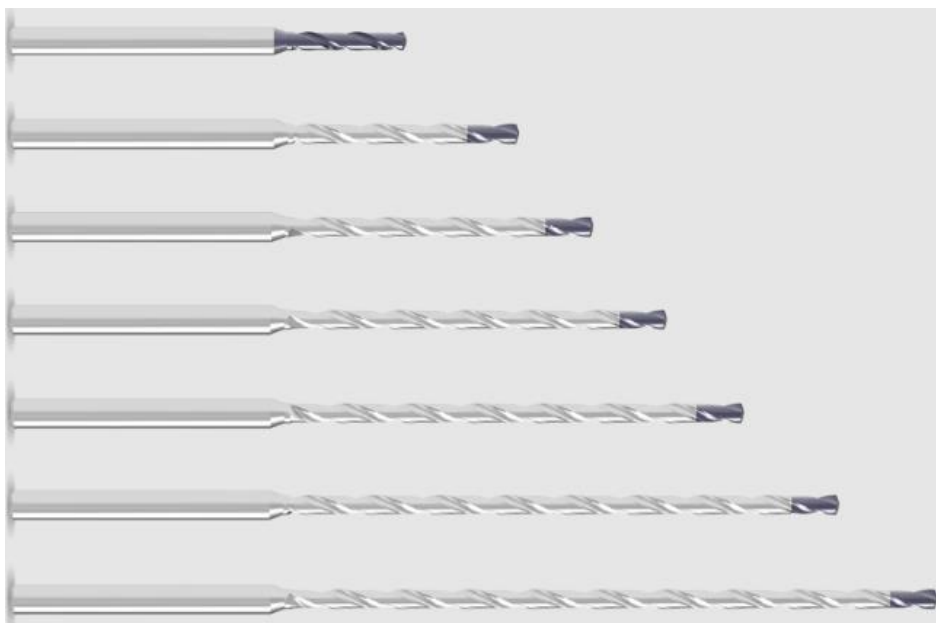


Рис. 1.10. Мікросвердла діаметром до 3 мм

З огляду на малий діаметр хвостовиків даних сверدل, їх закріплення на верстаті відбувається за допомогою головки (рис. 1.7).



Рис. 1.11. Обробка мікросвердлом для глибоких отворів

Спиральні свердла мають такі основні конструктивні елементи (рис. 1.12): робоча частина, хвостовик та шийка. Робоча частина поділяється на ріжучу частину та направляючу.

Різальна частина безпосередньо виконує різання металу, має головні різальні кромки, задні поверхні та поперечну кромку. Направляюча частина призначена для виведення стружки із оброблюваного отвору та для направлення інструменту в отворі. Направляюча частина свердла має передню поверхню гвинтової форми та спинку – зовнішню гвинтову поверхню зі стрічкою. Направляюча частина має зворотну конусність до 0,12 мм на 100 мм довжини.

Геометрією свердла визначаються такі кути: кут при вершині різця 2φ , передній кут γ , задній кут α , кут нахилу поперечної кромки ψ , кут нахилу гвинтової лінії ω .

Кут при вершині різця 2φ визначає довжину різальних кромок та впливає на товщину зрізаємої стружки. Як правило, при обробці алюмінію застосовують свердла з кутом $2\varphi = 125^\circ - 150^\circ$.

Передній кут γ вимірюється в головній січній площині в точці А. Цей кут є від'ємним на поперечній кромці. Розмір поперечної кромки залежить від діаметру серцевини свердла та становить $0,12 - 0,25d_c$.

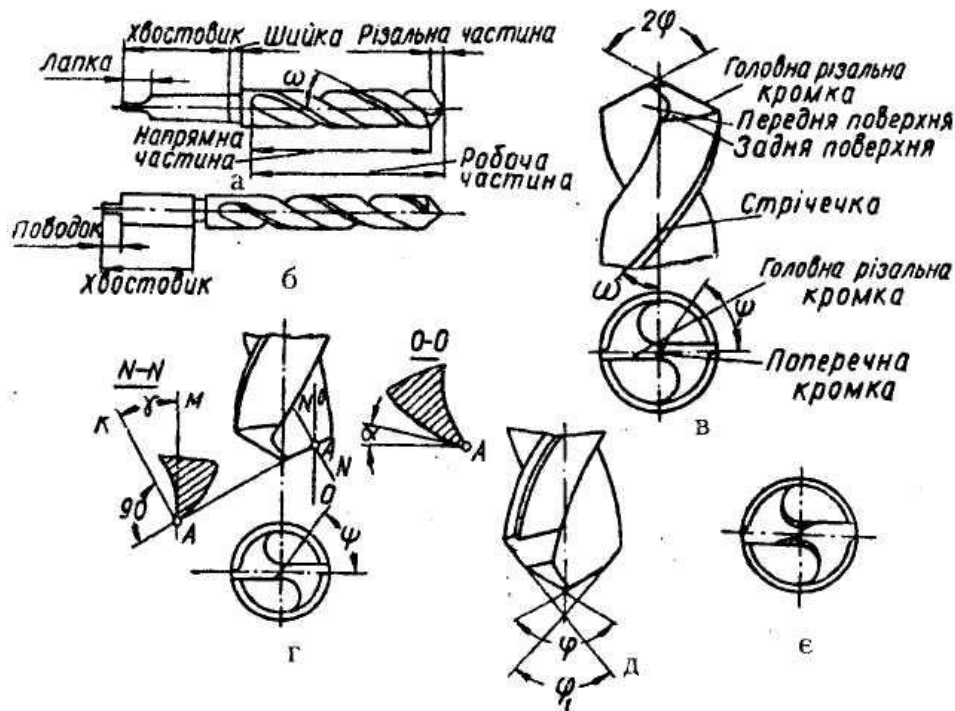


Рис. 1.12. Геометричні параметри спірального свердла

Задній кут α змінюється в залежності від відстані до осі свердла та становить $\alpha = 8 - 14^\circ$ на периферійній частині та $\alpha = 20 - 25^\circ$ близько серцевини інструменту.

Значення кута нахилу поперечної кромки $\psi = 50 - 55^\circ$.

Від кута нахилу гвинтової лінії ω залежать умови виведення стружки, а також жорсткість та міцність свердла. Збільшення кута нахилу гвинтової лінії ω призводить до збільшення переднього кута, що покращує процес зрізання та виведення стружки. Рекомендовані значення кута ω : для свердл малого діаметру $25 - 28^\circ$; для свердл більших діаметрів $30 - 35^\circ$; для свердл при обробці алюмінію $35 - 45^\circ$.

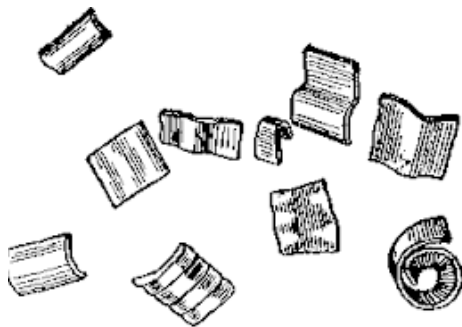
Виведення стружки та ЗОР із зони різання відбувається по передній гвинтовій поверхні.

Гвинтові свердла, особливо малих діаметрів, можуть не забезпечувати своєчасне та надійне виведення стружки із зони обробки. Стружка, ковзаючи по обробленій поверхні отвору призводить до погіршення якості обробки.

Свердлінням забезпечується точність обробки поверхні до 8-11 квалітету та шорсткість $Ra_{3,2}$ мкм. При свердлінні глибоких отворів досягаються такі значення показників точності обробки: прямолінійність – 22,7 мкм, круглість – 8,6 мкм, циліндричність 28,2 мкм [14].

1.3. Негативний вплив стружки при свердлінні глибоких отворів

В процесі свердління, зрізаний матеріал перетворюється в стружку та виводиться через гвинтові канавки спірального свердла. При свердлінні крихких матеріалів, наприклад чавуну, стружка має вигляд окремих часточок неправильної форми і називається стружкою надлому (рис. 1.13, а). Така стружка під дією відцентрових сил та змащувально-охолоджувальної рідини легше видаляється по спіральних канавках свердла із оброблюваного отвору. Обробка в'язких матеріалів, до яких належить алюміній, мідь, сталь, супроводжується утворенням довгої зливної стружки (рис. 1.13, б). Довга стружка може заплутуватися навколо свердла, що може призвести до погіршення якості отвору.



а)



б)

Рис. 1.13. Стружка:

а – надлому; б – зливна

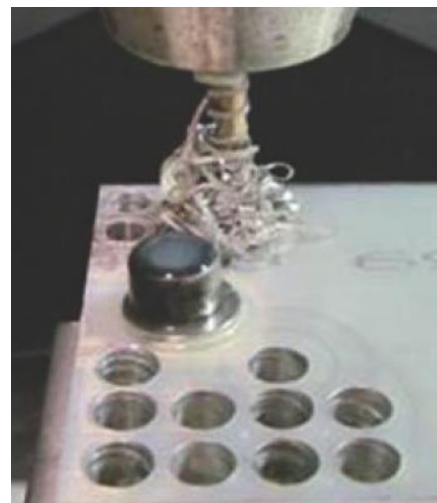


Рис. 1.14. Забивання стружки на свердлі

Особливо важливо забезпечити ефективне видалення стружки під час обробки глибоких отворів. Адже, під час свердління глибоких отворів стружка утворюється швидше, ніж відводиться. Це призводить до забивання стружки (рис. 1.14), що, у свою чергу, викликає раптове збільшення сили різання та крутного моменту, що може скоротити термін служби свердла та стати причиною його поломки.

Покращення відводу стружки призведе до покращення якості обробленого отвору, підвищення продуктивності обробки, меншої кількості поломок свердла та нижчих виробничих витрат.

1.4. Постановка задач дослідження

В роботі необхідно виконати аналіз способів подрібнення стружки під час свердління. Виконати пошук свердл, що покращують подрібнення стружки за рахунок своїх конструктивних особливостей.

Виконати аналіз креслення центрального блоку доклевелера. Розробити технологію обробки центрального блоку доклевелера, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та вимірювальні пристрої, різальні інструменти, розрахувати припуски, режими різання та норми часу.

Визначити шляхи покращення подрібнення стружки при свердлінні глибоких отворів. Розробити удосконалену конструкцію свердла для глибокого свердління отворів, яка здатна подрібнювати стружку та покращувати процес її відведення із зони обробки. Виконати економічні розрахунки.

РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ТА МЕТОДИ ПОДРІБНЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ СВЕРДЛІННІ

2.1. Конструкції спіральних свердл, що покращують подрібнення та виведення стружки

Аналіз відомих досліджень показав, що проблема подрібнення стружки під час свердління є актуальною. Серед інших, як варіанти вирішення даного питання пропонуються як нові способи виконання свердлильної обробки, так і внесення змін до конструкцій свердл.

Відомий метод [1], за яким подрібнення стружки при свердлінні отворів в деталях із алюмінію та сталі виконується за допомогою вібраційного свердління. Забезпечення зменшення часток стружки та покращення якості обробки є перевагою даного методу, але великим недоліком можна вважати необхідність наявності високовартісного обладнання для забезпечення вібрації під час свердління, а також зменшення терміну служби свердла.

Відома конструкція свердла [2], яка має канавки на ріжучих кромках. Геометрія канавок забезпечує зменшення ширини стружки у порівнянні зі стружкою, що утворена в процесі різання звичайним свердлом. Недоліком даної конструкції є те, що по довжині стружка залишається незмінною.

Відомі конструкції спіральних свердл [4] для глибоких отворів, які мають канавки, що призначені для подрібнення стружки. Свердло з трьома канавками забезпечує зменшення крутного моменту шпинделя на 0,261% та покращення шорсткості поверхні на 0,437 мкм. Свердло з чотирма стружколамними канавками зменшує крутний момент шпинделя на 1,547% але призводить до збільшення шорсткості поверхні обробленого отвору на 0,116 мкм. До недоліків даної конструкції свердла, як зазначив сам автор, можна віднести недостатнє подрібнення стружки по довжині.

Інша конструкція свердла [5] також забезпечена трьома канавками, які забезпечують ламання стружки та унеможливають її накручення на інструмент. Канавки виготовлені методом електроерозійної обробки на передній поверхні

свердла. Кути нахилу канавок різні та складають 0° , 5° та 10° . Глибина канавок 0,4 та 0,5 мм. Недоліком даного інструменту є більше відхилення діаметру обробленого отвору у порівнянні із діаметром отвору обробленого звичайним спіральним свердлом без канавок.

Свердло [3] (рис. 2.1), конструкція якого передбачає стружколоми у вигляді канавки, що виконані на передній поверхні біля ріжучих кромки. Головними аспектами при проєктуванні канавок на поверхні свердла є: визначення геометрії канавки, її розміщення відносно ріжучої кромки, розрахунок геометричних параметрів канавки.

Радіус канавки визначається за формулою:

$$R_g = \frac{W_g}{2\sin\phi}$$

де W_g – ширина канавки;

ϕ – кут входу в канавку, визначається як кут між передньою поверхнею та дотичною поверхнею до канавки.

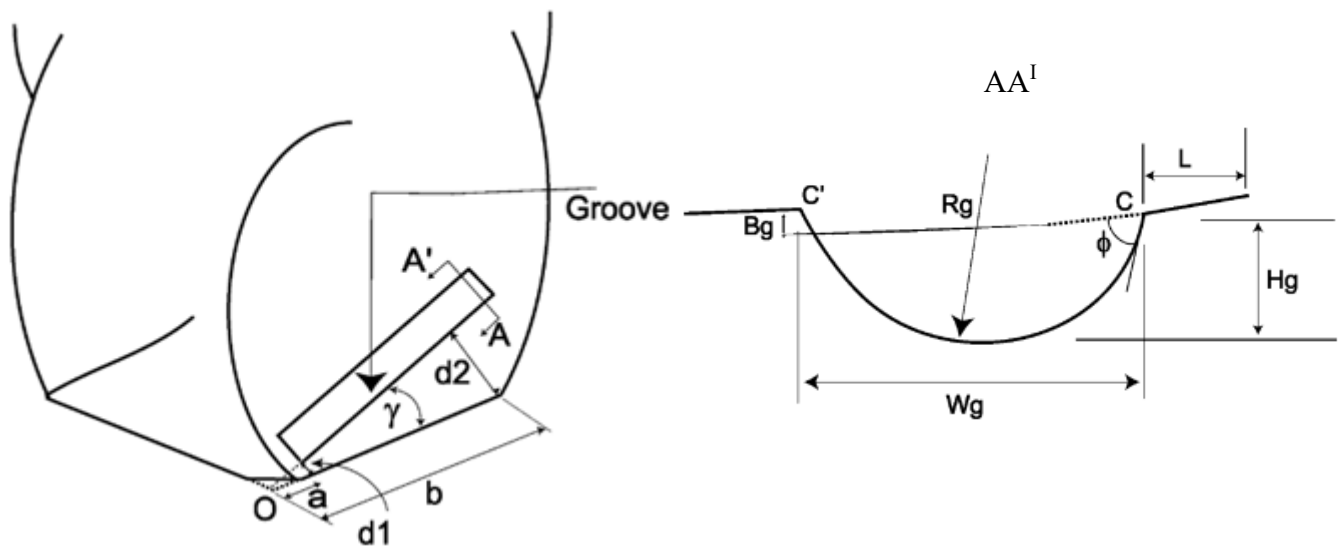


Рис. 2.1. Свердло із канавками

Між геометричними параметрами канавки існує залежність:

$$\frac{a}{b} = \frac{d_1}{d_2}$$

де d_1 – перпендикулярна відстань переднього краю канавки від внутрішнього кута ріжучої кромки:

$$d_1 = a \cdot \sin \gamma,$$

де γ – кут канавки, кут між передньою кромкою канавки та головною різальною кромкою:

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{2L}{a+b}\right)$$

де L – відстань, яку долає стружка до того, як увійде в канавку;

d_2 – перпендикулярна відстань переднього краю канавки від зовнішнього кута ріжучої кромки:

$$d_2 = b \cdot \sin \gamma$$

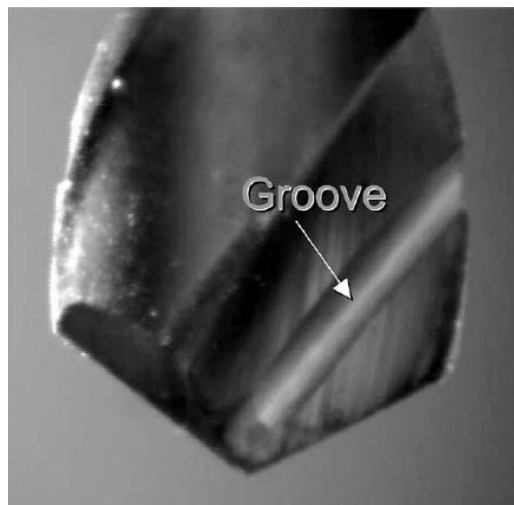
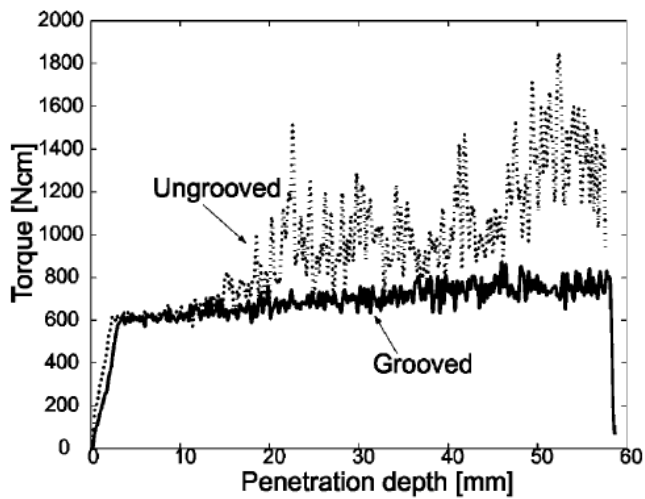


Рис. 2.2. Спіральне свердло із виготовленою канавкою

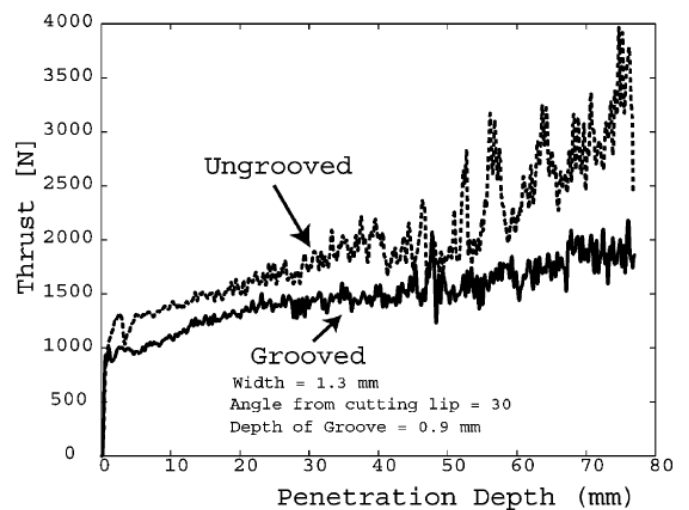
Критична глибина свердління – глибина на якій відбувається початок забивання стружки в канавках за відсутності будь-яких стружколомів, та відбувається різке зростання крутного моменту та сили тяги.

Дослідним шляхом [3] встановлено, що на зменшення крутного моменту (рис. 2.3, а) та сили тяги (рис. 2.3, б) суттєво впливають такі параметри канавки: ширина канавки (W_g) та кут канавки (γ).

При зміні кута канавки від 20 до 30° відбувається зростання згинального моменту стружки, що призводить до ефективнішого стружкоподрібнення. На 38% зростає критична глибина свердління у порівнянні зі стандартним свердлом без канавок.



а)

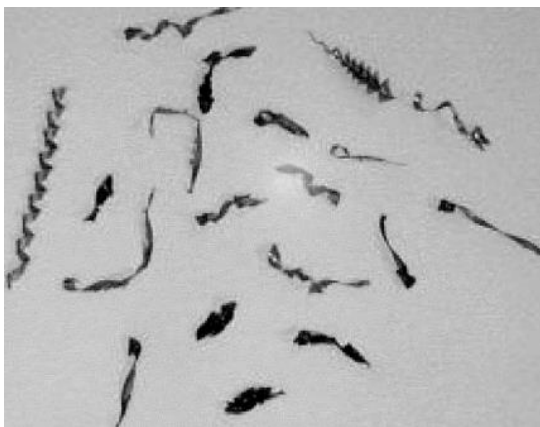


б)

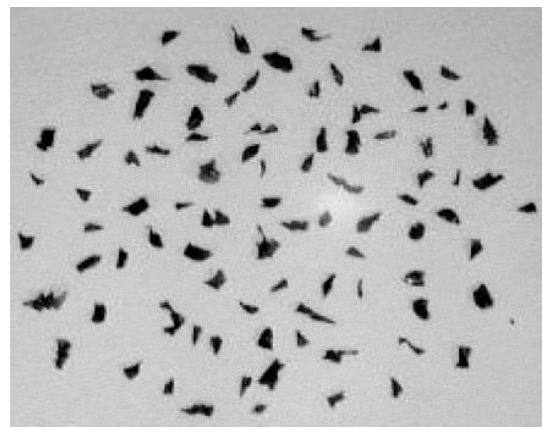
Рис. 2.3. Графік порівняння стандартного свердла та з канавками:

а – крутний момент; б – сила тяги

При зменшенні ширини канавки з 1,7 до 1,3 мм відбувається збільшення завивання стружки через удар об задню стінку, що призводить до збільшення згинального моменту та до ламання стружки. Критична глибина зросла на 33,3%.



а)



б)

Рис. 2.4. Стружка, утворена при свердлінні:

а – звичайним свердлом; б – свердлом зі стружколомними канавками

Науковцями із США запропоновано свердла [6] в яких стружколомні елементи виготовляються окремо у вигляді стрижня (рис. 2.5, а) або штифта (рис. 2.5, б), що кріпляться до інструменту.

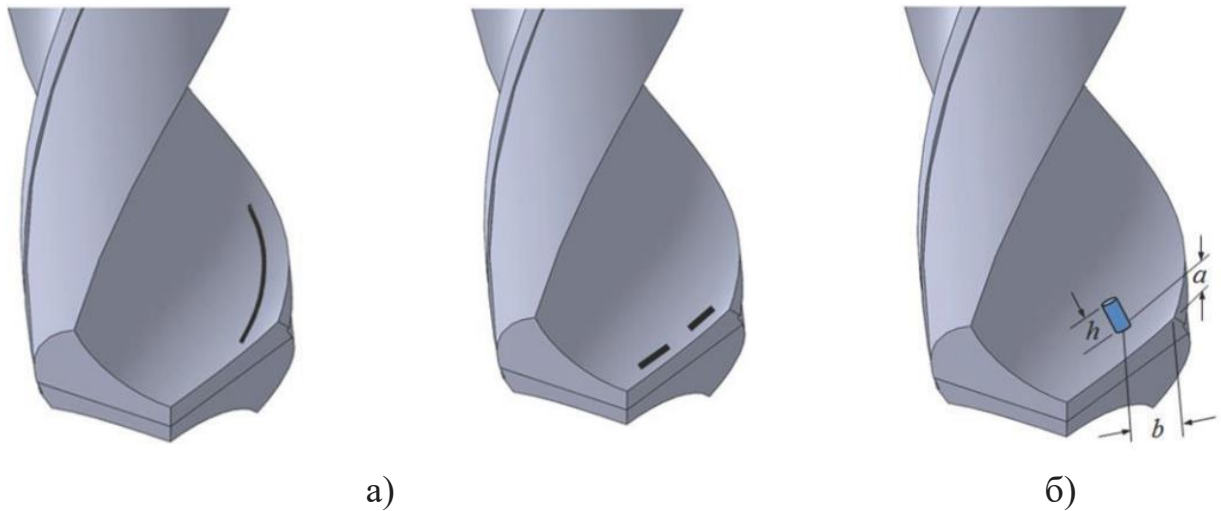


Рис. 2.5. Свердла зі стружколомами у вигляді:

а – стрижня; б – штифта

Канавки для кріплення елементів виконуються методом електроіскрової обробки. В свердлах із сктружколомом у вигляді стрижня канавки можуть бути розміщені або вздовж передньої гвинтової поверхні, або паралельно головній різальній кромці інструменту. Штифти діаметром 0,8-0,85 мм та довжиною 3-3,5 мм виготовлені із нержавіючої сталі. В канавках свердла штифти закріплені методом холодного зварювання. Розташування канавки для штифта визначається параметрами a та b , що рівні 1-3 мм. Висота h рівна 1-2 мм.

Стрижні та штифти створюють бар'єри, при контакті із якими, стружка подрібнюється. Бар'єри також забезпечують утворення зазору між передньою поверхнею інструменту та стружкою. Даний зазор полегшує доступ ЗОР, що покращує охолодження та змащування, а також виведення стружки із оброблюваного отвору.

При свердлінні глибоких отворів в алюмінієвих деталях свердлами зі штифтовими стружколомами діаметром 5,95 мм та 8 мм встановлено, що значення сили та потужності різання знизилися на 5-9% порівняно зі звичайними свердлами.

Недоліком даної конструкції свердл є складність їх виготовлення.

Свердло [7] забезпечує зниження міцності стружки за рахунок зменшення товщини зрізаного припуску. Свердло відрізняється від стандартного тим, що

головна різальна кромка розділена на дві ділянки, кожна з яких має різний кут заточування.

На рисунку 2.6 представлено свердло, яке має головні різальні кромки 1 та 2. Кути заточування різальних кромок 1 та 2 різні. Так, різальні кромки 1, що розміщені ближче до поперечної кромки 5 формують кут $2\theta = 132^\circ$, різальні кромки 2 формують кут $2\theta^I = 90^\circ$.

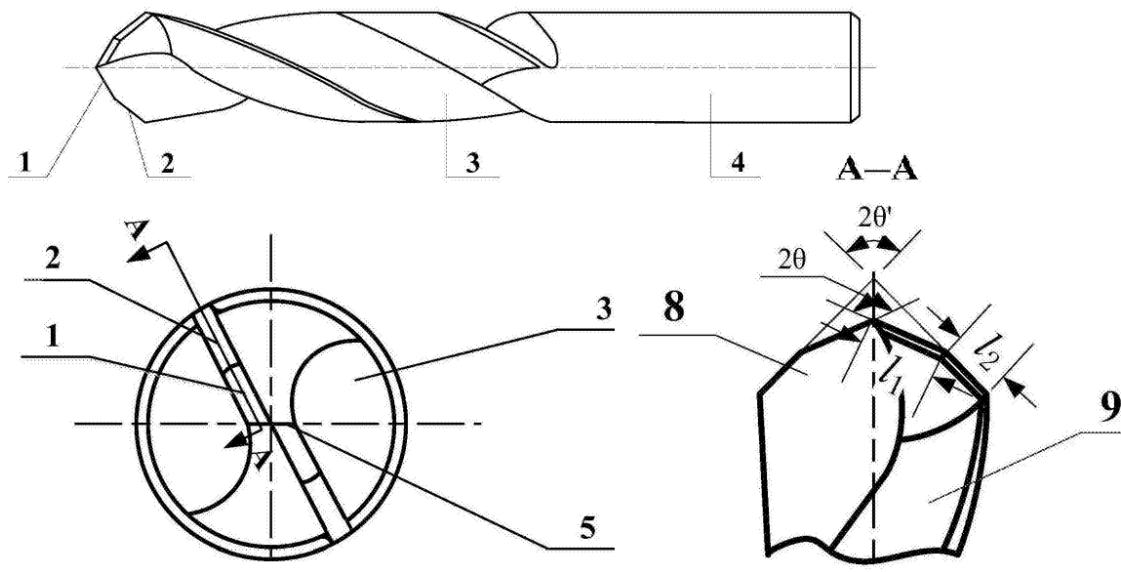


Рис. 2.6. Свердло із нестандартною головною різальною кромкою

Співвідношення довжин різальних кромок: $l_1 \leq l_2$. Передній кут свердла складає $9 - 11^\circ$, задній кут $13 - 15^\circ$. Зменшення товщини зрізаємої стружки зменшує силу різання та довжину стружки.

Відоме свердло із стружколомними канавками [8], які розміщені як на головній різальній кромці, так і на передній поверхні. Конструкція даного свердла пропонується в діапазоні діаметрів 6-20 мм, що мають 3 різальні леза, кут загострення інструменту $\alpha_1 = 90 - 120^\circ$.

Канавка має V-подібну форму та характеризується такими параметрами в залежності від діаметру свердла:

- глибина канавки $h = 0,2 - 1$ мм;
- кут канавки $\alpha_2 = 30 - 90^\circ$.

Чим менший діаметр свердла, тим менші параметри канавки необхідно обирати при її проєктуванні та виготовленні.

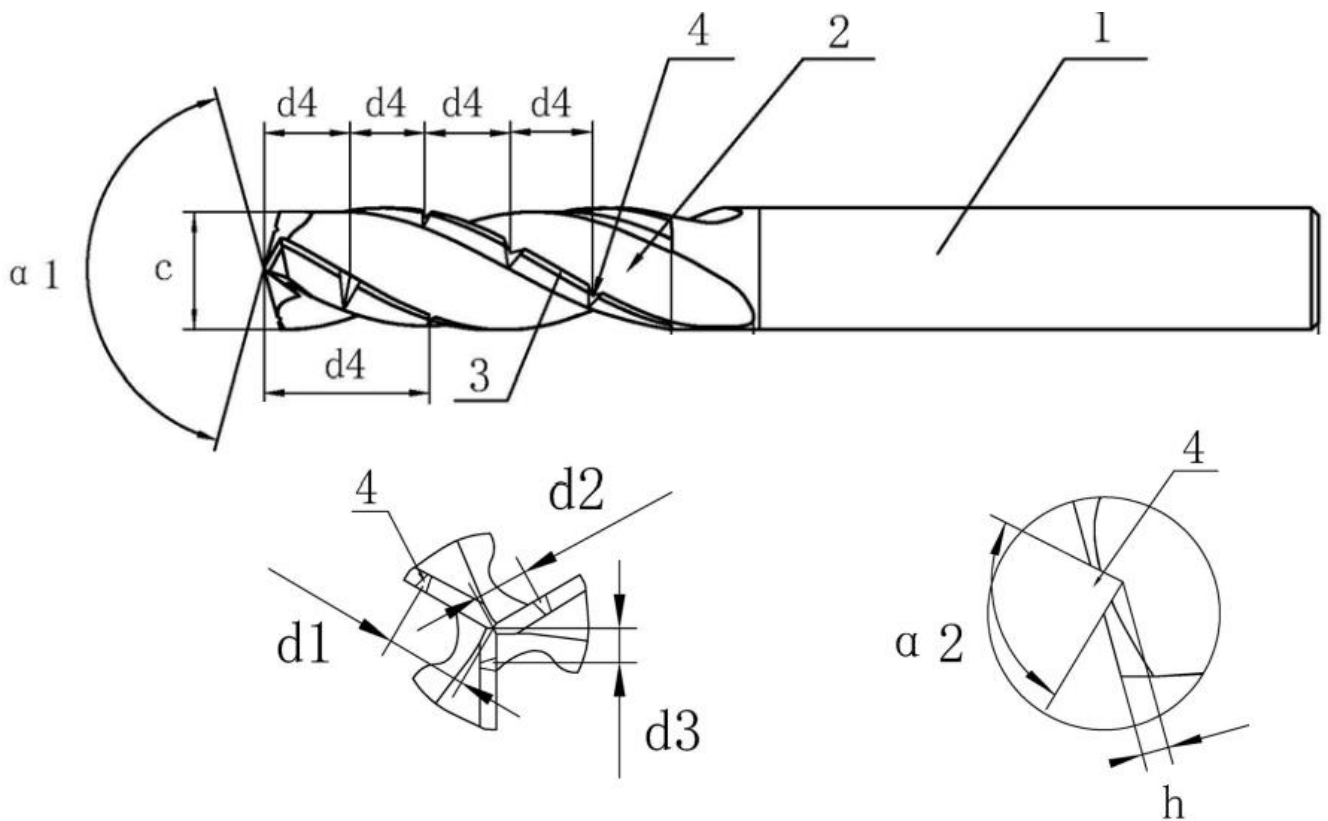


Рис. 2.7. Свердло із канавками

Канавка 4 (рис. 2.7) на головній різальній кромці кожного з трьох лез відносно осьової лінії інструменту займає різне положення. Положення канавки 4 на головній різальній кромці першого леза визначається параметром $d1$, на другій та третій різальних кромках – параметрами $d2$ та $d3$ відповідно. Між цими параметрами існує залежність:

$$d1 > d2 > d3$$

При врізанні свердла, стружка, що утворюється зрізанням головною різальною кромкою першого леза канавкою 4 розділяється на довгу та більш коротшу. Різальна кромка кожного наступного леза розбиває стружку на більш дрібну.

Канавки, що розташовані на передній поверхні на відстані $d4 = 1 - 9$ мм в залежності від діаметру свердла, забезпечують подрібнення стружки під час її виведення із отвору.

Дане свердло забезпечує хорошу якість та співвісність отворів при свердлінні на похилих поверхнях.

Недоліком даної конструкції є те, що чим менша відстань d_4 між канавками, тим нижча стійкість до сколювання кромки свердла.

Відоме спіральне свердло для обробки глибоких отворів [9], конструкцією якого передбачені канавки для ламання стружки на передній поверхні інструменту. Канавка 10 розташована на передній поверхні 111 вздовж головної різальної кромки 113 (рис. 2.8).

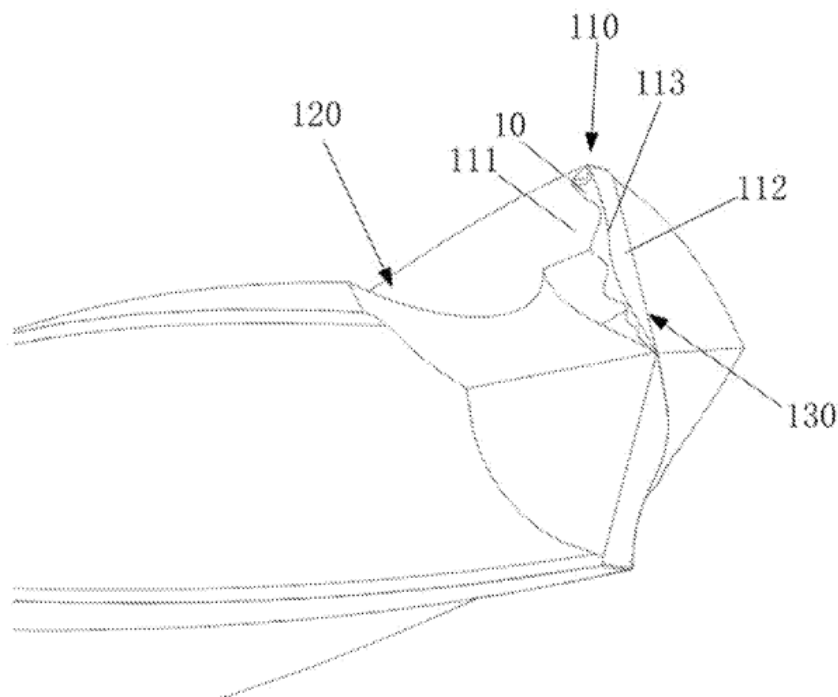


Рис. 2.8. Свердло із канавками

Особливістю даного інструмента є те, що канавка має складну форму (рис. 2.9) та різні передні кути. Перший передній кут a та другий передній кут b (переріз O_1-O_1) є додатними та $b > a$. В перерізі O_2-O_2 утворюються передні кути: перший від'ємний кут c та другий додатний кут d . За рахунок того, що другі передні кути більші за відповідні їм перші, покращується гострота свердла, зменшується опір різанню та підвищується ефективність обробки.

Така геометрія канавки забезпечує ефективне подрібнення стружки та зменшення сил необхідних на її виведення із оброблюваного отвору.

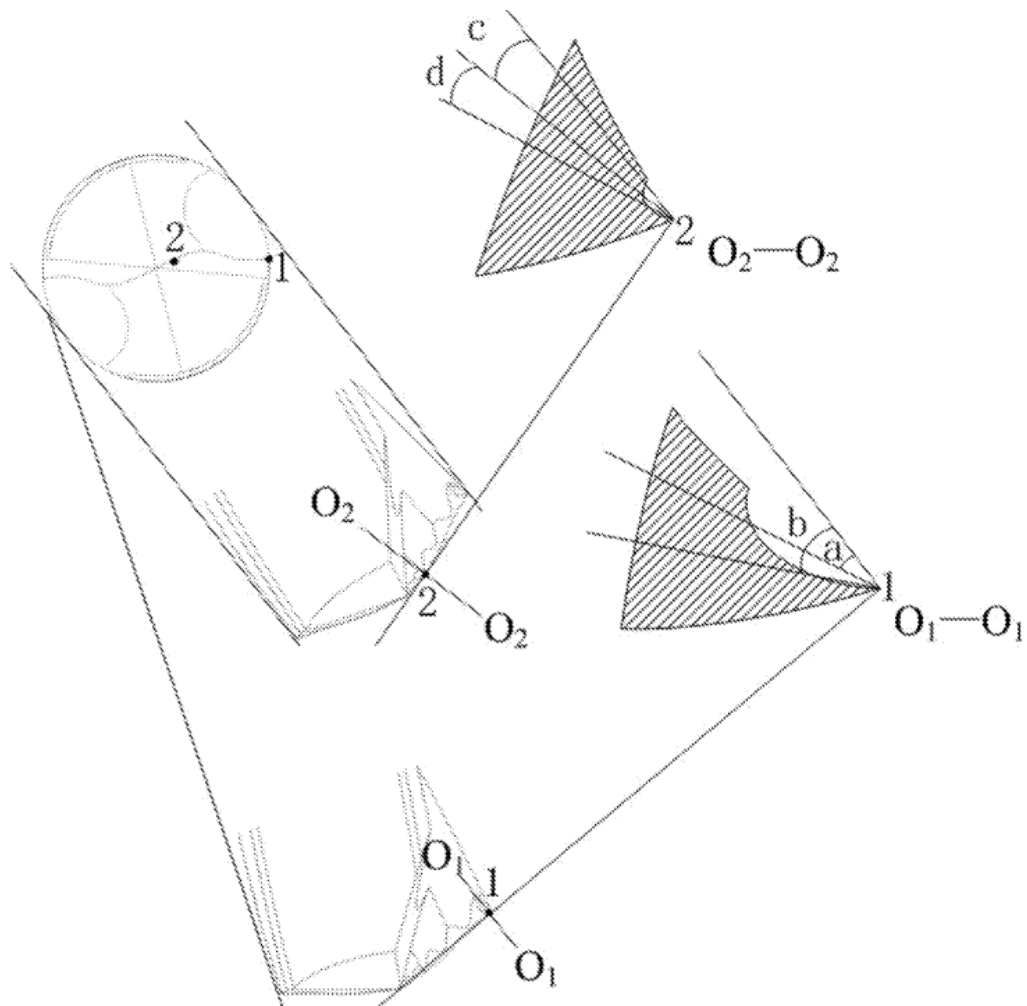


Рис. 2.9. Геометричні параметри канавки

Ширина стружколомної канавки може варіюватись від $1/20$ до $1/3$ діаметра свердла, а глибина – від $1/10$ до $1/2$ ширини стружколома. Розглядаємий інструмент має канавки, що мають змінні значення ширини та глибини в кожному її перерізі.

Недоліком даного інструменту є складність виготовлення профілю канавки.

Спиральне свердло [10] виготовлене із полікристалічного алмазу (PCD) із канавкою для подрібнення стружки, що виготовлена методом лазерного різання. Канавка розташована на передній поверхні близько до головної різальної кромки (рис. 2.10). Стужколомна канавка розташована на відстані $0,1-2$ мм від головної різальної кромки 20. В залежності від діаметру свердла глибина канавки може приймати значення $0,01-2,5$ мм. Ширина канавки може сягати 65% довжини різальної кромки.

В початковій точці 44 канавки бічні грані 38 утворюють найменшу глибину канавки, яка збільшується вздовж канавки та досягає свого максимуму в кінцевій точці 46 канавки. Канавка характеризується кутами, які мають співвідношення:

$$\alpha_1 < \alpha_2.$$

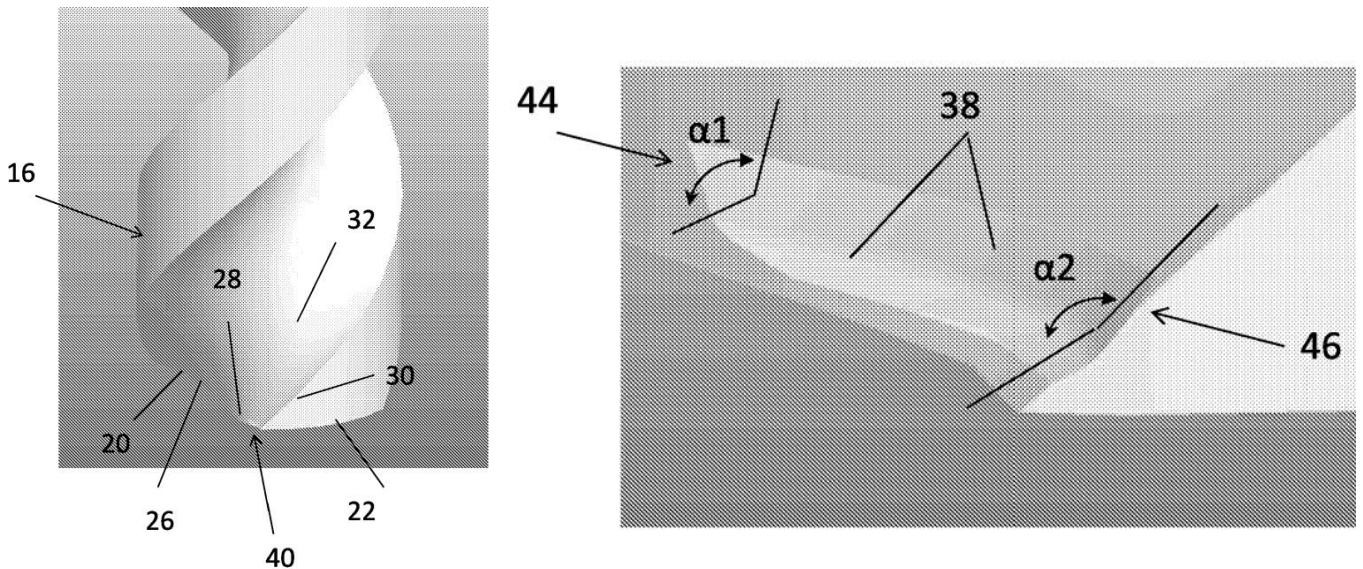


Рис. 2.10. Спіральне свердло із канавкою

Відоме спіральне свердло [11], яке містить канавку для поділу стружки, що являє собою гвинтову поверхню 4 на передній поверхні свердла (рис. 2.11).

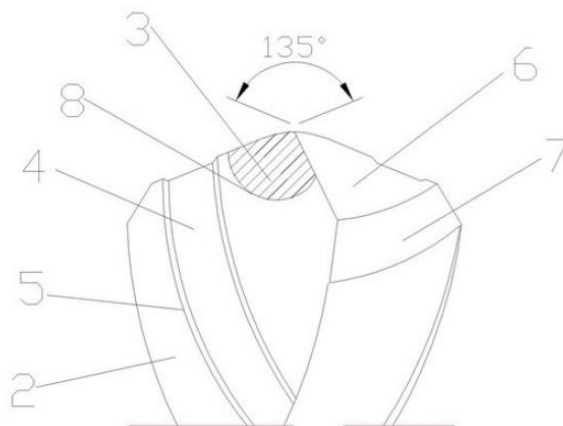


Рис. 2.11. Свердло із гвинтовою канавкою

Бічні кромки канавки 4 забезпечують подрібнення стружки. Глибина канавки 0,5-1,5 мм. Завдяки дробленню стружки знижуються крутний момент для сили різання при свердлінні.

Спіральні свердла, що містять асиметричні канавки: [12] канавки 5 та 6 (рис. 2.12, а) на головній різальній кромці; [13] канавки 7 (рис. 2.12, б).

Канавки забезпечують поділ стружки та зменшення сил різання.

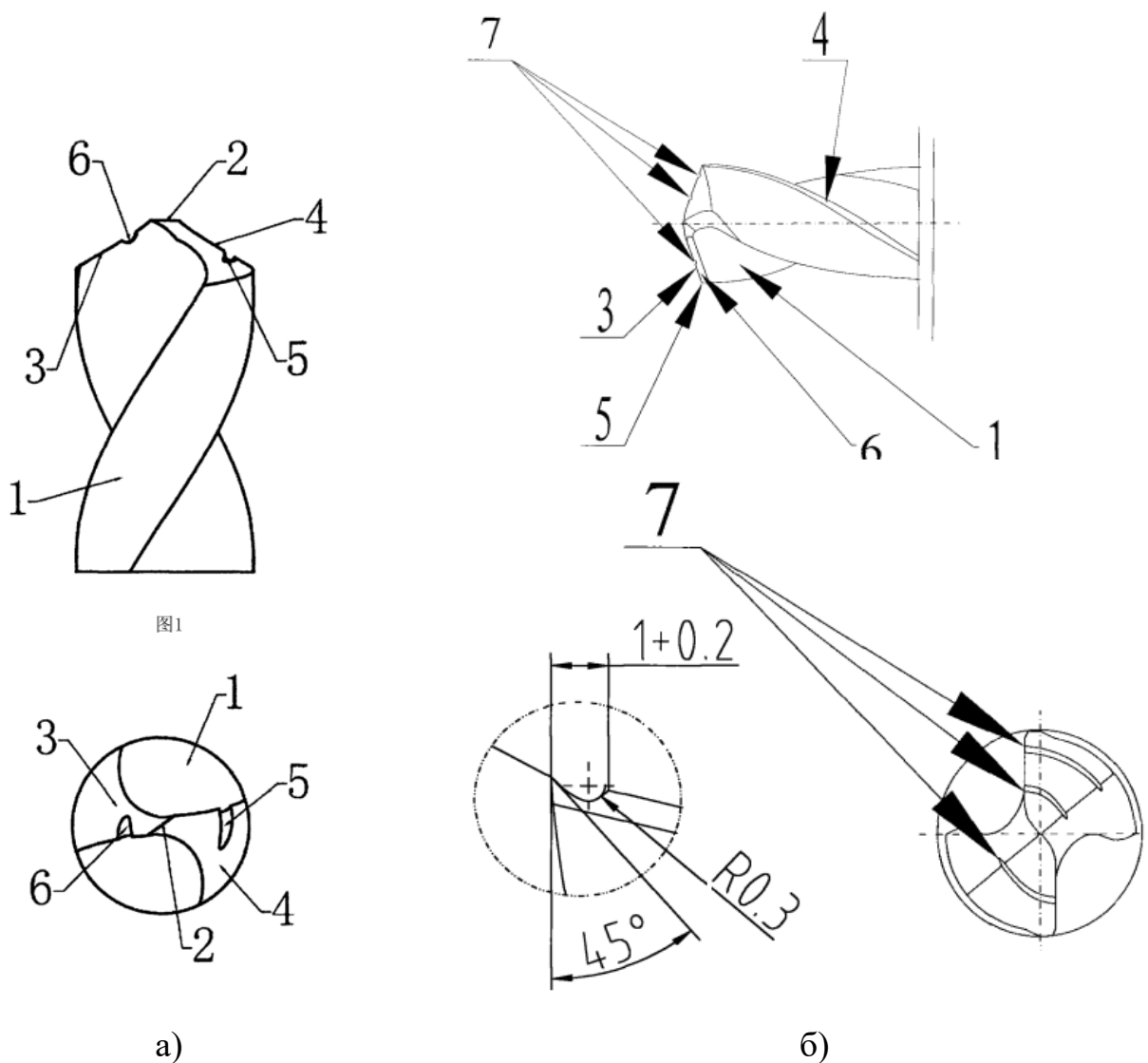


Рис. 2.12. Свердла із асиметричними канавками

2.2. Висновки

Виконано аналіз методів та способів подрібнення стружки при свердлінні отворів. Виконано пошук свердл, що покращують подрібнення стружки за рахунок своїх конструктивних особливостей таких, як: канавки, що розміщені на головній різальній кромці або на передній поверхні інструменту; різні кути заточування за рахунок того, що головна різальна кромка розділена на дві ділянки; різні значення передніх кутів; бар'єрні стружколоми у вигляді штифтів або стрижнів на передній поверхні інструменту тощо. Розглянуто відомі конструкції свердл та детально описано в чому полягають відмінності таких інструментів від стандартних.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ЦЕНТРАЛЬНОГО БЛОКУ ДОКЛЕВЕЛЕРА

3.1. Характеристика виробу та вузла до якого входить деталь

Доклевелери є незамінними компонентами в сфері сучасної логістики та складських операцій. Дослівно слово доклевелер перекладається, як «стикувальний вирівнювач». Доклевелери бувають гідравлічними та механічними.

Гідравлічний доклевелер (рис. 3.1) – це пристрій, призначений для створення стійкої рампи (пандусу) між вантажною платформою, як правило бетонною та причепом транспортного засобу. Він перекриває проміжок між навантажувальним майданчиком і вантажівкою, забезпечуючи безперебійне та безпечне транспортування вантажів.

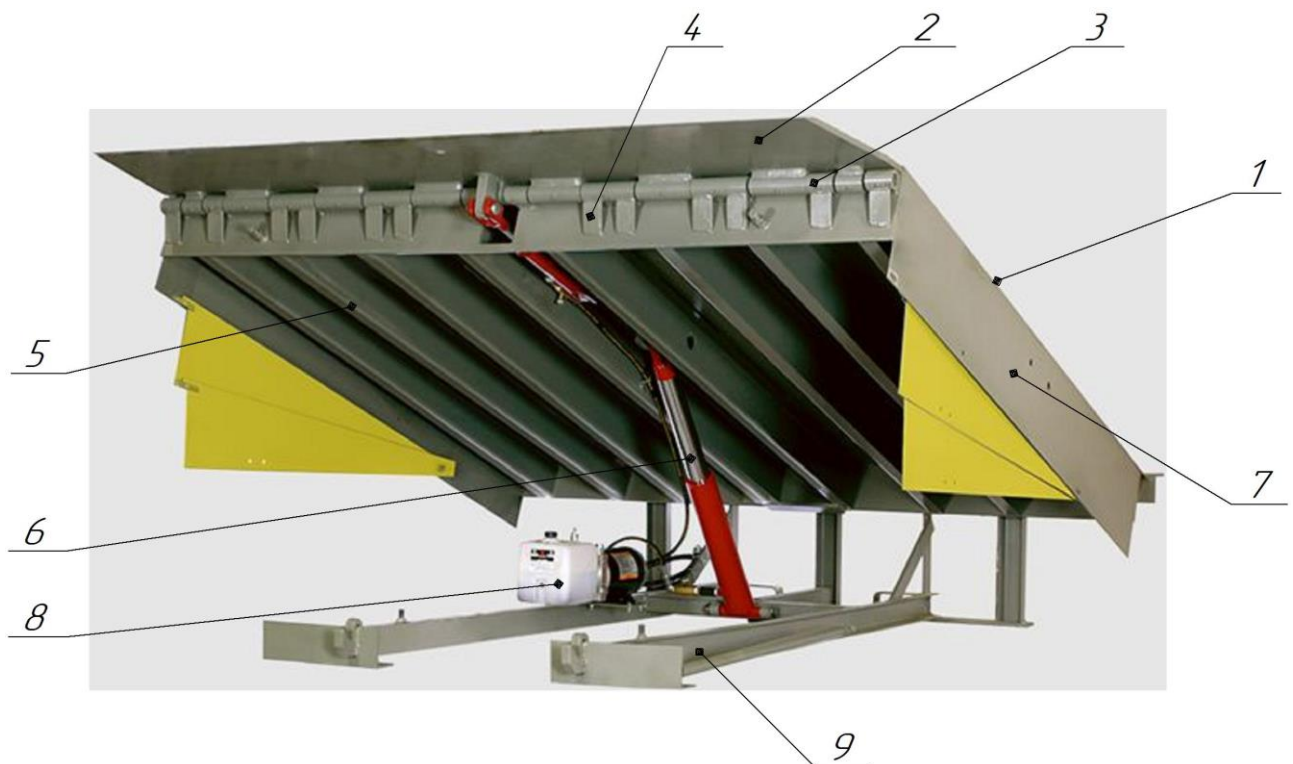


Рис. 3.1 Доклевелер гідравлічний:

1 – платформа; 2 – поворотна рампа; 3 – вісь; 4 – петлі; 5 – балка підсилення; 6 – головний гідропривід; 7 – бічні огорожі; 8 – блок живлення; 9 – опорна рама

Доклевелер регулюється відповідно до різниці у висоті між платформою та кузовом транспортного засобу, що дозволяє безпечно та ефективно переміщувати вилкові навантажувачі та інше обладнання.

Платформа підтримується 10 балками підсилення, які забезпечують більшу міцність і довговічність. Вони також витримують безперервний проїзд транспортних засобів і, таким чином, запобігають деформації платформи. Для забезпечення максимальної міцності, всі петлі посилені.

Доклевелер складається з нижньої опорної рами 9, яка підтримує всі інші встановлені на ній елементи. Верхня платформа 1 кріпиться до задньої частини опорної рами і забезпечує необхідний рівень нахилу. У передній частині доклевелера є поворотна рампа 2, яка забезпечує з'єднання між платформою та підлогою кузова вантажівки. Управління платформою здійснюється механізмом гідроприводу за допомогою пульта управління.

На опорному каркасі рами також закріплені головний гідропривід 6 та блок живлення 8. Платформа оснащена рухомими бічними огорожами та стійкою для безпеки.

Поворотна рампа забезпечує прив'язку рівня платформи до кузова автомобіля. Основні технічні характеристики гідравлічного доклевелера наведено в таблиці 3.1.

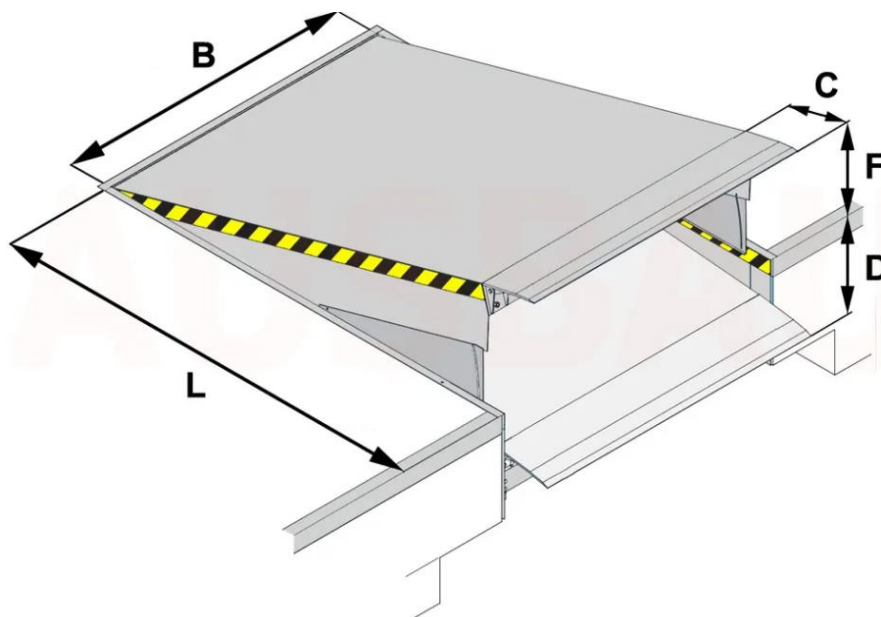


Рис. 3.2 Схема доклевелера

Основні параметри гідравлічного доклевелера

Довжина платформи, мм (L)	2300
Ширина платформи, мм (B)	1800
Довжина поворотної рампи, мм (C)	400
Висота в закритому стані, мм (I)	400
Максимальна висота у розкритому стані, мм (F)	450
Вантажопідйомність, кг:	
статична	9000
динамічна	6000
Діапазон температури, °C	-40...+50
Вага, кг	800

Доклевелер працює за допомогою гідравлічної енергії, яка спрямована на піднімання та опускання платформи та поворотної рампи, задля перекриття проміжку між вантажною платформою та транспортним засобом. Ця технологія забезпечує гладку та рівну поверхню для завантаження та розвантаження, підвищуючи ефективність і безпеку під час вантажно-розвантажувальних операцій. Гідравлічна система активується кнопковим керуванням, що забезпечує точну та легку роботу. Блок живлення 8 кріпиться на опорній рамі 9.

Блок живлення складається з (рис. 3.4): двигуна змінного струму; шестеренного насоса високого тиску, центрального блоку, масляного бака, гідравлічного клапана тощо.

Блок живлення призначений для забезпечення доклевелера гідравлічною енергією, він може керувати двома циліндрами односторонньої дії.

Крім того, гідравлічна система розроблена з урахуванням різної вантажопідйомності та висоти доклевелера, що робить її адаптованою до різних експлуатаційних вимог. Рухомі частини пристрою створені таким чином, щоб витримувати інтенсивне використання та забезпечувати постійну продуктивність. Завдяки можливості підняття платформи до певної висоти вантажівки або причепа,

доклевелер сприяє безперебійній та надійній роботі процесів завантаження та розвантаження в промислових умовах.



Рис. 3.3 Блок живлення доклевелера

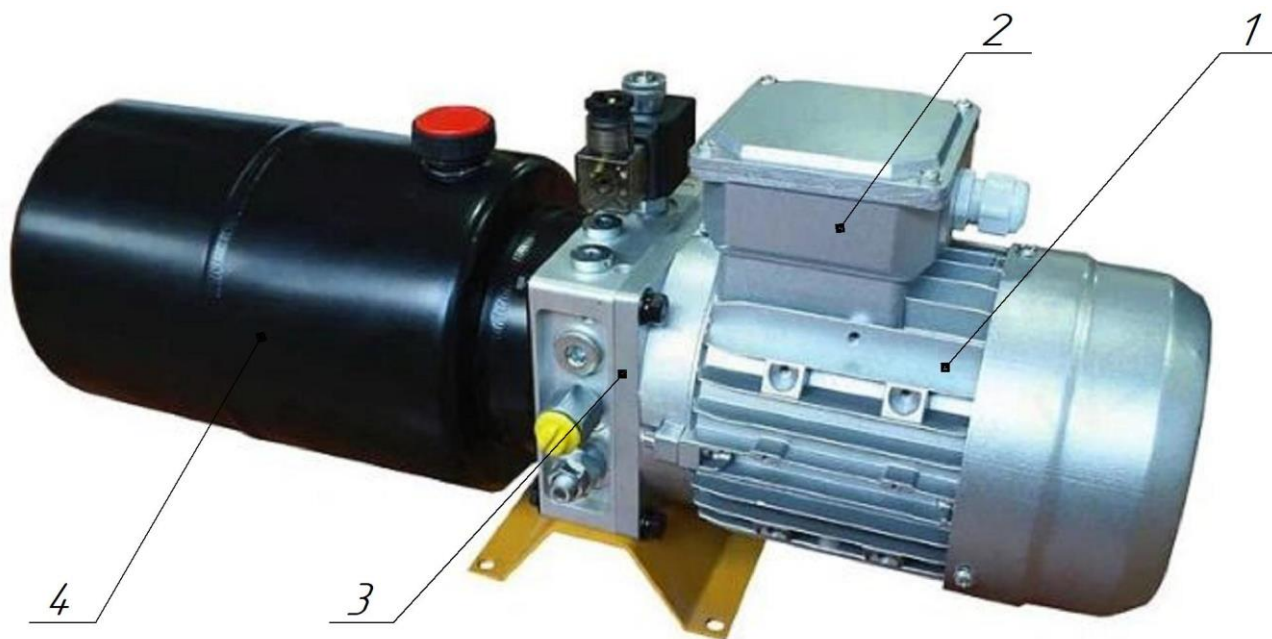


Рис. 3.4. Блок живлення:

1 – електродвигун; 2 – шестеренний насос; 3 – центральний блок; 4 – масляний бак

Якщо зосередитися на ролі гідравлічної системи в доклевелері, її функціональність можна зрозуміти через використання гідравлічної рідини для контрольованого руху платформи. На відміну від механічних доклевелерів, гідравлічні системи пропонують потужну та плавну роботу, що ідеально підходить для важких вантажно-розвантажувальних операцій. Гідравлічна система гарантує, що платформу можна відрегулювати до потрібного рівня.

Таблиця 3.2

Характеристика блоку живлення

Потужність електродвигуна, кВт	1,5
Напруга, В	380
Частота обертання насоса, об/хв	3000
Тиск, МПа	18

3.2. Службове призначення та характеристика центрального блоку

Центральний блок (рис. 3.5) входить до блоку живлення та являє собою блок з декількома шляхами потоку та портами, призначеними для оптимізації розподілу гідравлічної рідини в гідравлічній системі. Центральний блок діє як з'єднувач, що поєднує різні гідравлічні компоненти, такі як насоси, клапани, приводи та циліндри, щоб забезпечити плавний потік рідини в контрольованих умовах.

Центральний блок призначений для спрямування та контролю потоку гідравлічної рідини через різні гідравлічні компоненти, регулювання тиску для досягнення бажаного контролю.

Функції центрального блоку в гідравлічних системах:

- розподіл потоку: гідравлічні системи розподіляють гідравлічну рідину від насоса до різних компонентів, гарантуючи, що кожен отримує відповідну швидкість потоку масла;

- регулювання тиску: регулюють і підтримують бажаний рівень тиску в системі, який визначається клапаном скидання тиску, редуційним клапаном, зібраним на блоці;

- керування напрямком: клапани, встановлені на центральних блоках, спрямовують потік гідравлічної рідини до певних приводів або контурів, забезпечуючи точне керування функціями системи;

- зменшена кількість точок виток: завдяки поєднанню кількох з'єднань в один блок, мінімізується ризик виток рідини, підвищуючи надійність системи. Центральні блоки усувають складні взаємозв'язки та мінімізують використання труб і фітінгів.

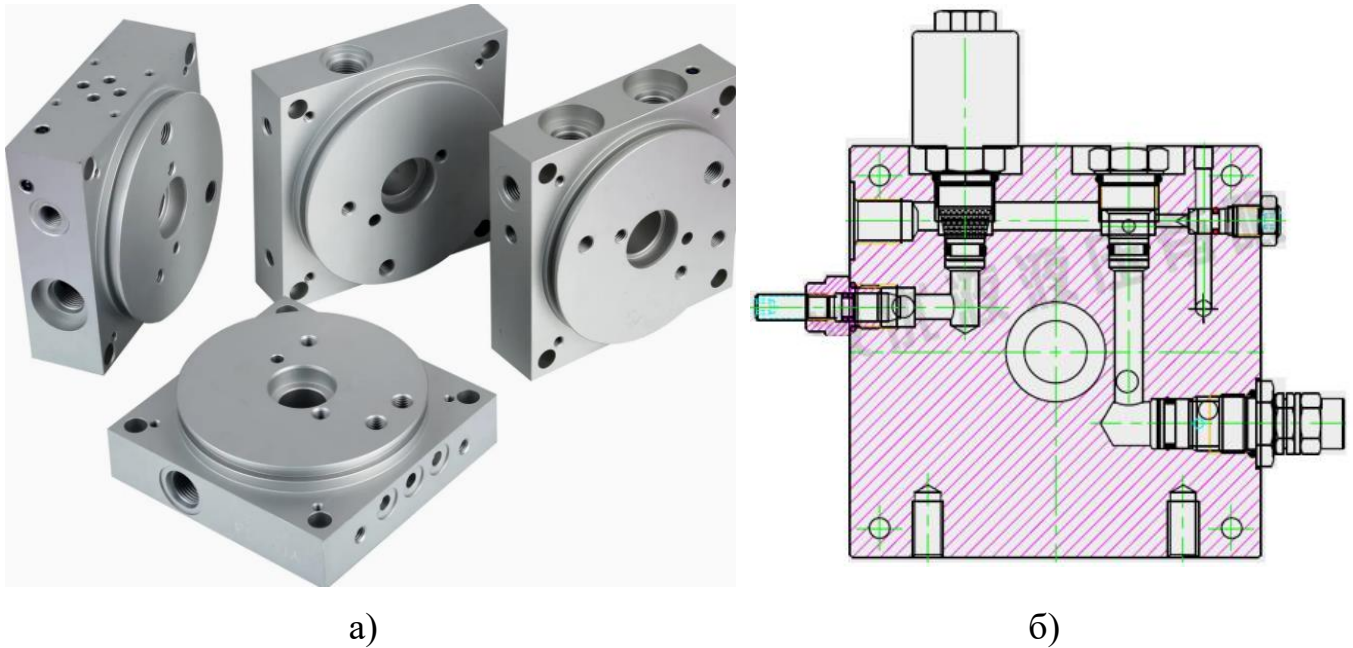


Рис. 3.5 Центральні блоки:

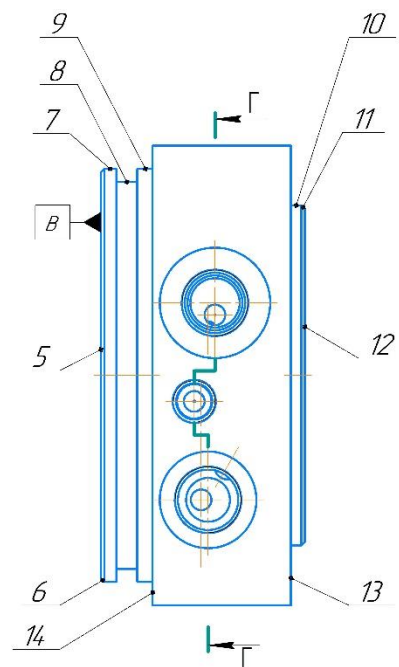
а – варіанти конструкцій; б – схема із муфтами, клапанами та штуцерами

Виконуємо ескіз деталі центральний блок (рис. 3.6) на якому проставляємо нумерацію всіх поверхонь, які підлягатимуть механічній обробці.

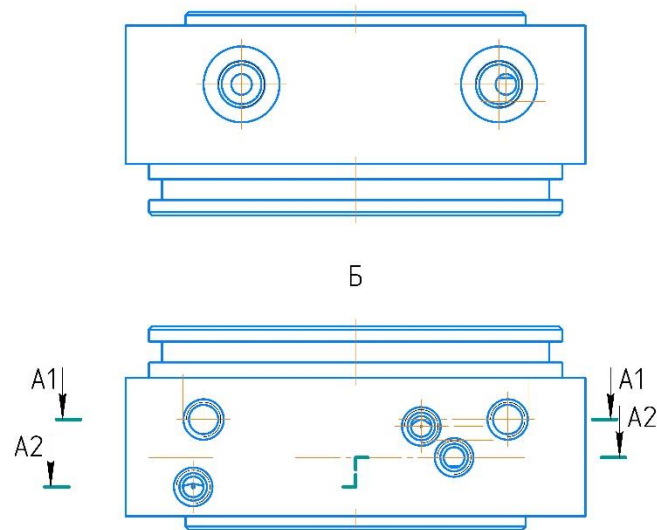
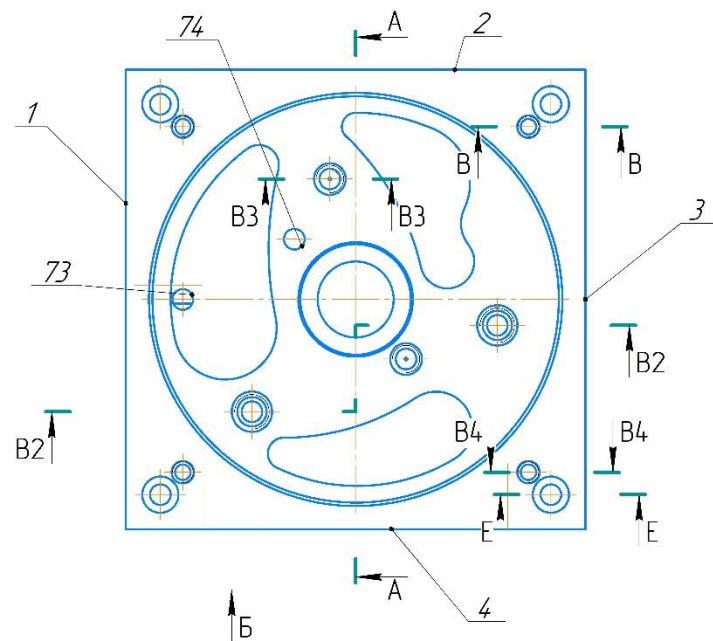
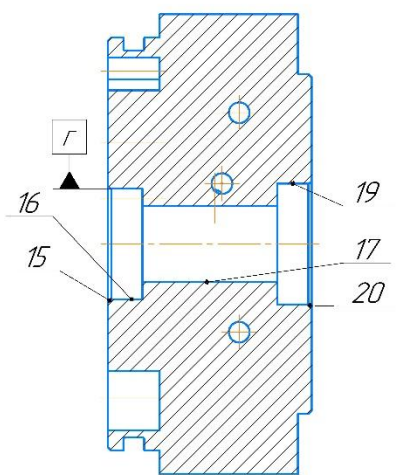
Поверхнями, що визначають положення центрального блоку в складальній одиниці є торцеві поверхня 5 та 12 та отвори 16, 17, 19. Відносно цих поверхонь відбувається орієнтація деталі під час операції складання блоку живлення.

Положення приєднаних деталей визначається поверхнями: площиною 14; отворами 38, 39, 47, 52; різьбовими 23, 26, 30, 35, 42, 55, 61, 67.

За виконання службового призначення в центральному блоці відповідають отвори 27, 31, 32, 36, 37, 46, 50, 51, 58, 64, 69, 72.



A-A



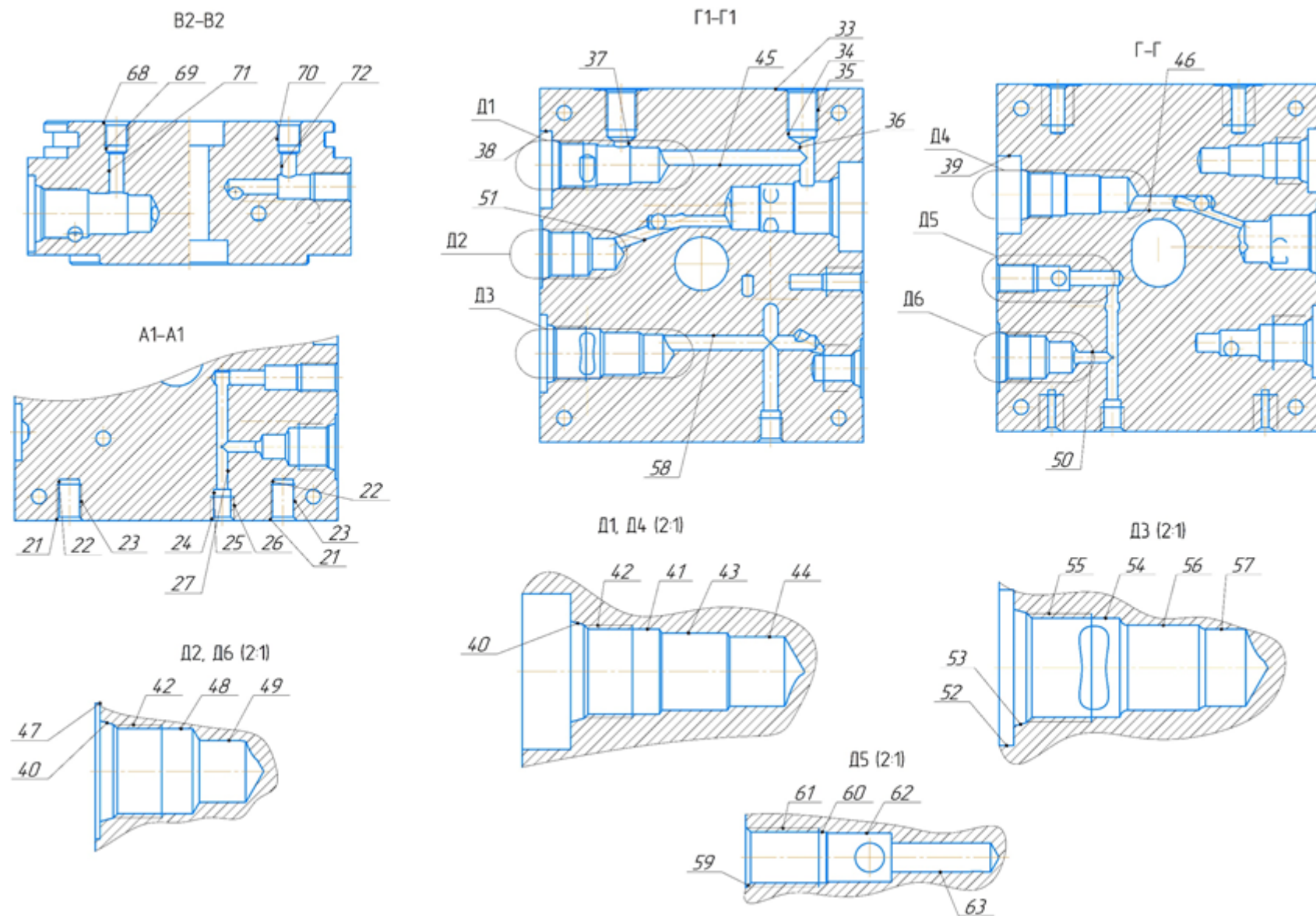


Рис. 3.6 Ескіз центрального блоку

3.3. Розробка технології виготовлення центрального блоку

Аналіз точності та технологічності

Аналіз точності виконується на основі поелементного аналізу деталі, визначаючи вимоги по точності, шорсткості та розташуванню до кожної поверхні центрального блоку, що підлягає механічній обробці. На основі ескізу деталі (рис. 3.6) заповнюємо таблицю 3.3 в якій зазначаємо висуваємі вимоги до поверхонь деталі користуючись робочим кресленням центрального блоку.

Найбільш точними поверхнями деталі центральний блок є: зовнішня циліндрична поверхня 10 $\varnothing 110_{-0,04}^{h7}$ шорсткість Ra2,0; зовнішні циліндричні поверхні 7 та 9 $\varnothing 119,6_{-0,01}^{+0,05}$ h8 шорсткість Ra1,6; внутрішня циліндрична поверхня 16 $\varnothing 32_{-0,039}^{+0,039}$ H8 шорсткість Ra1,6.

Інші поверхні деталі характеризуються невисокими квалітетами точності: H14...H12 та шорсткістю Ra 6,3.

Деталь центральний блок характеризується наявністю великої кількості отворів, більшість з яких є глухими. Наявні ступінчасті отвори. Так, наприклад, ступінчастий отвір, що складається з поверхонь 38, 40, 41, 43, 44 є співвісним, але внутрішня циліндрична поверхня 45 виконується зі зміщенням осі отвору на 3 мм відносно осі ступінчастого отвору. Дно отвору поверхні 44 має конічну форму, що може викликати уведення різального інструменту вбік при обробці поверхні 45.

Глухі отвори мають різну форму дна. Деякі отвори мають конічну форму дна, яка забезпечується різальним інструментом, а форма дна інших – плоска.

В деталі наявні глибокі отвори – отвори, відношення довжини до діаметра яких перевищує 5. До глибоких отворів належать внутрішні циліндричні поверхні 27, 31, 32, 45, 46, 51 та 58.

Центральний блок має отвори, осі яких перетинаються, наприклад внутрішні циліндричні поверхні: 27 та 50; 27 та 58; 36 та 43; 37 та 43; 46 та 74; 50 та 63.

Отвір 51 розташований не перпендикулярно до торцевої поверхні 3, а під певним кутом, що може викликати певні складнощі при його обробці.

Різьбові поверхні виготовлені за різними стандартами. За державним стандартом виготовляється внутрішня метрична різьба поверхонь 23, 61, 67, 70, 77 та 80. Дюймові різьби 26, 30, 35, 42 та 55 виготовляються за стандартом США UN.

На основі аналізу точності і технологічності можна зробити висновок, що деталь має не складну форму, її елементами є плоскі, внутрішні циліндричні та різьбові поверхні. Деталь можна вважати технологічною з точки зору механічної обробки.

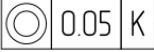
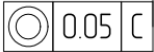
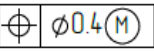
Таблиця 3.3

Параметри точності деталі центральний блок

Номер поверхні на деталі	Найменування поверхні	Розміри	Квалітет точності	Точність відносного розміщення	Точність форми	Шорсткість
1	2	3	4	5	6	7
1, 3	Торцева	133 ⁺¹	14			Ra6,3
2, 4	Торцева	133 ⁺¹	14			Ra6,3
5, 12	Торцева	59 ^{+0,74}	14			Ra2,0
6	Фаска	1x45 ⁰ Ø119,6 ^{+0,05} _{-0,01}				Ra6,3
7, 9	Зовнішня циліндрична	Ø119,6 ^{+0,05} _{-0,01}	8			Ra1,6
8	Канавка	Ø112 ^{+0,1} 6 ^{+0,1}	-			Ra1,6
10	Зовнішня циліндрична	Ø110 _{-0,04}	h7			Ra2,0
11	Фаска	1x45 ⁰ Ø110 _{-0,04}				Ra6,3
13, 14	Площина	40	14			Ra2,0
15	Фаска	1x30 ⁰ Ø32 ^{+0,04}				Ra1,6
16	Внутрішня циліндрична	Ø32 ^{+0,039}	H8			Ra1,6
17	Внутрішня циліндрична	Ø22 ^{+0,33}	13			Ra6,3
18	Внутрішня циліндрична	Ø6 ^{+0,3}	14			Ra6,3
19	Внутрішня циліндрична	Ø35 ^{+0,25}	12			Ra6,3
20	Фаска	1x30 ⁰ Ø35	-			Ra1,6
21	Фаска	1,6x45 ⁰ Ø8,5	-			Ra6,3
22	Внутрішня циліндрична	Ø8,5 ^{+0,058} 17	10			Ra6,3

23	Внутрішня різьбова	M10x1,5	6H			-
24	Фаска	1,6x45 ⁰ Ø8,5				Ra6,3
25	Внутрішня циліндрична	Ø8 ^{+0,084} 13	10			Ra6,3
26	Внутрішня різьбова	G1/8-B				-
27	Внутрішня циліндрична	Ø6 ^{+0,18} 60	13			Ra6,3
28	Фаска	1,6x45 ⁰ Ø8	-			Ra6,3
29	Внутрішня циліндрична	Ø8 ^{+0,084} 13	10			Ra6,3
30	Внутрішня різьбова	G1/8-B				-
31	Внутрішня циліндрична	Ø6 ^{+0,18} 105	13			Ra6,3
32	Внутрішня циліндрична	Ø6 ^{+0,18} 85	13			Ra6,3
33	Внутрішня циліндрична	Ø22 ^{0,52} 0,5	14			Ra6,3
34	Внутрішня циліндрична	Ø11,5 ^{+0,084} 19,5	10			Ra6,3
35	Внутрішня різьбова	G1/4-B				-
36	Внутрішня циліндрична	Ø6 ^{+0,18} 45	13			Ra6,3
37	Внутрішня циліндрична	Ø6 ^{+0,18} 25	13			Ra6,3
38	Внутрішня циліндрична	Ø20 ^{+0,62} 5	14			Ra6,3
39	Внутрішня циліндрична	Ø32 ^{+0,62} 10	14			Ra6,3
40	Внутрішня конічна	Ø20,6 ^{+0,1} 15 ⁰ 2,6 ^{+0,3}				Ra1,6
41	Внутрішня циліндрична	Ø17,5 ^{+0,05} 18,26	9			Ra1,6
42	Внутрішня різьбова	¾-16UNF-2B				-
43	Внутрішня циліндрична	Ø15,88 ^{+0,05} 32,26	9			Ra1,6
44	Внутрішня циліндрична	Ø14,27 ^{+0,05} 44	9			Ra1,6
45	Внутрішня циліндрична	Ø6 ^{+0,18} 107	13			Ra6,3
46	Внутрішня циліндрична	Ø6 ^{+0,18} 88	13			Ra6,3

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7
47	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 28^{+0,52}_1$	14			Ra6,3
48	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 17,5^{+0,05}_{19,05}$	9			Ra6,3
49	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 12,7^{+0,05}_{30}$	9			Ra1,6
50	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}_{47,5}$	13			Ra6,3
51	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}_{55}$	13			Ra6,3
52	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 32^{0,62}_3$	14			Ra6,3
53	Внутрішня конічна	$\varnothing 23,95^{+0,1}_{15^0}$ $2,6^{+0,3}$				Ra1,6
54	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 20,4^{+0,05}_{21,84}$	9			Ra6,3
55	Внутрішня різьбова	7/8-14UNF-2B				-
56	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 17,48^{+0,05}_{38,1}$	9			Ra1,6
57	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 15,88^{+0,05}_{47,7}$	9			Ra1,6
58	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}_{115}$	13			Ra6,3
59	Фаска	1×45^0 $\varnothing 10,5$				Ra6,3
60	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 10,5^{+0,05}_{16,6}$	9			Ra6,3
61	Внутрішня різьбова	M12x1	7H			-
62	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 10^{+0,05}_{30}$	9			Ra1,6
63	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}_{51}$	13			Ra6,3
64	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}_{33}$	13			Ra6,3
65	Фаска	$1,6 \times 45^0$ $\varnothing 10,5$				Ra6,3
66	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}_{21}$	13			Ra6,3
67	Внутрішня різьбова	M8	6H			-
68	Фаска	$1,6 \times 45^0$ $\varnothing 8,5$				Ra6,3
69	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 8,5^{+0,058}_{13}$	10			Ra6,3

1	2	3	4	5	6	7
70	Внутрішня різбова	M10x1,0	6H			-
71	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}$ 30	13			Ra6,3
72	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}$ 25	13			Ra6,3
73	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}$ 25	13			Ra6,3
74	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 6^{+0,18}$ 36	13			Ra6,3
75	Фаска	1x45 ⁰ $\varnothing 4,5$				Ra6,3
76	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 4,5^{+0,048}$ 10	10			Ra6,3
77	Внутрішня різбова	M6	6H			-
78	Фаска	1x45 ⁰ $\varnothing 4,5$				Ra6,3
79	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 4,5^{+0,048}$ 12	10			Ra6,3
80	Внутрішня різбова	M6	6H			-

Проектування технологічного процесу

В деталі центральний блок доклевелера, яка являє собою паралелепіпед із бонками на двох паралельних площинах механічній обробці підлягають всі зовнішні поверхні. Також, деталь має велику кількість отворів, які також виготовляються на кожній із зовнішніх поверхонь деталі.

В деталі центральний блок отвори є наскрізними та глухими, також є отвори, що перетинаються. Деякі поверхні ступінчастих отворів мають різбові поверхні.

При виборі металорізальних верстатів для обробки центрального блоку необхідно обрати такий верстат, який би забезпечив обробку максимальної кількості поверхонь без перевстановлення. Для цього призначені верстати з ЧПУ із поворотним столом. Деталь встановлюється на столі верстату після чого виконується обробка поверхні. Далі, деталь повертається на заданий кут або в задане положення і для механічної обробки стає доступною інша поверхня деталі. Оскільки, одна поверхня деталі буде установчою базою, то обробку деталі центральний блок можна виконати мінімум за дві операції механічної обробки.

Вибір заготовки

В якості методу отримання заготовки обираємо лиття під тиском у прес-форму.

Лиття в прес-форму широко використовується в багатьох галузях промисловості, включаючи автомобільну, електронну, аерокосмічну і побутову техніку. Найпоширеніші деталі, що виготовляються за цією технологією – це корпуси, кришки, деталі механізмів.

Лиття в прес-форму є надзвичайно ефективним методом для виготовлення заготовок. Сутність методу полягає у виготовленні заготовок шляхом введення під тиском рідкого сплаву в прес-форму. Процес є одним із найпоширеніших методів масового виробництва в машинобудуванні. Прес-формування має низку переваг, включаючи високу точність, швидкість виробництва та можливість виготовлення складних деталей.

Матеріалом для заготовки деталі центральний блок є алюмінієвий сплав АК9М2Ц2. Сплав АК9М2Ц2 – це один із популярних алюмінієвих ливарних сплавів, який широко використовується в машинобудуванні, авіаційній та автомобільній промисловості. Цей сплав належить до групи алюмінієвих силумінів (Al-Si сплавів) і має добре збалансовані механічні та технологічні властивості.

Хімічний склад і механічні властивості алюмінієвого сплаву наведені в таблицях 3.4 та 3.5 відповідно.

Таблиця 3.4

Хімічний склад матеріалу деталі центральний блок

Марка матеріалу	Вміст елементів, %							
	Al	Ti	Fe	Si	Mn	Ni	Zn	Cu
АК9М2Ц2	84,1-91,6	до 0,2	до 1,2	7,5-10	до 0,4	до 0,5	до 1,2	0,5-2

Таблиця 3.5

Механічні властивості матеріалу деталі центральний блок

Марка матеріалу	σ_B	δ	Твердість, НВ
	МПа	%	
АК9М2Ц2	186-274	1,4-1,5	700

Вибір методів обробки поверхонь

Неодноразова механічна обробка виконується над внутрішньою циліндричною поверхнею 16 деталі центральний блок. Виконуємо розрахунок методів обробки для цієї поверхні.

Загальне уточнення розраховується за формулою:

$$\varepsilon_3 = \delta_3 / \delta_d,$$

де δ_3 - допуск на розмір поверхні заготовки, яка підлягає неодноразовій механічній обробці;

δ_d - допуск на розмір тієї ж поверхні, після її обробки.

Допуск на розмір поверхні 16 на деталь становить $\delta_d = 0,039$ мм, а допуск на заготовку $\delta_3 = 0,52$ мм.

Вибираємо два маршрути обробки поверхні.

Перший маршрут складається з:

- розсвердлювання $\delta_1 = 0,16$ мм
- зенкерування $\delta_2 = 0,062$ мм
- розгортання $\delta_3 = 0,039$ мм

Другий маршрут складається з:

- розфрезерування $\delta_1 = 0,250$ мм
- розточування чистове $\delta_2 = 0,1$ мм
- розточування тонке $\delta_3 = 0,039$ мм

Загальне уточнення $\varepsilon_3 = 13,33$.

Частинні коефіцієнти уточнення розраховуються за формулою:

$$\varepsilon_i = \delta_i / \delta_{i+1}$$

Результати розрахунків для обох маршрутів обробки заносимо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі центральний блок

Позначення поверхні	Допуск на поверхню по кресленню, δ_d мм	Шорсткість поверхні, R_a мкм	Допуск на заготовку по поверхні, δ_z мм	Загальне уточнення ε_z	Можливі технологічні маршрути обробки поверхні		Економічні допуски на проміжні методи обробки,	Частинні коефіцієнти уточнення	$\Pi\varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \dots \cdot \varepsilon_i$
					№	Зміст маршруту			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	0,039	1,6	0,52	13,33	1	Розсвердлювання	0,16	3,25	13,32
						Зенкерування	0,062	2,58	
						Розгортання	0,039	1,589	
					2	Розфрезерування	0,25	2,08	13,33
						Розточування чистове	0,1	2,5	
						Розточування тонке	0,039	2,564	

Як видно з розрахунків, для поверхні 16 оптимальним є маршрут №2, при якому

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \Pi\varepsilon_i.$$

Розробка маршруту виготовлення центрального блоку

При розробці маршруту обробки деталі центральний блок необхідно обов'язково враховувати обрані методи та послідовність обробки окремих поверхонь, тип виробництва, метод отримання заготовки, можливості обраних металорізальних верстатів тощо. Розроблений маршрут обробки наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Таблиця технологічного маршруту обробки деталі блок центральний

Маршрутний технологічний процес	
1	
001 Транспортна Електрокар Транспортувати заготовки на ділянку механічної обробки	
005 Горизонтально-фрезерна з ЧПУ НААС ЕС 400 Горизонтально-фрезерний з ЧПУ Позиція 1: Фрезерувати: поверхні, канавку, фаску. Розсвердлити отвір, розфрезерувати отвір, розточити отвір, точити фаску, зенкувати фаски. Свердлити отвори, фрезерувати отвори, розфрезерувати отвори. Нарізати різьбу в отворах. Позиція 2: Фрезерувати: поверхні, фаску. Розточити отвір, врізати фаску.	

010 Горизонтально-фрезерна з ЧПУ НААС ЕС 400 Горизонтально-фрезерний з ЧПУ Позиція 1: Фрезерувати: поверхню, отвори. Свердлити отвори, розсвердлити отвори, зенкувати фаски, нарізати різьбу в отворах. Позиція 2: Фрезерувати: поверхню, отвори. Свердлити отвори, розточити отвори, нарізати різьбу в отворах. Позиція 3: Фрезерувати: поверхню, отвори. Зенкувати фаски, нарізати різьбу в отворах. Позиція 4: Фрезерувати: поверхню, отвори. Свердлити отвори, розфрезерувати отвір, розсвердлити отвори, зенкувати фаски, нарізати різьбу в отворах.
015 Слюсарна Верстак слюсарний Видалити стружку з деталі після механічної обробки.
020 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри
025 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю зборки.

Вибір технологічних баз

При обробці деталі центральний блок доклевелера на 005 операції площина 4 є установчою базою, площини 1 та 3 є направляючою та опорною базами (рис. 3.6). На 010 операції в якості установчої бази використовується площина 12, центральний отвір 17 – направляюча база, отвір 18 – опорна база.

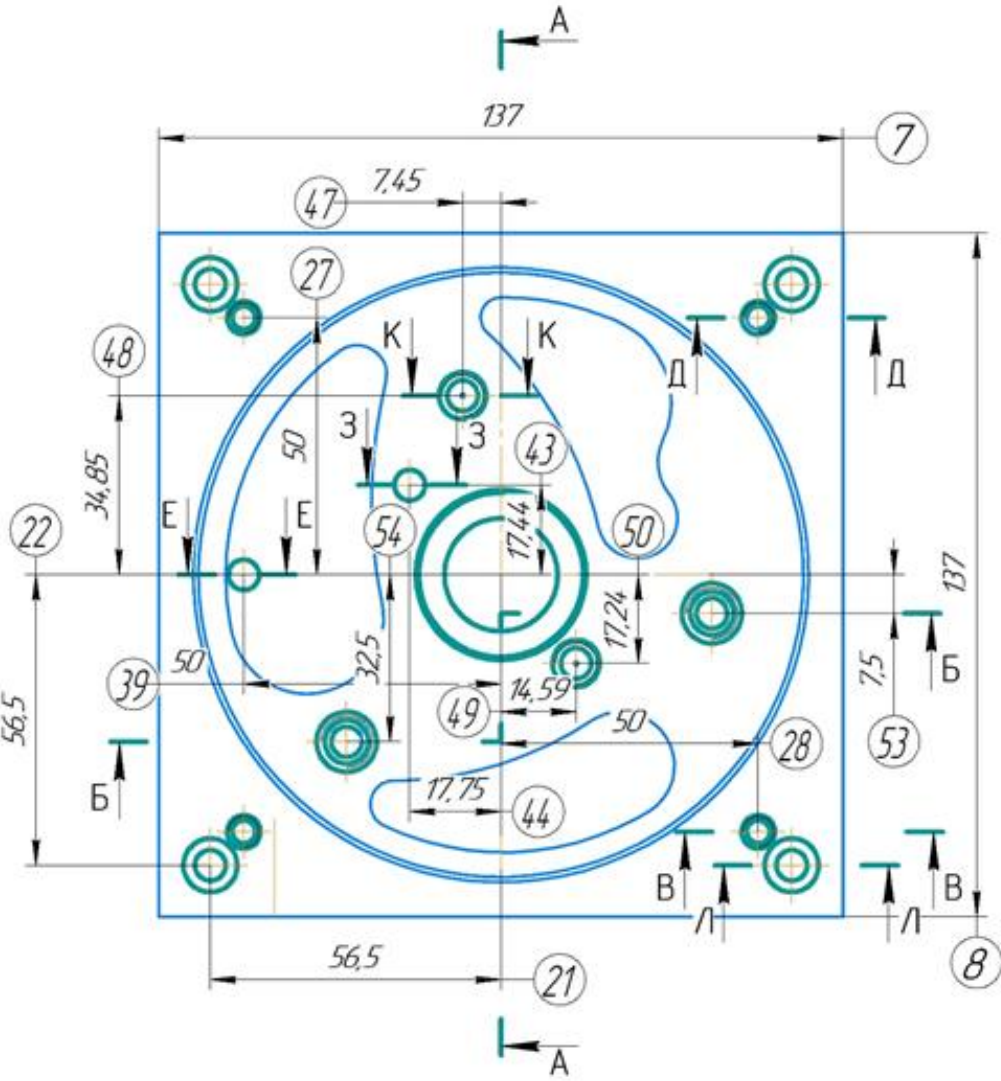
Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір обладнання для їх здійснення

Розробляємо структуру та зміст кожної операції механічної обробки деталі центральний блок із зазначенням її номера та найменування. Дана розробка виконується на основі технологічного маршруту обробки деталі, маршрутів обробки поверхонь та аналізу простановки розмірів з урахуванням технічних вимог до окремих поверхонь.

Структуру та зміст технологічних операцій наведено в таблиці 3.8.

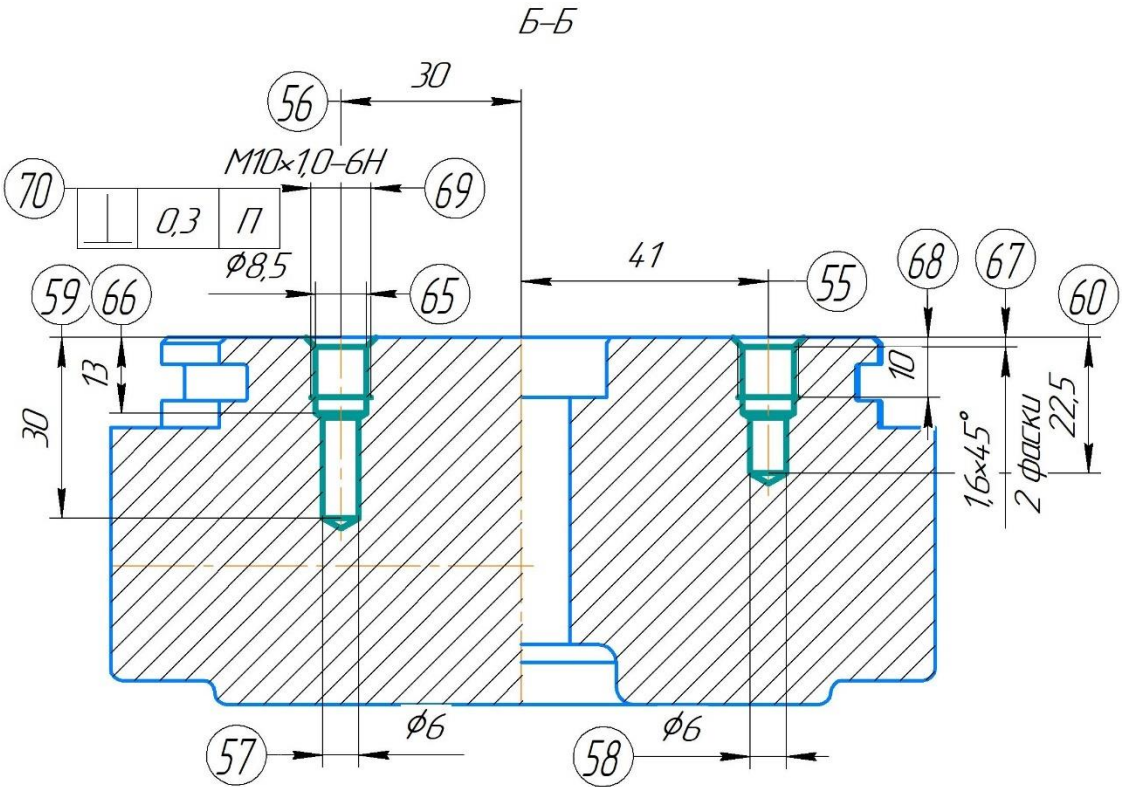
Зміст та структура технологічних операцій обробки деталі центральний блок

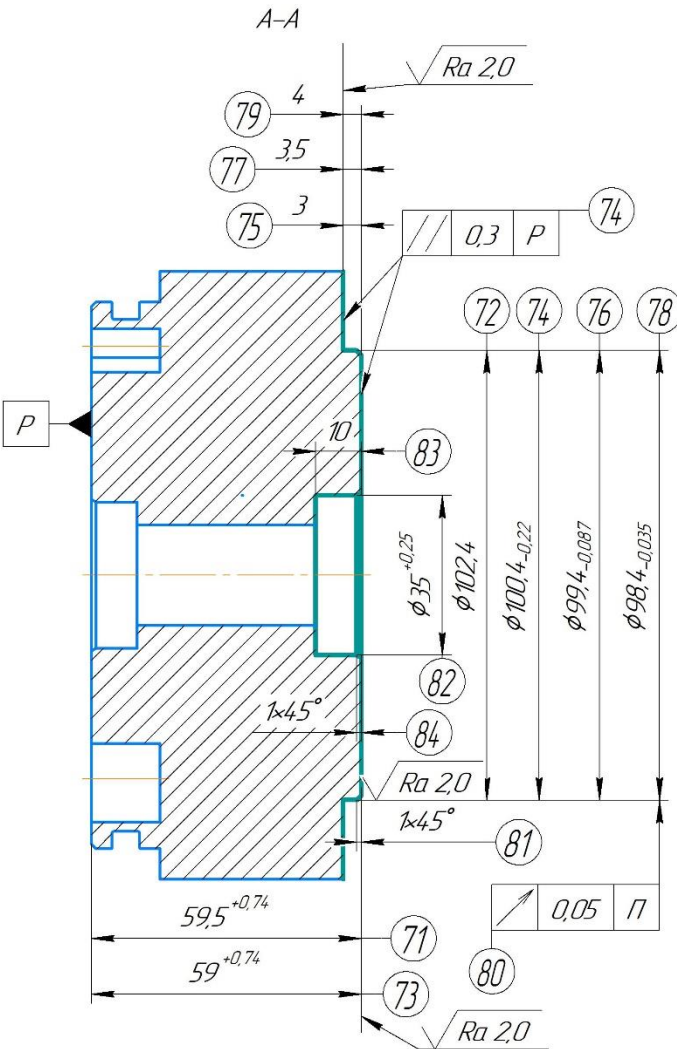
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005 Горизонтально-фрезерна з ЧПУ	HAAS EC 400 Горизонтально-фрезерний з ЧПУ		1. Встановити та закріпити заготовку. Позиція 1 2. Фрезерувати поверхню начорно, витримуючи розміри 1, 2. 3. Фрезерувати поверхню начисто, витримуючи розміри 2, 3, допуск 4. 4. Фрезерувати поверхню по контуру начорно, витримуючи розміри 5, 6, 7, 8. 5. Фрезерувати поверхню по контуру начисто, витримуючи розміри 7, 8, 9, 10, допуск 11. 6. Фрезерувати канавку, витримуючи розміри 9, 12, 13. 7. Фрезерувати фаску, витримуючи розмір 14.

1	2	3	4
			8. Розсвердлити отвір на прохід, витримуючи розмір 15. 9. Розфрезерувати отвір, витримуючи розміри 16, 17. 10. Розточити отвір начисто, витримуючи розмір 17, 18. 11. Розточити отвір тонко та врізати фаску, витримуючи розміри 17, 19, 20. 12. Свердли 4 отвори послідовно на прохід, витримуючи розміри 21, 22, 23, 24. 13. Розфрезерувати 4 отвори послідовно, витримуючи розміри 21, 22, 25, 26. 14. Фрезерувати 3 отвори, витримуючи розміри 27, 28, 29, 30.

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4
			15. Фрезерувати отвір, витримуючи розміри 27, 28, 31, 32. 16. Зенкувати фаску в чотирьох отворах послідовно, витримуючи розміри 27, 28, 32. 17. Нарізати різьбу в трьох отворах послідовно, витримуючи розміри 27, 28, 33, 34 та допуск 35. 18. Нарізати різьбу в отворі, витримуючи розміри 27, 28, 36, 37 та допуск 38. 19. Свердлити 6 отворів послідовно, витримуючи розміри 39-60. 20. Зенкувати фаску в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 47, 48, 49, 50, 51, 61.

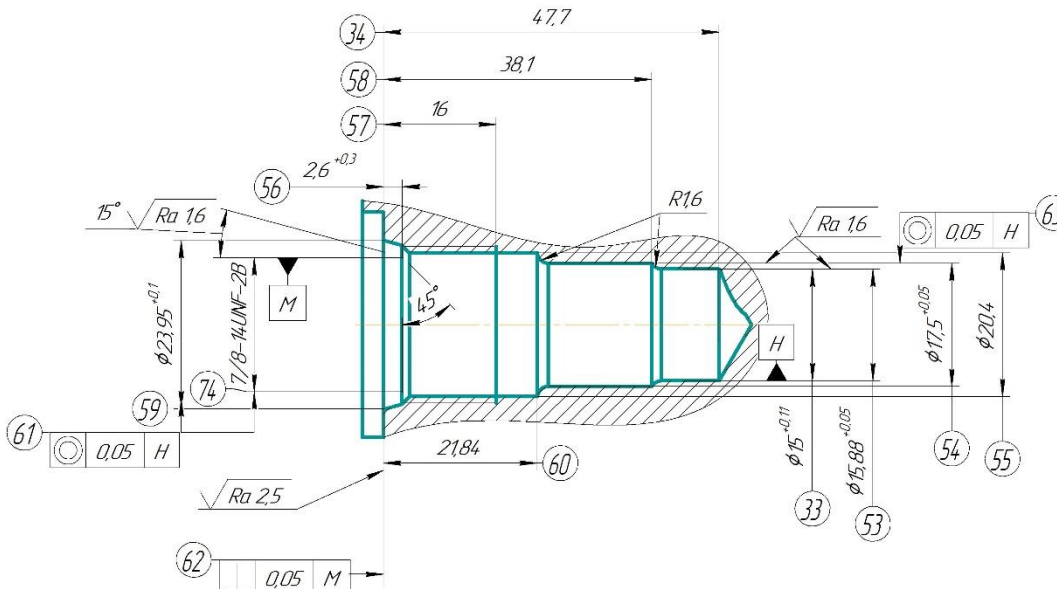
1	2	3	4
			21. Нарізати різьбу в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 47, 48, 49, 50, 62, 63 та допуск 64. 22. Розсвердлити 2 отвори послідовно, витримуючи розміри 53, 54, 55, 56, 65, 66. 23. Зенкувати фаску в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 53, 54, 55, 56, 67. 24. Нарізати різьбу в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 53, 54, 55, 56, 68, 69 та допуск 70. 25. Поворот стола верстату разом із деталлю на 180°.

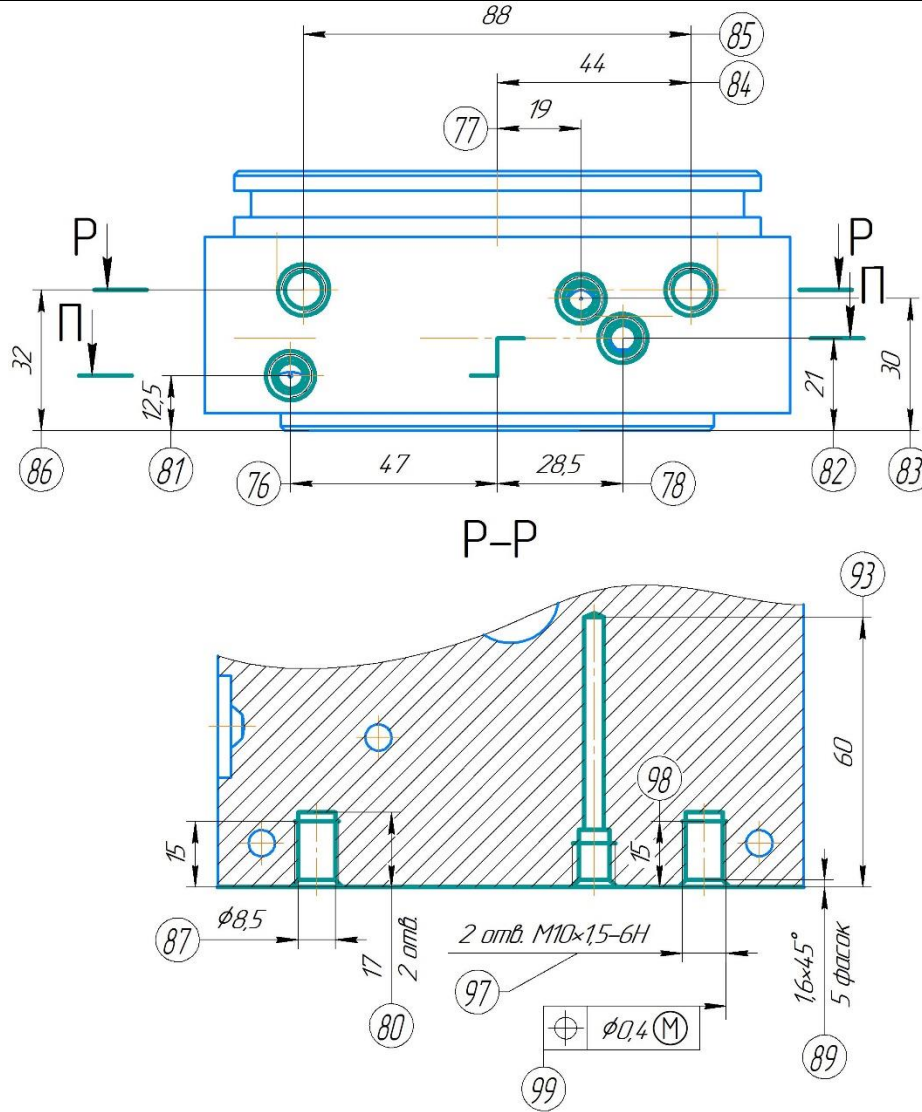
1	2	3	4
			Позиція 2 26. Фрезерувати поверхню начорно, витримуючи розміри 71, 72. 27. Фрезерувати поверхню начисто, витримуючи розміри 72, 73, допуск 74. 28. Фрезерувати поверхню по контуру начорно, витримуючи розміри 7, 8, 74, 75. 29. Фрезерувати поверхню по контуру начисто попередньо, витримуючи розміри 7, 8, 76, 77. 30. Фрезерувати поверхню по контуру начисто кінцево, витримуючи розміри 7, 8, 78, 79, допуск 80. 31. Фрезерувати фаску, витримуючи розмір 81. 32. Розточити отвір, врізати фаску, витримуючи розміри 82, 83, 84. 33. Відкріпити та зняти деталь.

1	2	3	4
010 Горизонтально-фрезерна з ЧПУ	HAAS EC 400 Горизонтально-фрезерний з ЧПУ	Technical drawing of a mechanical part with numbered callouts 1-17. The drawing includes a top view and a cross-section A-A. Dimensions are provided in millimeters. Callouts 1-17 correspond to the tasks listed in column 4.	1. Встановити та закріпити деталь. Позиція 1 2. Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір 1. 3. Фрезерувати два отвори, витримуючи розміри 2, 3, 4, 5, 6. 4. Свердлити отвір, витримуючи розміри 5, 6, 7, 8, 9. 5. Свердлити отвір, витримуючи розміри 5, 6, 10, 11. 6. Розсвердлити два отвори, витримуючи розміри 4, 5, 6, 12, 13. 7. Зенкувати фаски в двох отворах, витримуючи розміри 4, 5, 6, 11, 14. 8. Нарізати різьбу в двох отворах, витримуючи розміри 4, 5, 6, 15, 16 та допуск 17. 9. Поворот стола верстату разом із деталлю на 90° за

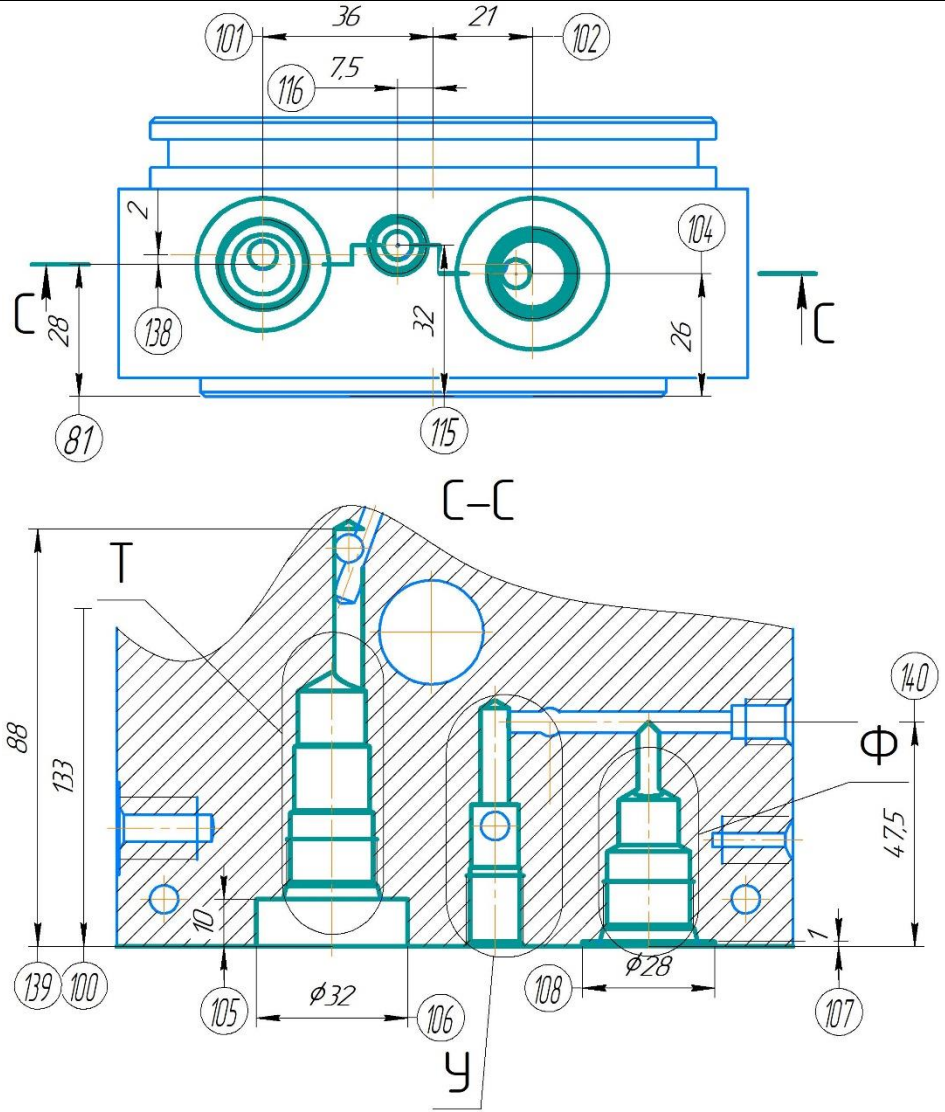
1	2	3	4
			годинниковою стрілкою. Позиція 2 10. Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір 18. 11. Фрезерувати два отвори послідовно, витримуючи розміри 19, 20, 21, 22, 23, 24. 12. Фрезерувати отвір, витримуючи розміри 24, 25, 26, 27. 13. Свердлити отвір, витримуючи розміри 20, 22, 24, 28, 29. 14. Свердлити отвір, витримуючи розміри 21, 22, 30, 31, 32. 15. Свердлити отвір, витримуючи розміри 24, 25, 27, 33, 34. 16. Розточити ступінчастий отвір, витримуючи розміри 35-41 та допуски 42, 43, 44. 17. Розточити ступінчастий отвір, витримуючи розміри 31, 45-50 та допуски 51, 52.

1	2	3	4
			18. Розточити ступінчастий отвір, витримуючи розміри 34, 53-60 та допуски 61, 62, 63. 19. Свердлити два отвори послідовно, витримуючи розміри 24, 64, 65, 66, 67. 20. Поворот столу верстату разом із деталлю на 20° за годинниковою стрілкою. 21. Свердлити отвір, витримуючи розміри 22, 23, 32, 68, 69, 70, 71. 22. Поворот столу верстату разом із деталлю на 20° проти годинникової стрілки. 23. Нарізати різьбу в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 20, 21, 22, 23, 24, 28, 39, 49, 72, 73 та допуски 42, 51. 24. Нарізати різьбу в отворі, витримуючи розміри 24, 26, 30, 57, 74 та допуск 61.

1	2	3	4
		E (2:1) 	25. Поворот столу верстату разом із деталлю на 90° за годинниковою стрілкою.

1	2	3	4
			Позиція 3 26. Фрезерувати площину, витримуючи розмір 75. 27. Фрезерувати 3 отвори, витримуючи розміри 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83. 28. Фрезерувати 2 отвори, витримуючи розміри 84, 85, 86, 87, 88. 29. Зенкувати фаску в 5 отворах, витримуючи розміри 89. 30. Свердлити 3 отвори, витримуючи розміри 90, 91, 92, 93. 31. Нарізати різьбу в трьох отворах, витримуючи розміри 94, 96 та допуск 95. 32. Нарізати різьбу в двох отворах, витримуючи розміри 76, 78, 81, 82, 97, 98 та допуск 99.

1	2	3	4
		П-П G118-B 3 отб.	33. Поворот столу верстату разом із деталлю на 90° за годинниковою стрілкою.

1	2	3	4
			Позиція 4 34. Фрезерувати площину, витримуючи розмір 100. 35. Фрезерувати два отвори послідовно, витримуючи розміри 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108. 36. Свердлити отвір, витримуючи 101, 103, 105, 109, 110. 37. Свердлити отвір, витримуючи розміри 102, 104, 108, 111, 112. 38. Фрезерувати отвір, витримуючи розміри 113, 114, 115, 116. 39. Розфрезерувати отвір, витримуючи розміри 115, 116, 117, 118. 40. Зенкувати фаску, витримуючи розміри 117, 119. 41. Розточити ступінчастий отвір, витримуючи розміри 120-126 та допуски 127, 128, 129.

1	2	3	4
			42. Розточити ступінчастий отвір, витримуючи розміри 130-135 та допуски 136, 137. 43. Свердлити три отвори послідовно, витримуючи розміри 101, 102, 104, 115, 116, 138, 139, 140, 141. 44. Нарізати різьбу в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 121, 127, 131, 136, 142, 143 та допуски 136, 142. 45. Нарізати різьбу в отворі, витримуючи розміри 115, 116, 144, 145 та допуск 146. 46. Відкріпити та зняти деталь.

1	2	3	4
		У (2:1) Technical drawing of a mechanical part, labeled У (2:1). The drawing shows a cross-section of a shaft with a central hole. Key dimensions and features include: - Overall length: 51 - Distance from left end to center of hole: 30 - Distance from center of hole to right end: 16.5 - Distance from center of hole to the start of the hatched area: 15 - Hole diameter: $\phi 10.5$ - Shaft diameter: $\phi 6$ - Radius of the hatched area: $Ra 16$ - Thread on the left end: $M12 \times 1 - 7H$ - Fillet radius: $1 \times 45^\circ$ - Surface texture symbols: $Ra 0.05$ and 1 on the left end, and $Ra 16$ on the hatched area. Circled numbers 113, 114, 117, 118, 119, 141, 144, 145, and 146 are placed around the drawing.	

Характеристика металорізального верстату, що застосовується для обробки деталі центральний блок наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Характеристика верстату для обробки деталі центральний блок

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. діаметр обробки	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
005, 010	Горизонтально-фрезерний з ЧПУ HAAS EC 400	400x400	12000	25400	22,4	4000x 2375x 2367

Вибір пристроїв для затиску деталі

Всі обрані затискні пристрої, що використовуються у технологічному процесі, а також їх коротка характеристика наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Затискні пристрої для деталі

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
005	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
010	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний

Вибір різальних інструментів

Правильний вибір різальних інструментів забезпечить необхідні показники якості та точності оброблюваних ними поверхонь. При обробці центрального блоку застосовується осьовий інструмент такий, як: фрези, свердла, зенкери, розточувальні головки.

При обробці ступінчастих отворів доцільно застосовувати ступінчасті розточувальні головки. Такий вибір дасть змогу зменшити кількість переходів механічної обробки та кількість задіяних різальних інструментів. Так, наприклад, розточувальна головка, що застосовується при обробці на 16 переході 010 операції також буде застосована на 41 переході 010 операції, оскільки, оброблювані отвори мають однакову геометрію та умови по досягаємій якості та точності. За тим же

принципом обирається розточувальна головка для обробки ступінчастих отворів на 17 та 42 переходах механічної обробки 010 горизонтально-фрезерної з ЧПУ операції.

Деталь центральний блок має велику кількість глухих отворів. Деякі з отворів є глибокими, тобто, їх довжина більше ніж в п'ять разів перевищує їх діаметр.

Характеристики вибраного інструменту для обробки поверхонь деталі центральний блок наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Ріжучий інструмент для механічної обробки деталі центральний блок

Номер		Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Матеріал різальної частини
Операції	Переходу			
1	3	4	5	6
005	2, 3	Фреза торцева Ø32	490-032A25-08L	UF10
	4, 5	Фреза кінцева Ø16	R390-016A16-11L	UF10
	6	Фреза дискова	N331.35-100S32CM060	UF10
	7	Фреза	CoroMill 345-040C4-13L	UF10
	8	Свердло Ø22	860.1-2200-077A1-PM	UF10
	9	Фреза кінцева Ø30	R390-030A25L-11L	UF10
	10	Розточувальна головка Ø31,5	391.37A/B – R429U	UF10
	11	Розточувальна головка комбінована Ø32	Спеціальна	UF10
	12	Свердло Ø6	861.1-0600-072A1-GM	UF10
	13	Фреза кінцева Ø7	JS412050G2SZ2.0	UF10
	14, 15	Фреза кінцева Ø4,5	JS412020G2SZ2.0	UF10
	16	Зенківка	2353-0144	UF10
	17, 18	Мітчик М6	T100-HD101DA-M6 A110	UF10
	19	Свердло Ø6	861.1-0600-072A1-GM	UF10
	20	Зенківка	2353-0144	UF10
	21	Мітчик М8	T100-HD101DA-M8 A110	UF10
	22	Свердло Ø8,5	860.1-0850-045A1-PM	UF10
	23, 29	Зенківка	2353-0144	UF10
	24	Мітчик М10	T100-HD113DA-M10 A110	UF10
	26, 27	Фреза торцева Ø32	490-032A25-08L	UF10
	28, 29, 30	Фреза кінцева Ø16	R390-016A16-11L	UF10
	31	Фреза	CoroMill 345-040C4-13L	UF10
	32	Розточувальна головка комбінована Ø35	Спеціальна	UF10

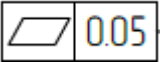
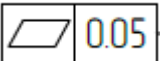
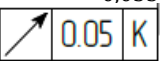
Продовження таблиці 3.11

1	2	3	4	5
010	2, 10, 26, 34	Фреза торцева Ø45	R390-044C4-11M060	UF10
	3	Фреза кінцева Ø22	R390-022A20L-11L	UF10
	4, 5	Свердло Ø6	861.1-0600-072A1-GM	UF10
	6	Свердло Ø11,5	861.1-11500-072A1-GM	UF10
	7	Зенківка	2353-0144	UF10
	8	Мітчик G1/4-B	T100-KM100AF-1/4 D16	UF10
	11, 35	Фреза кінцева Ø28	R390-028A25-11L	UF10
	12	Фреза кінцева Ø32	R390-032A32-11L	UF10
	13, 36	Свердло Ø14	860.1-1400-057A1-PM	UF10
	14, 37	Свердло Ø12	860.1-1200-053A1-PM	UF10
	15	Свердло Ø15	860.1-1500-062A1-PM	UF10
	16, 41	Розточувальна головка ступінчаста	Спеціальна	UF10
	17, 42	Розточувальна головка ступінчаста	Спеціальна	UF10
	18	Розточувальна головка ступінчаста	Спеціальна	UF10
	19, 21, 43	Свердло Ø6	861.1-0600-072A1-GM	UF10
	23, 44	Мітчик 3/4- 16UNF-2B	T100-KM101AF-3/4 D16	UF10
	24	Мітчик 7/8- 14UNF-2B	T100-KM103AE-7/8 D14	UF10
	27	Фреза кінцева Ø8	JS412080G2SZ2.0	UF10
	28	Фреза кінцева Ø8,5	JS412085G2SZ2.0	UF10
	30	Свердло Ø6	861.1-0600-090A1-GM	UF10
	31	Мітчик G1/8-B	T100-KM101AF-1/8 D8	UF10
	32	Мітчик M10x1,5	T100-HD113DA-M10 A110	UF10
	38	Кінцева фреза Ø10	JS4120100G2SZ2.0	UF10
	39	Фреза кінцева Ø10,5	JS4120150G2SZ2.0	UF10
	40	Зенківка	2353-0144	UF10
	45	Мітчик M12x1	T100-HD113DA-M12 A110	UF10

Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Пристрої та засоби для технічного контролю механічних операцій, що обрано для вимірювання розмірів та поверхонь деталі центральний блок наведено в таблиці 3.12.

Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої

Номер			Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту
Операції	Позиції	Переходу		
1	2	3	4	5
005	1	3	$61^{+0,74}$ 	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01 Спеціальний
		5	$\varnothing 119,6^{+0,05}_{-0,01}$ $15 \pm 0,1$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		6	$\varnothing 112^{+0,1}_{6^{+0,1}}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,1
		8	$\varnothing 22^{+0,33}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		11	$\varnothing 32^{+0,039}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		12	$\varnothing 6^{+0,3}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		13	$\varnothing 10,5^{+0,18}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		14, 15	$\varnothing 4,5^{+0,048}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		17, 18	M6-6H	Калібри-пробка різьбова M6
		19	15; 22,5; 30; 34	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
		21	M8-6H	Калібри-пробка різьбова M8
		24	M10x1,0-6H	Калібри-пробка різьбова M10x1,0
	2	27	$59^{+0,74}$ 	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01 Спеціальний
		30	$\varnothing 98,4_{-0,035}$ 	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01 Спеціальний
		32	$\varnothing 35^{+0,25}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
010	1	2	135^{+1}	Штангенциркуль ШЦЦ-1-250-0,01
		3	$\varnothing 22^{0,52}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		4, 5	45; 27	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
		8	G1/4-B	Калібри-пробка різьбова G1/4-B
	2	10	135^{+1}	Штангенциркуль ШЦЦ-1-250-0,01
		11	$\varnothing 28^{+0,62}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		12	$\varnothing 32^{+0,62}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		16	$\varnothing 15,88^{+0,05}$ $\varnothing 14,27^{+0,05}$	Калібр-пробки
		17	$\varnothing 12,7^{+0,05}$ $\varnothing 17,5^{+0,05}$	Калібр-пробки
		18	$\varnothing 17,5^{+0,05}$ $\varnothing 15,88^{+0,05}$	Калібр-пробки
		19, 21	113; 55	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
		23	3/4-16UNF-2B	Калібр-пробка різьбова 3/4-16UNF-2B
		24	7/8-14UNF-2B	Калібр-пробка різьбова 7/8-14UNF-2B
	3	26	133^{+1}	Штангенциркуль ШЦЦ-1-250-0,01
		30	60; 87,5; 104,5	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02

1	2	3	4	5
		34	133 ⁺¹	Штангенциркуль ШЦЦ-1-250-0,01
		35	Ø28 ^{+0,62}	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
		38	Ø10 ^{+0,05}	Калібр-пробка
	4	41	Ø15,88 ^{+0,05} Ø14,27 ^{+0,05}	Калібр-пробки
		42	Ø12,7 ^{+0,05} Ø17,5 ^{+0,05}	Калібр-пробки
		43	47,5; 51; 88	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
		44	3/4-16UNF-2B	Калібр-пробка різьбова ¾-16UNF-2B
		45	M12x1,0-7H	Калібри-пробка різьбова M12x1,0

Визначення припусків та операційних розмірів

Розрахунок припусків виконуємо для внутрішньої циліндричної поверхні 16 Ø32^{+0,039}, яка підлягає неодноразовій механічній обробці. Розрахунок виконуємо за методикою В.М. Кована.

Маршрут обробки даної поверхні: розфрезерування, розточування чистове, розточування тонке.

Визначаємо розрахунковий припуск за формулою:

$$2z_{i \min} = 2 \cdot (R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1})$$

Визначаємо розрахунковий розмір для кожного переходу за формулою:

$$d_{p \ i-1} = d_{p \ i} - 2z_{i \min}$$

Найменший граничний розмір визначаємо за формулою:

$$d_{\min \ i} = d_{\max \ i} - \delta_i$$

Найменше граничне відхилення розраховуємо за формулою:

$$2z_{\min \ i}^{\text{rp}} = d_{\max \ i} - d_{\max \ i-1}$$

Найбільше граничне відхилення розраховуємо за формулою:

$$2z_{\max \ i}^{\text{rp}} = d_{\min \ i} - d_{\min \ i-1}$$

Розраховані значення припусків та допусків для внутрішньої циліндричної поверхні 16 зведено до таблиці 3.13.

Таблиця 3.13

Розрахунок припусків на обробку внутрішньої циліндричної поверхні

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення припусків, мм	
	R_z	T	ρ	$2z_{\min}$	d_p	δ	$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}^{gp}$	$2z_{\max}^{gp}$
Заготовка	200	300	1200	-	27,959	0,62	27,34	27,96	-	-
Розфрезерування	50	50	84	3400	31,359	0,25	31,11	31,36	3,4	3,77
Розточування чистове	50	50	56	368	31,727	0,1	31,6	31,7	0,34	0,49
Розточування тонке	20	25	28	312	32,039	0,039	32	32,039	0,339	0,4
Всього:									4,076	4,66

Схему графічного розташування припусків і допусків для внутрішньої циліндричної поверхні $16 \varnothing 32^{+0,039}$ наведено на рисунку 3.7.

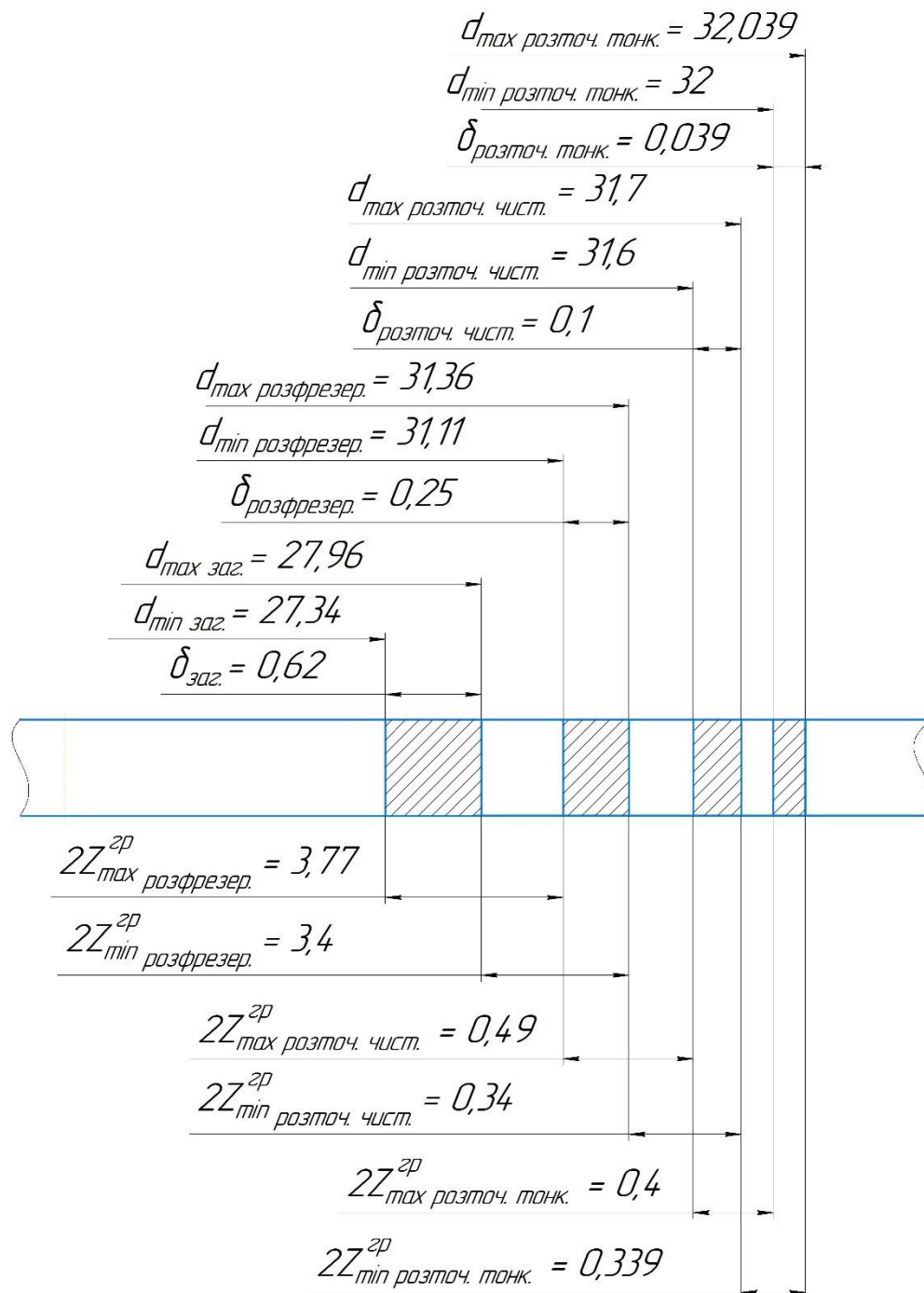


Рис. 3.7 Схема графічного розташування припусків і допусків для отвору $\varnothing 32^{+0,039}$

Припуски на решту поверхонь деталі центральний блок наведено в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14

Зведена таблиця припусків на обробку деталі центральний блок

№ поверхні	Найменування поверхні	Припуск	Допуск
1	2	3	4
1, 3	Торцева	2	1
2, 4	Торцева	2	1

1	2	3	4
5, 12	Торцева	2	0,74
6	Фаска	1	-
7, 9	Зовнішня циліндрична	2	0,06
8	Канавка	3,8	0,1
10	Зовнішня циліндрична	2	0,04
11	Фаска	1	-
13, 14	Площина	2	0,2
15	Фаска	1	-
16	Внутрішня циліндрична	2	0,04
17	Внутрішня циліндрична	2,2	0,33
18	Внутрішня циліндрична	3	0,3
19	Внутрішня циліндрична	2	0,25
20	Фаска	1	-
21	Фаска	1,6	-
22	Внутрішня циліндрична	4,25	0,058
23	Внутрішня різбова	0,75	-
24	Фаска	1,6	-
25	Внутрішня циліндрична	4	0,084
26	Внутрішня різбова	0,86	-
27	Внутрішня циліндрична	3	0,18
28	Фаска	1,6	-
29	Внутрішня циліндрична	4	0,084
30	Внутрішня різбова	0,86	-
31	Внутрішня циліндрична	3	0,18
32	Внутрішня циліндрична	3	0,18
33	Внутрішня циліндрична	11	0,52
34	Внутрішня циліндрична	5,75	0,084
35	Внутрішня різбова	0,82	-
36	Внутрішня циліндрична	3	0,18
37	Внутрішня циліндрична	3	0,18
38	Внутрішня циліндрична	7,25	0,62
39	Внутрішня циліндрична	16	0,62
40	Внутрішня конічна	1,55	0,1
41	Внутрішня циліндрична	0,81	0,05
42	Внутрішня різбова	0,775	-
43	Внутрішня циліндрична	0,79	0,05
44	Внутрішня циліндрична	7,15	0,05
45	Внутрішня циліндрична	3	0,18
46	Внутрішня циліндрична	3	0,18
47	Внутрішня циліндрична	5,25	0,52
48	Внутрішня циліндрична	2,4	0,05
49	Внутрішня циліндрична	6,35	0,05

1	2	3	4
50	Внутрішня циліндрична	3	0,18
51	Внутрішня циліндрична	3	0,18
52	Внутрішня циліндрична	4	0,62
53	Внутрішня конічна	1,75	0,1
54	Внутрішня циліндрична	1,46	0,05
55	Внутрішня різбова	0,9	-
56	Внутрішня циліндрична	0,8	0,05
57	Внутрішня циліндрична	7,94	0,05
58	Внутрішня циліндрична	3	0,18
59	Фаска	1	-
60	Внутрішня циліндрична	0,25	0,05
61	Внутрішня різбова	0,75	-
62	Внутрішня циліндрична	2	0,05
63	Внутрішня циліндрична	3	0,18
64	Внутрішня циліндрична	3	0,18
65	Фаска	1	-
66	Внутрішня циліндрична	3	0,18
67	Внутрішня різбова	1	-
68	Фаска	1,6	-
69	Внутрішня циліндрична	1,25	0,058
70	Внутрішня різбова	0,75	-
71	Внутрішня циліндрична	3	0,18
72	Внутрішня циліндрична	3	0,18
73	Внутрішня циліндрична	3	0,18
74	Внутрішня циліндрична	3	0,18
75	Фаска	1	-
76	Внутрішня циліндрична	2,25	0,048
77	Внутрішня різбова	0,75	-
78	Фаска	1	-
79	Внутрішня циліндрична	2,25	0,048
80	Внутрішня різбова	0,75	-

Визначення режимів різання

При розрахунку режимів різання необхідно звертати уваги на різні фактори такі, як: матеріали оброблюваної деталі та різального інструменту, вид обробки; досягаємі параметри точності та шорсткості поверхні; можливості обладнання.

Для обробки деталі центральний блок застосовуються прогресивні різальні інструменти світових виробників. При виборі режимів різання необхідно керуватися

рекомендованими значеннями режимів зазначених виробниками в каталогах інструментів.

Результати вибору та коригування режимів різання на операції механічної обробки представлено в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15

Режими різання на операціях механічної обробки деталі центральний блок

Номер		t, мм	S, мм/об S, мм/зуб	V, м/хв	n, об/хв	t _о , хв
операції	переходу					
1	2	3	4	5	6	7
005	2	1,5	0,3	120	1200	20,72
	3	0,5	0,2	120	1200	
	4	1,5	0,3	120	2400	
	5	0,5	0,2	120	2400	
	6	3,4	0,2	120	1200	
	7	1	0,2	120	1200	
	8	2	0,3	160	2400	
	9	1	0,3	120	1800	
	10	0,75	0,2	110	1100	
	11	0,25	0,15	110	1100	
	12	3	0,2	140	2800	
	13	0,5	0,25	120	3000	
	14	2,25	0,3	160	2400	
	15	2,25	0,3	160	2400	
	16	1	0,3	100	1200	
	17	0,75	0,15	110	1200	
	18	0,75	0,15	110	1200	
	19	3	0,2	140	2800	
	20	1,6	0,15	110	1200	
	21	1	0,1	100	1200	
	22	1,25	0,25	160	2800	
	23	1,6	0,15	110	1200	
	24	0,75	0,1	100	1200	
	26	1,5	0,3	120	1200	
	27	0,5	0,2	120	1200	
	28	1	0,3	120	2400	
	29	0,5	0,2	120	2400	
	30	0,5	0,15	120	2400	
	31	1	0,15	120	2400	
	32	2	0,2	120	1200	
010	2, 10, 26, 34	2	0,3	120	1100	42,5
	3	11	0,25	120	1730	
	4	3	0,2	140	2800	
	5	3	0,2	140	2800	

1	2	3	4	5	6	7
	6	2,75	0,2	140	3100	
	7	1	0,15	110	1200	
	8	0,75	0,1	100	1200	
	11	14	0,3	120	1350	
	12, 35	16	0,3	120	1200	
	13, 36	7	0,2	160	3000	
	14, 37	6	0,2	160	3100	
	15	7,5	0,2	160	2850	
	16, 41	1,75	0,15	140	2720	
	17, 42	2,75	0,15	140	2630	
	18	2,7	0,15	140	2700	
	19, 21	3	0,2	140	2800	
	23	0,75	0,1	100	1200	
	24	0,75	0,1	100	1200	
	27	4	0,25	120	3200	
	28	4,5	0,25	120	3300	
	29	1,6	0,1	100	1200	
	30	3	0,2	140	2800	
	31	0,75	0,1	100	1200	
	32	0,75	0,1	100	1200	
	38	5	0,2	160	3250	
	39	0,25	0,2	160	3250	
	40	1	0,1	100	1200	
	43	3	0,2	140	2800	
	44	0,75	0,1	100	1200	
	45	0,75	0,1	100	1200	

Технічне нормування операцій

Технологічний процес механічної обробки деталі центральний блок складається з двох операцій механічної обробки, які виконуються на горизонтально-фрезерних з ЧПУ верстатах з поворотним столом HAAS EC 400.

Час циклу автоматичної роботи верстату по програмі складається із основного часу автоматичної роботи верстата і машинно-допоміжного часу:

$$T_{\text{ца}} = T_o + T_{\text{мв}}$$

Машинно-допоміжний час визначається за формулою:

$$T_{\text{мв}} = T_{\text{мв.ін.}} + T_{\text{мв.х}},$$

де: $T_{\text{мв.ін.}}$ - машинно-допоміжний час на автоматичну зміну інструменту, хв.;

$T_{\text{мв.х}}$ - машинно-допоміжний час на виконання автоматичних ходів і технологічні паузи.

Машинно-допоміжний час на автоматичну зміну інструмента, визначаємо за формулою:

$$T_{\text{мв.ін.}} = K_{\text{п}} \cdot T_{\text{ін}} + T_{\text{іф}}$$

де $K_{\text{п}}$ - кількість змін інструмента;

$T_{\text{ін}}$ - час повороту інструментального магазину на одну позицію;

$T_{\text{іф}}$ - час фіксації.

Машинно-допоміжний час на виконання автоматичних ходів і технологічні паузи визначаємо за формулою:

$$T_{\text{мв.х}} = \sum_{j=1}^m \frac{L_{\text{хх}j}}{S_{\text{мх}}}$$

де: $L_{\text{хх}j}$ - довжина шляху j -тої ділянки автоматичного допоміжного ходу;

$S_{\text{мх}}$ - хвилинна подача прискореного ходу;

$j - 1, 2, \dots, m$ - число ділянок автоматичних допоміжних ходів.

Штучний час визначаємо за формулою:

$$T_{\text{ш}} = (T_{\text{ца}} + T_{\text{д}}) \cdot \left(1 + \frac{a_{\text{тех.}} + a_{\text{орг.}} + a_{\text{від.}}}{100}\right)$$

Допоміжний час:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{уст}} + T'_{\text{уст}} + T_{\text{в.оп.}} + T_{\text{вим}},$$

де: $T_{\text{уст}}$ - час на встановлення та зняття деталі;

$T'_{\text{уст}}$ - час на переустановку деталі;

$T_{\text{в.оп.}}$ - час пов'язаний з операцією;

$T_{\text{вим}}$ - час на контрольні виміри, вміщує час на вимірювання штангенциркулем, спеціальним вимірювачем, калібр-пробкою.

Час на організацію і технічне обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби приведений у відсотках від оперативного часу.

$$a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{від}} = 9\%$$

Результати вибору та розрахунків норм часу представлено в таблиці 3.16.

Норми часу на обробку деталі центральний блок

Номер операції	t_o , хв.	T_{MB} , хв.	t_d , хв.	$t_{обсл}$, хв.		$t_{пер}$, хв.	$t_{шт}$, хв.	$T_{пз}$, хв.	$t_{шт-к}$, хв.
				$t_{т.о.}$	$t_{о.о.}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005	20,72	5,5	3,6	4			33,82	32	33,85
010	42,5	7,2	4	4			57,5	32	57,53

3.4. Висновки

Розроблений технологічний процес механічної обробки деталі центральний блок доклевелера забезпечує задані показники по точності та якості обробки поверхонь. Він складається з двох операцій механічної обробки на яких застосовуються горизонтально-фрезерні з ЧПУ верстати моделі HAAS EC 400. Даний верстат має поворотний стіл, що дозволило виконати обробку всіх поверхонь деталі за дві операції. На першій операції механічної обробки після обробки однієї з поверхонь деталі стіл із деталлю повертається на 180^0 , що дає змогу виконати обробку протилежної поверхні центрального блоку доклевелера. На другій операції деталь оброблюється з чотирьох сторін, що забезпечено поворотом столу із деталлю на 90^0 після обробки кожної поверхні. Деталь центральний блок доклевелера має глибокі отвори, які оброблюються свердлінням.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛА ДЛЯ ОБРОБКИ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ЦЕНТРАЛЬНОГО БЛОКУ

4.1. Вибір напрямків удосконалення конструкції свердла

Виконавши аналіз конструкцій спіральних сверدل в розділі 2, визначено, що покращення виведення стружки із зони обробки при свердлінні глибоких отворів відбувається за рахунок її подрібнення. Можна виділити такі основні конструктивні особливості свердл:

- канавки на передній поверхні, що покращують подрібнення стружки за рахунок збільшення згинального моменту стружки при її контакті із стінками канавки;
- канавки на головній різальній кромці, що забезпечує подрібнення стружки по довжині;
- поділ головної різальної кромки на дві ділянки, за рахунок різного кута заточування на кожній з них, що призводить до зменшення товщини та довжини зрізаємої стружки;
- канавки гвинтової форми вздовж передньої поверхні свердла, які надають стружці згинального моменту;
- канавки із стрижнями або штифтами, які утворюють бар'єри, при контакті із якими, стружка подрібнюється.

З метою покращення подрібнення стружки при свердлінні глибоких отворів, в роботі вирішено удосконалити конструкцію свердла за допомогою різних кутів заточування його головної різальної кромки та виготовлення канавок на передній поверхні.

4.2. Проектування конструкції свердла

На 30 переході позиції 3 010 горизонтально-фрезерної з ЧПУ операції, що виконується на Горизонтально-фрезерному з ЧПУ верстаті моделі HAAS EC 400 виконується свердління глибокого отвору 27 (рис. 3.6) $\varnothing 6^{+0,18}$ Ra 6,3 довжиною 60 мм.

Для виконання даного переходу необхідно спроектувати свердло із описаними в пункті 4.1 конструктивними особливостями.

Свердло виготовлене із твердого сплаву ВК8. Діаметр свердла приймаємо рівним діаметру оброблюваного ним отвору $D = 6^{+0,18}$ мм.

Кутів при вершині буде два так як головна різальна кромка розділена на дві ділянки, кожна з яких має різний кут заточування. При цьому, має витримуватись співвідношення довжин головних різальних кромки $l_1 \leq l_2$ [7]. Приймаємо:

$$2\varphi_1 = 140^\circ;$$

$$2\varphi_2 = 125^\circ$$

Передній кут $\gamma = 10^\circ$, задній кут $\alpha = 13^\circ$.

Кут нахилу поперечної кромки $\psi = 50 - 55^\circ$.

Кут нахилу гвинтової лінії $\omega = 40^\circ$.

Розраховуємо параметри канавки, що забезпечить ламання стружки.

Кут канавки – кут, що визначає положення канавки на передній поверхні відносно головної різальної кроки, $\gamma = 25^\circ$ (рис. 4.1).

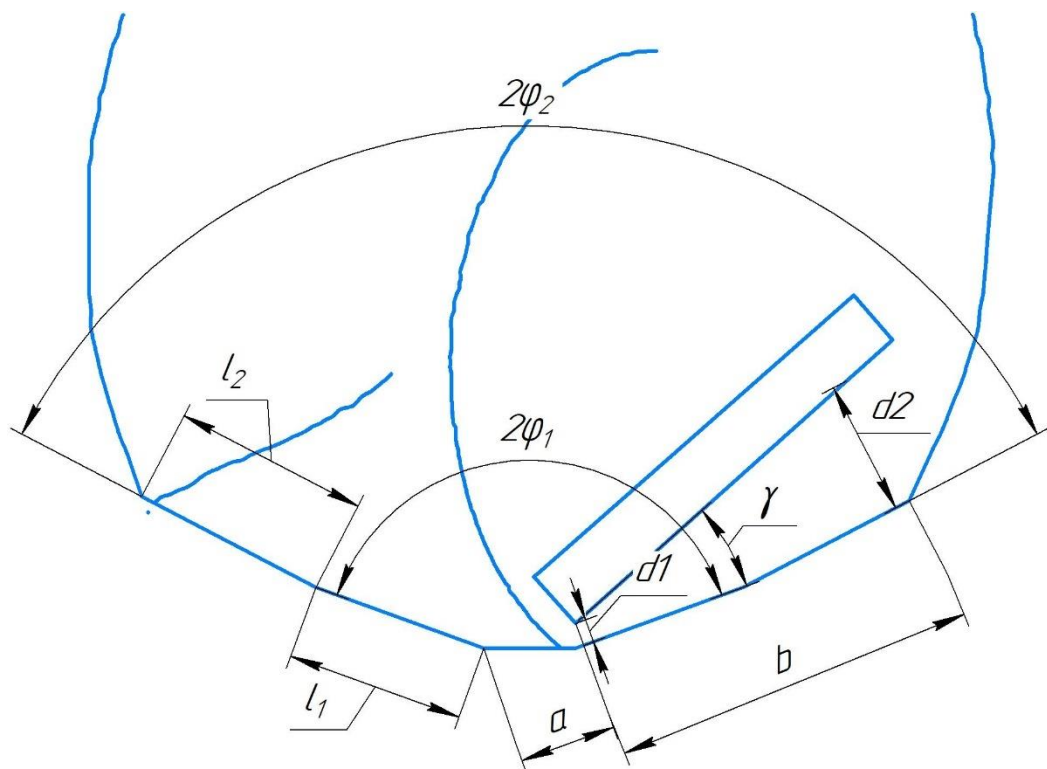


Рис. 4.1. Геометрія свердла

Параметр $d1$ – це відстань від переднього краю канавки до внутрішнього кута різальної кромки. Відстань $d2$ – це відстань від переднього краю канавки до зовнішнього кута різальної кромки.

$$d1 = a \cdot \sin \gamma = 1 \cdot \sin 25^\circ = 0,5 \text{ мм}$$

$$d2 = b \cdot \sin \gamma = 3,3 \cdot \sin 25^\circ = 1,55 \text{ мм}$$

Відповідно до [3], канавка для подрібнення стружки визначається наступними геометричними параметрами (рис. 4.2): шириною, висотою, радіусом та відстанню від головної різальної кромки.

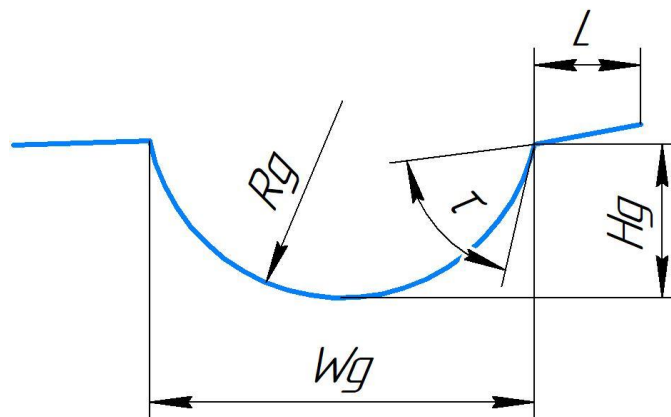


Рис. 4.2. Геометрія канавки

Радіус канавки визначається за формулою:

$$R_g = \frac{W_g}{2 \cdot \sin \tau} = \frac{1}{2 \cdot \sin 55^\circ} = 1,22$$

Відстань L , яку долає стружка до того, як увійде в канавку визначається за формулою:

$$L = \frac{d1 + d2}{2} = \frac{0,5 + 1,55}{2} = 1,025$$

Креслення розробленого свердла представлено на рисунку 4.3.

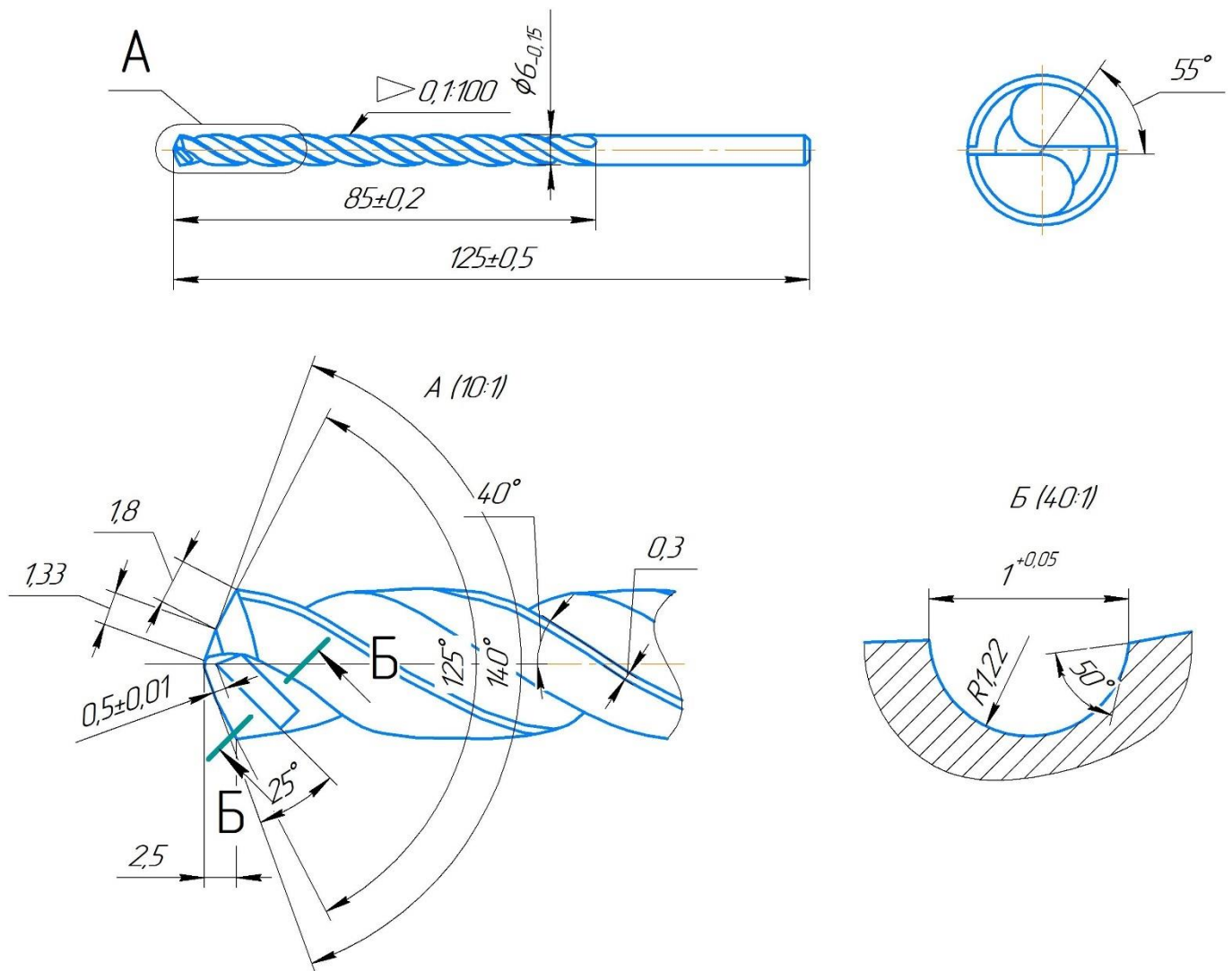


Рис. 4.3. Креслення свердла

4.3. Висновки

Виконавши аналіз конструкцій свердл, які забезпечують подрібнення стружки, запропоновано конструкцію свердла, головні різальні кромки якого заточені під різними кутами, що забезпечує зменшення товщини та ширини стружки та додатково дане свердло забезпечене канавками на передніх поверхнях. Подрібнення стружки при її контакті із поверхнею канавки покращить процес виведення стружки із зони обробки та мінімізує негативний вплив тертя стружки об щойно оброблену поверхню отвору.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛА

5.1. Загальні вихідні дані

Для вирішення питання про економічну ефективність нової конструкції свердла в якості бази для порівняння приймаємо спосіб свердлення глибоких отворів на спеціальному верстаті.

Розроблена конструкція свердла має ряд відмінностей від стандартного свердла, а саме:

- різні кути заточування головної різальної кромки;
- виготовлення канавок на передній поверхні.

За рахунок необхідності спеціального заточування інструменту трудомісткість його виготовлення збільшується. Але, завдяки прорізанам на передній поверхні свердла канавкам, відбувається подрібнення стружки, та зручне її виведення із зони різання, що дозволяє уникнути її забивання та пакетування. Таким чином, іще однією перевагою конструкції проектного свердла стало зростання його стійкості порівняно з базовим інструментом, що вплинуло на зменшення експлуатаційних витрат у споживача.

Розрахунок проведемо для свердла $\varnothing 6$ мм, загальною довжиною 125 мм і довжиною робочої частини 85 мм.

Загальні техніко-економічні показники базового та проектного варіантів зведено до табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та нового варіантів

№ п/ п	Показник	Одиниця	Варіанти	
			базовий	проект
1.	Програма випуску деталей	шт./рік	15000	15000
2.	Штучний час обробки	хв.	2,9	2,9
3.	Економічна стійкість інструменту	хв.	45	60
4.	Оптова ціна свердла	грн.	2570,0	-

5.2 Визначення витрат на підготовку виробництва

5.2.1 Витрати на проектування свердла визначаємо за формулою:

$$B_{пк} = H_{op} \cdot T_{кон} \cdot Z_{сз}^к \cdot \left(1 + \frac{\kappa_{\delta}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_{\epsilon}, \quad (5.1)$$

де H_{op} – кількість найменувань оригінальних деталей, які входять до конструкції інструменту (конструкція є монолітною, тобто $H_{op}=1$ шт.);

$T_{кон}$ – сумарна кількість годин на розробку усіх видів конструкторської документації, яка в середньому припадає на одне найменування оригінальних деталей, нормо-год.;

$Z_{сз}^к$ – середньогодинна заробітна плата конструктора, грн/год.;

κ_{δ} – додаткова заробітна плата конструктора, %;

B_c – відрахування на соціальні потреби (ЄСВ) від заробітної плати конструкторів, %;

H_{ϵ} – накладні витрати, грн. (визначаються в процентах від основної заробітної плати конструктора).

$$B_{пк} = 1 \cdot 18,9 \cdot 101,92 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) + 1 \cdot 18,9 \cdot 101,92 \cdot \frac{45}{100} = 3652,67 \text{ грн.}$$

5.2.2 Витрати на технологічну підготовку виробництва інструменту:

$$B_m = H_{op} \cdot T_{тех} \cdot Z_{сз}^м \cdot \left(1 + \frac{\kappa_{\delta}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_{\epsilon}, \quad (5.2)$$

де $T_{тех}$ – сумарна трудомісткість технологічних робіт, які припадають на одне найменування оригінальних деталей, нормо-год.;

$Z_{сз}^м$ – середньогодинна заробітна плата технолога, грн/год.

$$B_{т} = 1 \cdot 21,2 \cdot 98,25 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) + 1 \cdot 21,2 \cdot 98,25 \cdot \frac{55}{100} = 3940,85 \text{ грн.}$$

5.3 Визначення собівартості та оптової ціни інструменту

5.3.1 Після визначення трудомісткості виготовлення проектного свердла розраховуємо:

а) основну заробітну плату виробничих робітників:

$$Z_{op} = \sum_{i=1}^n C_{ri} \cdot T_i, \quad (5.3)$$

де n – кількість i -тих видів робіт;

C_{ri} – середньогодинна тарифна ставка робітників, які виконують i -й вид робіт з урахуванням умов праці, грн.

Так, основна заробітна плата виробничих робітників на механічних роботах:

$$Z_{op} = 1,8 \cdot 92,015 = 165,63 \text{ грн.}$$

б) витрати на утримання та експлуатацію обладнання:

$$B_o = \sum_{i=1}^n Z_{opi} \cdot \frac{P_{ppi}}{100}, \quad (5.4)$$

де P_{ppi} – процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

в) цехові витрати:

$$B_{цех} = \sum_{i=1}^n Z_{opi} \cdot \frac{P_{цpi}}{100}, \quad (5.5)$$

де $P_{цpi}$ – процент цехових витрат по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

Для механічних робіт:

$$B_o = 165,63 \cdot \frac{320}{100} = 530,01 \text{ грн.};$$

$$B_{цех} = 165,63 \cdot \frac{240}{100} = 397,50 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки даних статей на інших роботах, результати заносимо до табл. 5.2.

Трудомісткість виготовлення та окремі види витрат на виготовлення свердла

Види робіт	Трудомісткість робіт н-год	Середній розряд	Середньогодинна тарифна ставка робітників, грн/год	Основна заробітна плата робітників $З_{ор}$, грн.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання, B_o , грн.		Загально- цехові витрати $K_{цех}$, грн.	
					%	грн.	%	грн.
Механічні	1,8	4	92,015	165,63	320	530,01	240	397,50
Термічні	0,5	3	102,717	51,36	385	197,73	282	143,80
Всього	2,3	-	-	216,99	-	7278,74	-	541,31

Повну собівартість свердла розраховуємо за статтями витрат за допомогою отриманих на підприємстві кошторисних та звітних калькуляцій базових конструкцій за формулою:

$$C_{пов} = M_o + M_d + E_{тех} + T_p + П_{тех} + З_{ор} + З_{др} + B_c + З_{щ} + B_o + B_{цех} + B_{зав} + B_{ін} + B_{пв}, \quad (5.8)$$

де M_o – витрати на основні матеріали, грн. Розраховуємо за формулою:

$$B_{mo} = B_{чор} \cdot Ц_m - B_{відх} \cdot Ц_{відх}, \quad (5.6)$$

де $B_{чор}$ – чорнова маса деталі, кг;

$Ц_m, Ц_{відх}$ – відповідно ціна матеріалу (сталь ВК8) та відходів, грн./кг;

$$B_{mo} = 0,06 \cdot 2500,0 - (0,06 - 0,03) \cdot 375,0 = 138,75 \text{ грн.}$$

M_d – витрати на допоміжні матеріали, грн.;

T_p – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

$E_{тех}, П_{тех}$ – енергія та паливо на технологічні цілі, грн.;

$З_{др}$ – допоміжна заробітна плата виробничих робітників, грн.;

B_c – єдиний соціальний внесок, грн.;

$З_{щ}$ – відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення та інші спеціальні витрати, грн.;

$K_{зав}$ – загальнозаводські витрати, грн.;

$B_{ін}$ – інші виробничі витрати, грн.;

$K_{пв}$ – позавиробничі витрати, грн.

Розрахунок собівартості інструменту зводимо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Повна собівартість та оптова ціна свердла

№ з/п	Стаття калькуляції	Коротке позначення	Метод розрахунку, джерело інформації	Результат, сума, грн.
1.	Матеріали основні	M_o		138,75
2.	Матеріали допоміжні	M_d	6,0% від M_o	8,33
3.	Транспортно-заготівельні витрати	T_b	5% від $(M_o + M_d)$	6,36
3.	Паливо та енергія на технологічні цілі	$P_{тех}, E_{тех}$	75,8% від $З_{ор}$	164,04
5.	Всього матеріальні витрати			306,90
6.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{ор}$	табл. 5.2	216,99
7.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{др}$	10% від $З_{ор}$	21,70
8.	Відрахування в фонд соціального страхування	$B_{сс}$	22% від $(З_{ор} + З_{др})$	52,51
9.	Відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення	$З_{уп}$	8,4% від $З_{ор}$	18,23
10.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	B_o	табл. 5.2	727,74
11.	Цехові витрати	$K_{цех}$	табл. 5.2	541,31
12.	Загальнозаводські витрати	$K_{зав}$	180% від $З_{ор}$	390,57
13.	Інші виробничі витрати	$B_{ін}$	1,4% від $З_{ор}$	3,04
14.	Виробнича собівартість	$C_{вир}$	$\Sigma(7 \div 15)$	2278,98
15.	Позавиробничі витрати	$K_{пв}$	1,8% від $C_{вир}$	41,02
16.	Повна собівартість	$C_{нов}$	$C_{вир} + K_{пв}$	2320,00
17.	Прибуток	Π_n	20% від $C_{нов}$	464,00
18.	Оптова ціна підприємства	C	$C_{нов} + \Pi_n$	2784,00

5.3.2 Оптову ціну інструменту розраховуємо за формулою:

$$C_{опт} = C_{нов} + \Pi_n, \quad (5.7)$$

де Π_n – нормативний прибуток, грн.

$$\Pi_n = \frac{P_c \cdot C_{нов}}{100}, \quad (5.8)$$

P_c – встановлений рівень рентабельності виробу, %.

$$\Pi_{\text{н}} = \frac{20 \cdot 2320,0}{100} = 464,00 \text{ грн.}$$

$$\Pi_{\text{онт}} = 2320,00 + 464,00 = 2784,0 \text{ грн.}$$

5.4 Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)

Оскільки штучний час обробки отвору у порівнюваних варіантах співпадає, розрахунок експлуатаційних витрат виконуємо для статті «Витрати на експлуатацію ріжучого інструменту» за формулою:

$$B_{ip} = \frac{(S_u + p \cdot S_{\text{пер}}) \cdot \gamma \cdot T_{\text{нор}}}{t_e (p + 1)} K_{\text{вт}}, \quad (5.9)$$

де S_u – первісна вартість ріжучого інструменту, грн.;

p – кількість переточувань ріжучого інструменту до повного зносу по лімітуючому розміру ріжучої грані;

$S_{\text{пер}}$ – вартість однієї переточувань, грн.;

γ – питома значення машинного часу роботи обладнання в загальному варіанті його роботи;

t_e – економічна стійкість інструменту, хв.;

$K_{\text{вт}}$ – коефіцієнт обліку втрат інструменту.

$$B_{ip}^{\text{б}} = \frac{(2570,0 + 60 \cdot 17,8) \cdot 0,6 \cdot 2,9}{45 \cdot (60 + 1)} \cdot 1,25 = 2,883 \text{ грн.};$$

$$B_{ip}^{\text{нр}} = \frac{(2784,0 + 60 \cdot 18,5) \cdot 0,6 \cdot 2,9}{60 \cdot (60 + 1)} \cdot 1,25 = 2,314 \text{ грн.}$$

5.5 Розрахунок показників економічної ефективності

5.5.1 Річний економічний ефект, який отримує виробник свердла удосконаленої конструкції розраховуємо за формулою:

$$E_{\text{рв}} = (\Pi_{\text{онт.нр}} - C_{\text{нов.нр}}) \cdot \Pi_{\text{с}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{с}}, \quad (5.10)$$

де $\Pi_{\text{онт.нр}}$, $C_{\text{нов.нр}}$ – відповідно оптова ціна та повна собівартість проектного інструменту, грн.;

Π_e – програма виробництва інструменту, шт./рік;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K_e – додаткові капітальні витрати у виробника, грн.

$$K_e = B_{нк} + B_m = 3652,67 + 3940,85 = 7593,52 \text{ грн.}, \quad (5.11)$$

де $B_{нк}$, B_m – відповідно, вартість конструкторської та технологічної підготовки виробництва, грн.

$$E_{pv} = (2784,0 - 2320,0) \cdot 50 - 0,16 \cdot 7593,52 = 22000 \text{ грн.}$$

5.5.2 Річний економічний ефект, який отримує підприємство-споживач, розрахуємо за формулою:

$$E_{p.cn} = (B_e^{\delta} - B_e^{np}) \cdot N_{\delta} - E_n \cdot K_{cn}, \quad (5.12)$$

де K_{cn} – додаткові капітальні витрати у споживача, грн.

$$K_{cn} = \Pi_{ин}^{np} \cdot K_{ин}^{np} - \Pi_{ин}^{баз} \cdot K_{ин}^{баз}, \quad (5.13)$$

де $\Pi_{ин}^{np}$, $\Pi_{ин}^{баз}$ – вартість інструменту відповідно в проектному та базовому варіантах, грн;

$K_{ин}^{np}$, $K_{ин}^{баз}$ – потреба в інструменті відповідно в проектному та базовому варіантах.

Розрахуємо річну потребу в інструменті за формулою:

$$K_i = \frac{N_{\delta} \cdot T_{нор} \cdot \gamma \cdot \kappa_{вт}}{t_e \cdot (1 + p)}, \quad (5.14)$$

Потреба у базовому інструменті:

$$K_{ин}^{баз} = \frac{15000 \cdot 2,9 \cdot 0,6 \cdot 1,25}{45 \cdot (60 + 1)} = 12 \text{ шт.}$$

Потреба у свердлах в проектному варіанті:

$$K_{ин}^{np} = \frac{15000 \cdot 2,9 \cdot 0,6 \cdot 1,25}{60 \cdot (60 + 1)} = 9 \text{ шт.}$$

$$K_{cn} = 2784 \cdot 9 - 2570 \cdot 12 = -5784 \text{ грн.}$$

$$E_{p.cn} = (2,883 - 2,314) \cdot 15000 - 0,16 \cdot (-5784) = 9460 \text{ грн.}$$

5.5.3 Строк окупності додаткових капітальних вкладень у виробника свердла:

$$T_{\text{ок.в}} = \frac{K_{\text{в}}}{(\Pi_{\text{опт.пр}} - C_{\text{пов.пр}}) \cdot \Pi_{\text{в}}} = \frac{7593,52}{(2784,0 - 2320,0) \cdot 50} = 0,33 \text{ року} = 4 \text{ міс.} \quad (5.15)$$

У підсумку складаємо зведену таблицю техніко-економічних показників проекту (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проектного варіантів

№ п/п	Показники	Одини ця	Базовий варіант	Проект	Зміна, % (+,-)
1.	Потреба в інструменті:	шт./рік	12	9	-25,0
2.	Програма виробництва деталей	шт./рік	15000	15000	—
3.	Штучний час обробки деталі	хв.	2,9	2,9	—
4.	Повна собівартість свердла	грн	—	2320,0	—
5.	Оптова ціна свердла	грн	2570	2784	+8,3
6.	Витрати на експлуатацію ріжучого інструменту	грн.	2,883	2,314	-19,7
9.	Капітальні витрати на підготовку виробництва	грн.	—	7593,52	—
10.	Річний економічний ефект:				
	- у виробника	грн.	—	22000	—
	- у споживача	грн.	—	9460	—
11	Строк окупності додаткових капітальних витрат у виробника	міс.	—	4	—

5.6. Висновки

З проведених розрахунків видно, що річний економічний ефект удосконаленої конструкції свердла склав: для виробника 22000 грн, для споживача 9460 грн. Термін окупності додаткових капітальних вкладень складає 4 місяці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технології обробки центрального блоку доклевелера з дослідженням обробки глибоких отворів» виконано дослідження обробки глибоких отворів свердлінням та зосереджено увагу на покращенні подрібнення стружки під час обробки.

В роботі виконано аналіз способів подрібнення стружки під час свердління та аналіз свердл, що за рахунок своїх конструктивних особливостей покращують подрібнення стружки.

Розроблено технологію обробки центрального блоку доклевелера, вибрано металорізальні верстати, затискні, допоміжні та вимірювальні пристрої, різальні інструменти, розраховано припуски, режими різання та норми часу.

Визначено шляхи покращення подрібнення стружки при свердлінні глибоких отворів. Розроблено удосконалену конструкцію свердла для глибокого свердління отворів, яка здатна подрібнювати стружку та покращувати процес її відведення із зони обробки.

Виконано необхідні економічні розрахунки.

Всі прийняті технічні рішення підтверджено відповідними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ackroyd, B. Reducing the Need for Cutting Fluids in Drilling by Means of Modulation Assisted Drilling / B. Ackroyd, W. D. Compton, S. Chandrasekar // ASME 1998 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. November 15–20, 1998, California, USA. – 1998. – Vol. 1053. – P. 405-411.
2. Ogawa M. Effects of Chip Splitting Nicks in Drilling / M. Ogawa, K. Nakayama // CIRP Annals. 1985. – Vol. 34. – Issue 1. – P. 101-104.
3. Sahu S.K. Effect of groove-type chip breakers on twist drill performance / S.K. Sahu, O. B. Ozdoganlar, R.E. DeVor, Sh.G. Kapoor // International Journal of Machine Tools & Manufacture. 2003. – Vol. 43. – P. 617–627.
4. Burhanudin. Splitting nicks effect on cutting lips twist drill to spindle torque, chip morphology and surface roughness on S45C drilling process / Burhanudin, Tri Widodo Besar Riyadi; Agus Jamaldi; Ign. Henry Adi Nagoro // 3RD Borobudur International Symposium On Science And Technology 2021. – Magelang, Indonesia: 2023. – Vol. 2706. – Issue 1.
5. Bain G.J. Effect of EDMed rake face grooves on the chip breaking capability of twist drills during deep hole drilling of Al 6061 aluminum alloy / G.J. Bain, D. Samuel Raj // Materials and Manufacturing Processes. 2022. – Vol. 37. – Issue 9. – P. 1052-1072.
6. Nath Ch. Obstruction-Type Chip Breakers for Controllable Chips and Improved Cooling/Lubrication during Drilling – A Feasibility Study / Ch. Nath, Th. Kurfess // 44th Proceedings of the North American Manufacturing Research Institution of SME. 2016. – Vol. 5. – P. 375–385.
7. A kind of double tapered angle chip-breaking drill bit. Patent of China. CN106216743A, 2016. – 6 p.
8. Drill bit with chip breaker groove three-edge drill tip. Patent of China. CN214488963U, 2021. – 7 p.
9. Spiral-groove drill bit with chip breaker groove. Patent of China. WO2024260113A1, 2024. – 29 p.
10. Polycrystalline diamond drill bit with laser cutting chip breaker. Patent of South Korea. KR20180096654A, 2018. – 10 p.
11. A kind of more rib pointed drills. Patent of China. CN209614355U, 2019. – 7 p.

12. Twist drill with main cutting edge and asymmetric chip dividing grooves in circumference. Patent of China. CN211539621U, 2019. – 6 p.
13. Active-type chip-breaking drill bit. Patent of China. CN101716691A, 2010. – 7 p.
14. Bronis M. Drilling Strategies to Improve the Geometrical and Dimensional Accuracy of Deep through Holes Made in PA6 Alloy / M. Bronis, E. Miko, K. Nozdrzykowski // MDPI Journal? 2023. – Vol. 16. – Issue 1. – 16 p.
15. Biermann D. Aspects in Deep Hole Drilling of Aluminium Cast Alloy Using Twist Drills and MQL / D. Biermann, I. Iovkov, H. Blum, A. Rademacher, K. Taebi, F.T. Suttmeier, N. Klein // 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2012. – Vol. 3. – P. 245 – 250.
16. Wegert R. Effects on surface and peripheral zone during single lip deep hole drilling / R. Wegert, V. Guskib, S. Schmauder, H.-Ch. Möhring // 5th CIRP CSI 2020. – Elsevier B.V.: 2020. – Vol. 87. – P. 113–118.
17. Heinemann R. A New strategy for tool condition monitoring of small diameter twist drills in deep-hole drilling / R. Heinemann, S. Hinduja // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2012. – Vol. 52. – P. 69–76.
18. Cui X. Effect of Groove-type Chip Breakers in Deep Hole Drilling of 42CrMo / X. Cui, Zh. Li, Q. Pei, H. Liu, W. Zhang, J Yu // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. – Vol. 688.
19. Oezkaya E. Experimental studies and FEM simulation of helical-shaped deep hole twist drills / E. Oezkaya, S. Michel, D. Biermann // Production Engineering, 2018. – Vol. 12. – P. 11–23.
20. Volz M. Lateral Vibrations in Deep Hole Drilling Due to Land Width Variation / M. Volz, E. Abele, M. Weigold // Journal Manufacturing and materials processing, 2020. – Vol. 4. – Issue 28. – 14 p.
21. Skibinskyi, O. I. A Novel Design of Cutting Tool for Efficient Finishing of G-Rotors / O. I. Skibinskyi, A. O. Hnatiuk // Advances in Gear Theory and Gear Cutting Tool Design / [editors : S. P. Radzevich, M. Storchak]. – Cham, Switzerland: Springer, 2022. – P. 181-203.
22. Валявський, І. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навч. посіб. / І. А. Валявський, О. В. Лисенко, І. А. Лисенко ; М-во освіти і науки

- України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 281 с.
- 23.Боков В.М. Технологія розмірної обробки дугою. Історичний нарис, верстати: навч. посібник. — Кропивницький, ПП «Ексклюзив-Систем», 2020. — 316 с.
- 24.Свяцький, В.В. Комп'ютерне моделювання процесу прямого пресування через різні профілі матричних лійок / В.В. Свяцький, О.В. Скрипник, С.В. Конончук // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. - Вип. 3 (34). - С. 3-11.
- 25.Shcherbyna K. Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks / K. Shcherbyna, A. Hrechka, V. Mazhara, T. Diachenko // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. — Кіровоград: КНТУ, 2020. — Вип.50. — С.159-164.
- 26.Годунко М.О. Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою / М.О. Годунко, О.А. Кислун, В.А. Мажара, В.К. Щербина, Р.А. Кравченко, В.В. Ключкін // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7 (38). — С. 27-33.
- 27.Скібінський О.І. Синтез профілю зубчатих коліс малошумного шестеренного насоса з низькою пульсацією / О.І. Скібінський, А.О. Гнатюк, М.О. Годунко, Д.В. Богатирьов, В.М. Селехова // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7 (38). — С. 43-50.
- 28.Модульно-параметричний принцип розробки проектів шестеренних гідравлічних машин. / Апаракін А.Р. // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7 (38). — С. 51-58.
- 29.Щербина К.К. Динамічний аналіз кільково-клинового хону в зоні малих переміщень / К.К. Щербина, В.А. Мажара, Д.Р. Торчілов, С.М. Заїка, В.М. Масляніков / Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. — Хмельницький: ХНУ, 2024. — Т. 337. — Вип. 3 (2). — С. 250-254.

- 30.Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єрьомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.
- 31.Мажара В.А. Система автоматизованого проектування технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
- 32.Сіса О.Ф. Удосконалення технології виготовлення зразків із ливарної високоміцної сталі 110Г13Л для металографічних досліджень та випробувань / О.Ф. Сіса, В.Я. Мірзак, В.В. Пукалов, О.С. Довжук, Д.С. Тупаленко // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 24-35.
- 33.Щербина, К., Мажара, В., Торчілов, Д., Заїка, А., & Масляніков, В. (2025). Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону з гвинтовими канавками. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 349 (2), 493-499.
- 34.Skibinskyi O.I., Hnatiuk A.O. Research on kinematics of contact interaction of cycloidal profiles in gerotor gearing / Skibinskyi O.I., Hnatiuk A.O. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu . – Vol. 6. – 2017. – P. 82-89.
- 35.Гнатюк А. О. Теоретичні та експериментальні дослідження показників шорсткості профілю цівкового колеса героторної пари, що забезпечуються шліфуванням в умовах обкату / А. О. Гнатюк, О. І. Скібінський, А. М. Кириченко // Mechanics and Advanced Technologies. – К. : НТУУ «КПІ», 2018. – № 1 (82). – С. 12-19.
- 36.Мірзак В. Я. Моделювання показників міцності механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп» із застосуванням метода скінченних елементів / В. Я. Мірзак, В. М. Боков // Техніка в сільськогосподарському виробництві,

- галузеve машинобудування, автоматизація : збір. наук. праць. – Кіровоград : КНТУ, 2014. – Вип. 27. – С. 3–12.
37. Мірзак В. Я. Вплив механічного компенсатора похибок на якість тонколистового розділового штампування / В. Я. Мірзак, В. М. Боков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 6/7 (78). – С. 10–15.
38. Мірзак В. Я. Принцип динамічного підстроювання як спосіб під-вищення якості тонколистового розділового штампування / В. Я. Мірзак, В. М. Боков / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 46. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 245–258.
39. Bharatish G. Optimisation of gun drill tool parameters for minimised vibration during deep hole drilling process / G. Bharatish // Academic journal of manufacturing engineering, 2023. – Vol. 21. – Issue 2. – P. 70-79.
40. Felinks N. Investigation into deep hole drilling of austenitic steel with advanced tool solutions / T. Rinschede, D. Biermann, D. Stangier, W. Tillmann, M. Fu, H. Abrahams // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2022. – Vol. 118. P. 1087–1100.
41. Hung-Chua N. Torque Prediction In Deep Hole Drilling: Artificial Neural Networks Versus Nonlinear Regression Model / N. Hung-Chua, H. Nam-Nguyenc, V. Du-Nguyenb, D. Binh-Nguyena // Applied artificial intelligence, 2025. – Vol. 39. - Issue 1. – 19 p.