

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ
ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ Юрій
ДАНИЛЬЧЕНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2025р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Конструювання та дизайн машин»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему Свердло збирне для трикутних отворів

Виконав студент групи _____

IV курсу, групи МІ12

Кравченко Євгеній Вячеславович

_____ (прізвище ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Керівник

Красновид Дмитро

Олександрович к.т.н., доц.

_____ (вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

КОНСУЛЬТАНТИ:

РЕЦЕНЗЕНТ:

_____ (посада, наукова ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект бакалавра		
2	A4	ДП.МІ12.01.000 ПЗ	Пояснювальна записка	71	
3	A3	ДП.МІ12.01.000 СК	Свердло збірне для трикутних отворів	1	
4	A4	ДП.МІ12.01.000 С	Специфікація до складального креслення	1	
5	A3	ДП.МІ12.01.001	Державка	1	
6	A3	ДП.МІ12.01.002	Лезо інструмента	1	
7	A4	ДП.МІ12.01.003	Ескіз операції 010 Токарна	1	
8	A4	ДП.МІ12.01.004	Ескіз операції 020 Фрезерна	1	
9	A4	ДП.МІ12.01.005	Ескіз операції 060 Заточувальна	1	
10	A3	ДП.МІ12.01.006 СК	Токарний патрон	1	
11	A4	ДП.МІ12.01.006 С	Специфікація до складального креслення	1	

				ДП.МІ12 000.ПЗ	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Кравченко				Лист
Керівн.	Красновид			1	Листів
Консульт.					1
Н/контр.					
Зав.каф.					
				Відомість дипломного проекту	
				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. НН ММІ Гр. МІ-12	

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Свердло збірне для трикутних отворів

РЕФЕРАТ

Метою дипломного проєкту розглянуто процес розробки збірного свердла для тригранних отворів з урахуванням сучасних вимог та покращень, змінність лез різного розміру. Проведено аналіз утворення багатогранних отворів та детально розглянуто процес їх утворення за допомогою свердління.

Розроблена 3D модель свердла, окрім цього, створено його технологію виготовлення.

Проведена симуляція виготовлення інструмента за допомогою програмного забезпечення Fusion 360.

ABSTRACT

The purpose of this diploma project is to examine the development process of a modular drill for triangular holes, taking into account modern requirements and improvements, including the variability of blades of different sizes. An analysis of the formation of polygonal holes has been conducted, along with a detailed review of the drilling process used to create them.

A 3D model of the drill has been developed, and additionally, its manufacturing technology has been designed.

A simulation of the tool's production was carried out using Fusion 360 software.

ЗМІСТ

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОКРАЩЕННЯ ІНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРОБКИ ТРИКУТНИХ ОТВОРІВ.....	8
1.1 Аналізу актуальних методів утворення багатогранних отворів.....	8
1.1.1 Обробка виробів електроерозійним методом.....	8
1.1.2 Обробка виробів лазерним різанням	9
1.1.3 Обробка виробів гідроабразивним різанням.....	11
1.1.4 Обробка виробів свердлінням.....	13
1.2 Аналіз вимог та можливостей покращення.....	15
1.3 Висновки	16
2. ПРОЄКТУВАННЯ СВЕРДЛА ДЛЯ УТВОРЕННЯ ТРИГРАННИХ ОТВОРІВ З УРАХУВАННЯМ УДОСКОНАЛЕНЬ	18
2.1 Фізико-механічні властивості свердла і оброблюваного матеріалу	18
2.1.1 Оброблюваний матеріал, фізико-механічні властивості	18
2.1.2 Інструментальний матеріал та його фізико-механічні властивості.....	19
2.1.3 Геометричні параметри інструмента і його принцип роботи....	21
2.2 Розробка конструкції та тривимірне моделювання свердла.....	27
2.2.1 Конструктивне виконання свердла	27
2.2.2 Тривимірне моделювання свердла.....	28
2.3 Обґрунтування конструкторських/технологічних рішень.....	30
2.3.1 Компонувальне рішення свердла	30
2.3.2 Подання результатів	31
3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВЕРДЛА.....	33
3.1 Параметри заготовок	33
3.2 Розробка технологічного процесу виготовлення свердла	33
3.2.1 Розробка технологічного процесу виготовлення державки	33
3.2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення леза	39
3.3 Розрахунок припусків на точіння.....	45

3.4	Розрахунок сил різання.....	48
3.5	Технічне пристосування	50
3.5.1	Принцип роботи пристосування	50
3.5.2	3Д моделювання пристосування	51
3.5.3	Розрахунок патрона	52
4.	СИМУЛЯЦІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТА В	
	ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ FUSION 360	53
4.1	Параметри симуляції	53
4.2	Симуляція виготовлення інструмента	54
4.3	Аналіз отриманих даних.....	58
	Список використаних джерел	60
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні зростає попит на високоточні та ефективні методи обробки матеріалів. Тригранні отвори, завдяки своїм унікальним властивостям наприклад, ефективне передавання крутного моменту, підвищена стійкість до деформацій, широко використовуються в таких галузях, як авіабудування, автомобілебудування та прецизійне приладобудування. Однак, існуючі технології виготовлення трикутних отворів мають певні недоліки. А існуючі свердла демонструють недостатню зносостійкість. Тому, розробка та впровадження вдосконаленого інструменту для створення трикутних отворів є актуальним завданням. Цей проект зосереджується на модульності свердла, яке буде складатись із двох частин. Очікується, що результати дослідження дозволять створити інструмент з підвищеною довговічністю, що суттєво знизить витрати на виробництві та покращить якість продукції.

Очікується, що результати цього дипломного проекту знайдуть застосування у різних галузях промисловості, зокрема в авіаційній промисловості для виготовлення високоточних деталей двигунів, автомобілебудуванні для підвищення міцності кріпильних елементів тощо.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОКРАЩЕННЯ ІНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРОБКИ ТРИКУТНИХ ОТВОРІВ

1.1 Аналізу актуальних методів утворення багатограничних отворів

1.1.1 Обробка виробів електроерозійним методом

Електроерозійна обробка є важливим різновидом електрофізичної обробки, що дозволяє отримувати складні геометричні форми з електропровідних матеріалів. Цей процес базується на дії електричних розрядів, які руйнують матеріал заготовки, забезпечуючи високу точність обробки. Рисунок 1.1 ілюструє процес обробки електроерозійним методом:



Рисунок 1.1 – обробка електроерозійним методом

Електроерозійна обробка відбувається між двома електродами: оброблюваною деталлю та інструментом. Коли електричний струм проходить через міжелектродний проміжок (0,01-0,05 мм), матеріал плавиться і випаровується. Основними параметрами, що впливають на процес, є тривалість імпульсу та полярність електродів.

У процесі обробки заготовка стає анодом, а інструмент – катодом. При чергуванні імпульсів рідина між електродами видаляє метали у вигляді гранул. Основними недоліками цього методу є низька продуктивність, зазвичай менше 1 мм/хв та високе електроспоживання.

Електроіскрові режими характеризуються малими тривалістю розрядів з прямою полярністю. Вони забезпечують високу точність і використовуються для обробки твердих сплавів. М'які режими сприяють досягненню низької шорсткості.

Електроімпульсні режими, навпаки, характеризуються великими тривалістю імпульсів та підключенням катода до заготовки. Це дає змогу значно підвищити продуктивність і зменшити знос інструменту. Використовуються для попередньої обробки деталей складної форми.

Електроерозійна обробка є перспективним напрямом, що може бути ефективно застосовано для виготовлення тригранних отворів. Хоча цей метод має свої недоліки, його можливості в обробці матеріалів, які важко піддаються традиційним методам, роблять його цінним інструментом в сучасному машинобудуванні.[4]

1.1.2 Обробка виробів лазерним різанням

Лазерне різання — це технологія, яка використовує високопотужний лазер для термічного різання та розкряювання матеріалів, забезпечуючи точне і швидке виконання обробки. Принцип роботи полягає в тому, що лазерний промінь плавить, займає і випаровує матеріал, викликаючи його знищення, а струмінь газу виводить розплавлений матеріал, що дозволяє отримувати точні прорізи і контури. Лазерне різання підходить для широкого спектра матеріалів, включаючи більшість металів (маловуглецеві, низько- та високолеговані сталі, титани, ніобій, тантал, нікель та інші кольорові метали) і неметалів, таких як деревина, пластмаси, шкіра, гума та

кераміка. На рисунку 1.2 представлено обробку матеріалу методом лазерного різання:

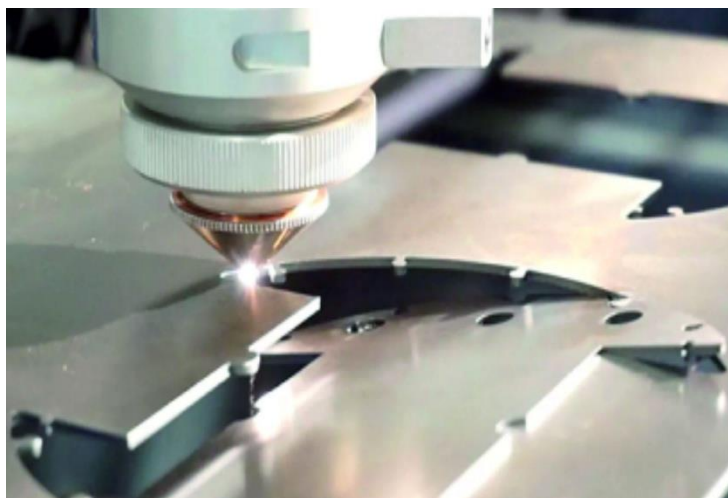


Рисунок 1.2 – обробка лазерним різанням

Лазер може працювати в імпульсному або безперервному режимах, що впливає на характеристики різання. Зазвичай використовують CO₂-лазери, твердотільні та волоконні лазери, які мають різні застосування залежно від оброблюваного матеріалу. Інші ключові аспекти лазерного різання включають високу точність, малу ширину різку та зменшену зону термічного впливу, що знижує ризик деформації заготовок. Лазерні установки забезпечують високу продуктивність, що підвищує ефективність виробництва.

Переваги лазерного різання включають високу точність, що дозволяє досягати малих відхилень в розмірах, а також забезпечує швидкість виробництва. Відсутність механічного контакту дозволяє обробляти крихкі матеріали без ризику їх деформації, а легка автоматизація процесу спрощує налаштування і підготовку виробництва. Проте, є й недоліки, такі як висока вартість обладнання, що може бути неекономічним для малих підприємств. Деякі лазери мають обмеження щодо товщини оброблюваних матеріалів, ефективність яких може знижуватись для дуже товстих заготовок.

Крім того, метали з високим коефіцієнтом відбивання, такі як алюміній і мідь, потребують спеціалізованих технологій, оскільки їх важче піддавати лазерному різанню. Витрати на енергоспоживання також можуть бути суттєвими, впливаючи на загальні витрати на виробництво. Необхідність охолодження обладнання може вимагати додаткових витрат на обслуговування.

У загальному, лазерне різання є потужним інструментом в сучасній обробній промисловості з численними перевагами, такими як висока продуктивність і точність. При цьому, варто враховувати його недоліки, такі як вартість обладнання, обмеженість за товщиною матеріалів і енергетичні витрати, що впливають на процес вибору технології. Цей аналіз може бути корисним для визначення доцільності застосування лазерного різання в конкретних ситуаціях.[7]

1.1.3 Обробка виробів гідроабразивним різанням

Гідроабразивне різання — це технологія, яка використовується для обробки твердих матеріалів, таких як скло, метал і камінь, за допомогою високого тиску струменя води, змішаного з абразивними частинками. Цей метод розвинувся в 1980-х роках завдяки відкриттю, що додавання абразивних речовин у потік води підвищує його здатність до різання. Абразивні частинки, такі як гранат, дозволяють струменю води прорізати практично будь-який матеріал. На рисунку 1.3 представлено процес обробки методом гідроабразивного різання:



Рисунок 1.3 – Гідроабразивне різання

Процес гідроабразивного різання базується на змішуванні абразивного матеріалу з водою, що виходить під високим тиском. Абразивні матеріали, такі як гранатовий пісок або корунд, додаються у воду для створення струменя, здатного виконувати різання. Вода прискорює абразивні частинки до необхідної швидкості і надає їм напрямок для досягнення бажаної точки обробки.

Машини для абразивного водоструминного різання зазвичай на 0,2 мм більші за звичайні водоструминні машини. Вони можуть різати сталь до 50 мм і до 120 мм інших металів. На ринку представлені ріжучі головки з постійними компонентами, які є дорожчими в плані експлуатації через необхідність їх заміни після зносу.

Абразивне гідроабразивне різання ідеально підходить для обробки товстих і твердих матеріалів, таких як кераміка, метал, пластик і камінь. Завдяки своїм можливостям, цей метод знайшов широке застосування в різних галузях промисловості.

Абразивне гідроабразивне різання має безліч переваг. Це екологічно чиста технологія, оскільки під час різання не залишає небезпечних відходів і дозволяє переробляти металобрухт. Система замкнутого циклу зменшує витрати води, а метод може різати різноманітні матеріали, включаючи куленепробивне скло та камінь. Процес генерує мало тепла, що зберігає

чутливість матеріалів, і забезпечує високу точність розрізів, що особливо корисно для виготовлення складних форм.

Проте, метод має й свої недоліки. Через тривалий час різання продуктивність може бути обмежена. Форсунки є крихкими і мають короткий термін служби, що може призводити до механічних несправностей. Коли обробляються товсті матеріали, точність знижується через віддаленість струменя від сопла. Також є високі початкові витрати на встановлення технології, а абразивні матеріали мають високу ціну і не підлягають повторному використанню.

Отже, гідроабразивне різання є динамічним і ефективним методом обробки, що має численні переваги, такі як екологічність, точність і універсальність. Однак, слід також врахувати обмеження, пов'язані з часом процесу, витратами на абразивні матеріали та механічними несправностями, які можуть вплинути на загальну ефективність даної технології.[5]

1.1.4 Обробка виробів свердлінням

Свердління є одним з найбільш поширених методів механічної обробки у металургії, що застосовується для створення отворів у твердих матеріалах. Традиційно цей процес використовується для формування циліндричних отворів, які виконуються за допомогою стандартних спіральних або твердосплавних свердел. На рисунку 1.4 зображено процес свердління:

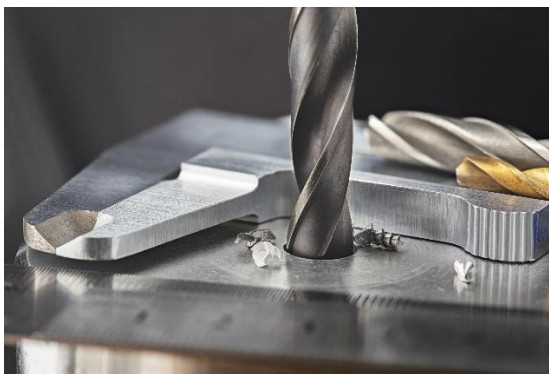


Рисунок 1.4 – Процес свердління

Однак, у випадках, коли необхідно отримати отвори складної геометричної форми, зокрема трикутні, стандартні інструменти стають непридатними для застосування. Для вирішення цього завдання використовується спеціалізований ріжучий інструмент — свердло для трикутних отворів. Особливістю конструкції такого свердла є лінзоподібна форма перерізу, що дозволяє забезпечити рух ріжучої частини по заданій траєкторії, яка формує трикутний профіль отвору.

Процес обробки трикутного отвору базується на застосуванні плаваючого патрона, конструкція якого дозволяє зміщувати вісь обертання свердла відносно осі патрона. Завдяки цьому зміщенню забезпечується характерний ексцентричний рух інструменту, в результаті якого відбувається формування отвору із трикутним перетином.

Важливою складовою цього методу є використання кондуктора — напрямної втулки, що має отвір трикутної форми, який відповідає бажаному профілю. Кондуктор виконує функцію стабілізації положення інструменту під час обробки та гарантує точність геометрії отвору.

Свердління трикутних отворів за допомогою спеціального свердла має ряд переваг, серед яких слід відзначити економічну доцільність застосування. Даний метод не потребує значних капітальних вкладень у спеціалізоване обладнання, оскільки процес може здійснюватися на стандартних свердлильних верстатах із мінімальними модифікаціями. Простота конструкції інструменту та зрозуміла технологія обробки

дозволяють впроваджувати цей метод навіть на невеликих та середніх підприємствах без потреби у тривалому навчанні персоналу.

Окрім цього, метод відзначається універсальністю застосування — він придатний для більшості металів та сплавів, а також може використовуватися у малосерійному та серійному виробництві.

Разом з тим, дана технологія має певні обмеження. Зокрема, метод є менш ефективним при створенні отворів великого діаметра або при обробці особливо твердих матеріалів, де зростає знос інструменту. Також у ряді випадків може виникнути необхідність у додатковій чистовій обробці отворів для забезпечення відповідної якості поверхні.

Незважаючи на зазначені обмеження, метод створення трикутних отворів із застосуванням спеціального свердла залишається ефективним, доступним та економічно обґрунтованим рішенням для підприємств, які прагнуть мінімізувати витрати на виготовлення деталей із отворами нестандартної геометрії.

1.2 Аналіз вимог та можливостей покращення

У попередніх розділах було проведено аналіз існуючих технологій свердління, розглянуто історію розвитку інструменту та проаналізовано сучасні вимоги до свердел для тригранних отворів. На основі цього аналізу було запропоновано ряд покращень, зокрема, впровадження модульної конструкції свердла.

Запропонована модульна конструкція базується на розділенні свердла на три основні частини:

Державка: Це основна несуча частина свердла, яка забезпечує жорсткість та передачу крутного моменту. Державка виготовляється з міцного та стійкого до деформацій матеріалу, наприклад, високоміцної сталі. Її конструкція має бути оптимізована для забезпечення максимальної жорсткості та мінімізації вібрацій.

Лезо інструмента: Ця частина свердла є змінною і містить ріжучі кромки, що безпосередньо взаємодіють з оброблюваним матеріалом. Лезо виготовляється з Р6М5К5, швидкорізальної сталі, що забезпечує високу зносостійкість та довговічність. Форма та геометрія ріжучої кромки мають бути оптимізовані для ефективного обробки трикутних отворів.

Кріпильний механізм: Ця частина забезпечує надійне та зручне кріплення леза до державки. Кріпильний механізм має бути простим у використанні, надійним та забезпечувати точне позиціонування ріжучої частини інструмента. Важливо, щоб кріплення дозволяло швидко та легко замінити лезо інструмента.

Переваги модульної конструкції:

1) Економічність: Заміна зношеної леза обходиться значно дешевше, ніж заміна всього свердла.

2) Довговічність: Завдяки змінним лезам, термін служби свердла значно збільшується.

3) Універсальність: Застосування різних змінних лез дозволяє використовувати одне і те ж державку для обробки різних матеріалів та створення отворів різної форми та розмірів.

4) Зручність обслуговування: Простий та швидкий процес заміни лез спрощує обслуговування свердла.

1.3 Висновки

Для подальшого проектування обрано свердло, яке дозволяє формувати отвори трикутної форми завдяки лінзоподібній формі перерізу.

Як оптимальний напрямок покращення, обрано модульну конструкцію, яка передбачає розділення свердла на державку, змінне лезо та кріплення. Це рішення забезпечує економічність, довговічність та універсальність, дозволяючи адаптувати інструмент до різних виробничих потреб.

Подальші дослідження будуть зосереджені саме на розробці та вдосконаленні модульної конструкції свердла, що сприятиме підвищенню ефективності обробки тригранних отворів. Незважаючи на певні обмеження, даний метод залишається універсальним, доступним та економічно обґрунтованим рішенням для виробництва деталей із нестандартними геометричними отворами.

2. ПРОЄКТУВАННЯ СВЕРДЛА ДЛЯ УТВОРЕННЯ ТРИГРАННИХ ОТВОРІВ З УРАХУВАННЯМ УДОСКОНАЛЕНЬ

2.1 Фізико-механічні властивості свердла і оброблюваного матеріалу

2.1.1 Оброблюваний матеріал, фізико-механічні властивості

У даній роботі оброблюваним матеріалом є алюміній — легкий кольоровий метал, що завдяки своїм фізико-механічним властивостям широко використовується у машинобудуванні, авіаційній, електротехнічній та будівельній галузях.

Алюміній характеризується високою пластичністю, добрими антикорозійними властивостями та відносно низькою твердістю, що сприяє зниженню зусиль при обробці різанням. Його відносно мала щільність у поєднанні з достатньою міцністю робить алюміній зручним матеріалом для деталей, де критично важливим є зменшення маси конструкції.

Нижче наведені основні фізико-механічні властивості технічно чистого алюмінію (марка АД1) при нормальних умовах в таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні властивості алюмінію марки АД1

Показник	Значення
Густина ρ , кг/м ³	2710
Межа міцності при розтязі, σ_B , МПа	60-110
Межа плинності, σ_T , МПа	20-40
Модуль пружності, E , ГПа	68-72
Твердість за Брінеллем, НВ, МПа	20-30
Коефіцієнт теплового розширення, $\frac{1}{^\circ C}$	$23 \cdot 10^{-6}$
Теплопровідність, λ , $\frac{Вт}{м} \cdot K$	200-236
Електропровідність, %, $IACS$	60-65

В наступній таблиці приведений вміст елементів в марки алюмінію АД1:

Таблиця 2.2 – хімічний склад алюмінію марки АД1

Елемент	Вміст (%)
Магній (Mg)	не більше 0,05%
Мідь (Cu)	до 0,05%
Залізо (Fe)	близько 0,3%
Кремній (Si)	до 0,3%
Марганець (Mn)	не більше 0,025%
Цинк (Zn)	до 0,1%
Титан (Ti)	не більше 0,15%

2.1.2 Інструментальний матеріал та його фізико-механічні властивості

При обробці отворів тригранної форми модульним свердлом вибір матеріалів для інструменту відіграє ключову роль у забезпеченні точності, довговічності та стабільності процесу. Основні складові свердла: державка та змінне лезо.

Державка виконує функцію кріплення ріжучої частини та передавання зусиль від верстата до оброблюваної деталі. Для виготовлення державки використовується конструкційна вуглецева Сталь 45(ДСТУ 78-09), що забезпечує оптимальне співвідношення міцності, зносостійкості та технологічності.

Лезо свердла може виготовлятися зі швидкорізальної сталі Р6М5К5 (відповідно до ДСТУ ГОСТ 19265-73), яка належить до легованих інструментальних сталей з високим вмістом вольфраму, молібдену, кобальту та ванадію. Завдяки такому хімічному складу сплав характеризується підвищеною твердістю, жаростійкістю, зносостійкістю та здатністю зберігати ріжучі властивості при високих температурах. Сталь

P6M5K5 забезпечує ефективну роботу інструменту при обробці сталей середньої та високої твердості, а також сплавів, що важко обробляються, з можливістю роботи при значних термічних і механічних навантаженнях. У таблицях, наведених нижче, представлено фізико-механічні характеристики цієї сталі, що визначають її застосування в конструкції ріжучого інструмента:

Таблиця 2.3 – основні фізико-механічні властивості Сталі 45

Показник	Значення
Густина ρ , кг/м ³	7,85
Межа міцності при розтязі, σ_B , МПа	550-690
Межа плинності, σ_T , МПа	340
Модуль пружності, Е, ГПа	200
Твердість за Брінеллем, НВ, МПа	170
Твердість після загартування, HRC	50 – 55

Таблиця 2.4 – основні фізико-механічні властивості P6M5K5

Показник	Значення
Густина ρ , кг/м ³	8200–8300
Межа міцності при розтязі, σ_B , МПа	2800–3200
Межа міцності при стисненні, МПа	3400–4000
Модуль пружності, Е, ГПа	210–220
Твердість по Роквеллу, HRA	63-66
Теплопровідність, λ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{К}$	20–25
Температура експлуатації, °С	До 600–650

Також хімічні властивості обох матеріалів приведені нижче:

Таблиця 2.5 – хімічний склад Сталі 45 і P6M5K5

Сталь 45	Елемент	Вміст (%)
----------	---------	-----------

	Вуглець(C)	0,42-0,50
	Кремній(Si)	до 0,17-0,37
	Марганець(Mn)	0,5-0,8
	Фосфор(P)	Менше 0,035
	Сірка(S)	Менше 0,035
	Залізо(Fe)	Основа
P6M5K5		
	Вуглець (C)	0,85–0,94
	Кремній (Si)	≤ 0,50
	Марганець (Mn)	≤ 0,40
	Хром (Cr)	3,8–4,4
	Вольфрам (W)	5,5–6,7
	Молібден (Mo)	4,8–5,5
	Ванадій (V)	1,7–2,1
	Кобальт (Co)	4,5–5,0
	Фосфор (P)	≤ 0,030
	Сірка (S)	≤ 0,030

2.1.3 Геометричні параметри інструмента і його принцип роботи

Метод свердління дозволяє отримувати багатогранні отвори з різною кількістю граней, але для цього необхідний спеціальний інструмент, а мінімально можливою кількістю граней для отвору є три.

Це обумовлено конструктивною особливістю інструменту: свердло повинно мати на одну грань менше, ніж отвір, який необхідно отримати. Оскільки інструмент фізично не може мати менш ніж дві грані, мінімальна кількість граней отвору становить три. Це конструктивне обмеження визначає межі застосування даного методу.

Попри таке обмеження, комбінуючи тригранні отвори за певною схемою розташування, можна формувати отвори з більшою кількістю граней.

При виконанні операції свердління багатогранних отворів теоретично неможливо отримати ідеально гострі кути у місцях переходу граней. З огляду на це, у реальних умовах обробки отвір завжди матиме певне заокруглення кутів. Варто зазначити, що така форма є цілком виправданою з конструктивної точки зору, оскільки округлення, подібно до фасок, знижує концентрацію напружень, які виникають під час експлуатації елемента.

Таким чином, наявність заокруглення невеликого радіуса у кутах отвору може бути не лише допустимою, а й доцільною з урахуванням конструктивних вимог і умов подальшої експлуатації виробу.

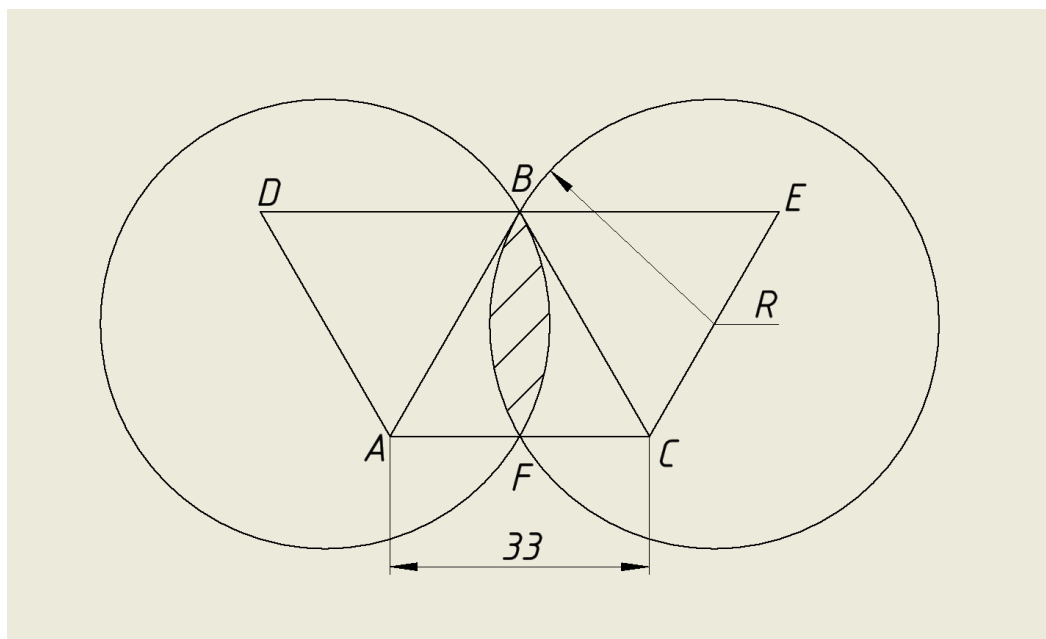


Рисунок 2.1 – Лінзоподібний двокутник, який використовується для створення тригранних отворів

Методика розрахунків визначення поперечного профілю свердла:

- 1) Створення ABC, профіль оброблюваного тригранника. ABC – рівносторонній трикутник.

- 2) З $\triangle ABC$ проводимо додаткові два тригранники: $\triangle ADB$ і $\triangle BEC$, як зображено на рисунку 2.1.
- 3) З середин CE і DA створюємо кола на радіус яким є відстань до вершини B .
- 4) Дуга BF є радіусом R .
- 5) Виходячи з цього R , визначається як:

$$R = L \cos \frac{\alpha}{2} \quad (2.1)$$

$$R = 33 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 28,577$$

L – довжина сторони трикутника, мм.

α – кут трикутника.

Отримане значення одночасно є висотою відповідного трикутника, що дозволяє приймати його за діаметр хвостовика свердла.

Тепер розрахуємо розмір сторони трикутного отвору, округляємо величину яку розраховували до 29 мм:

$$A = 2 \cdot \frac{R}{\sqrt{3}} \quad (2.2)$$

$$A = 2 \cdot \frac{29}{\sqrt{3}} = 33,48 \text{ мм}$$

Залишаємо радіуси лінзоподібний двокутник, а також висоту тригранного отвору 29 мм.

Аналіз заднього кута у процесі свердління:

Розрахунок заднього кута буде виконуватися за аналітичним методом. Для розрахунку аналітичним методом наведемо ескіз, який зображений на рис. 2.2. З ескізу видно, щоб знайти значення кута, μ достатньо порахувати значення кута τ .

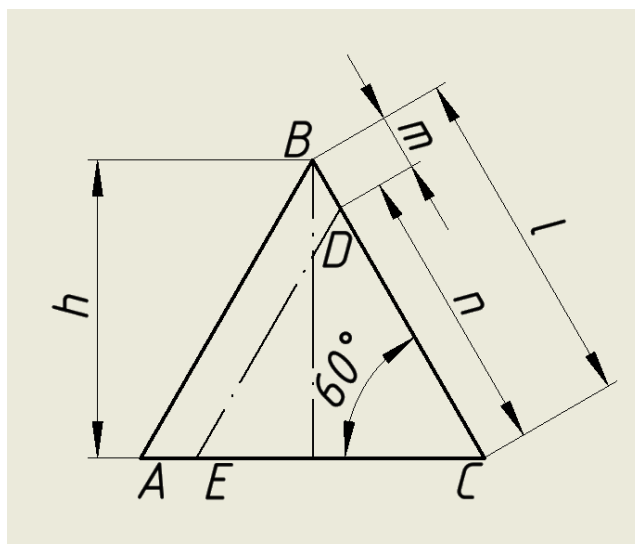


Рисунок 2.2 – Схема для розрахунків аналітичним методом

Значення h задано креслеником. Це висота трикутника, а також є радіусом дуг «лінз» та є діаметром свердла. Тоді:

$$l = \frac{h}{\sin \beta} \quad (2.3)$$

Значення m задається вручну, це відстань від вершини точки A трикутника до точки D – точка дотику зовнішньої точки різальної кромки до грані трикутника. Тоді:

$$n = l - m \quad (2.4)$$

За теоремою синусів знайдемо кут δ – кут між різальною кромкою та граню трикутника. З трикутника CDE :

$$\frac{\sin \beta}{h} = \frac{\sin \delta}{n} \quad (2.5)$$

Звідси:

$$\sin \delta = \frac{h}{n} \cdot \sin \beta \quad (2.6)$$

Кут τ знаходиться за наступною залежністю:

$$\tau = \mu = 180^\circ - \beta - \delta \quad (2.7)$$

За теоремою синусів знайдемо відстань k :

$$\frac{\sin \tau}{k} = \frac{\sin \beta}{h} \quad (2.8)$$

$$k = \frac{\sin \tau}{\sin \beta} \cdot h \quad (2.9)$$

Отже, за наведеною методикою розраховуємо значення кута μ . Потім за формулою розраховуємо статичний задній кут α_c .

Для прикладу розрахуємо задній статичний кут у положенні свердла, коли $m = 5$ мм. Тобто дано:

$$h = 28,58 \text{ мм}; m = 5 \text{ мм}; \beta = 60^\circ; \quad (2.10)$$

Розраховуємо:

$$l = 33 \text{ мм} \quad (2.11)$$

$$n = 28 \text{ мм} \quad (2.12)$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{28}{28,58} \cdot \sin 60^\circ\right) = 58.04^\circ \quad (2.13)$$

$$\tau = \mu = 180^\circ - 60^\circ - 58.04^\circ = 61.96^\circ \quad (2.14)$$

$$\alpha_c = \arctan(\tan 22^\circ \cdot \sin 61.96^\circ) = 19.47^\circ \quad (2.15)$$

Аналогічним чином розраховується для інших значень m . Результати аналітичного методу наведені в таблиці нижче:

Таблиця 2.6 - Значення задніх статичних кутів

#	α_i	$h; l$, мм	m , мм	n , мм	δ , град	μ , град	α_c , град
1	22	28,58; 33	0	33	89.48	30.52	11.64
2	22	28,58; 33	2	31	69.94	50.06	17.2
3	22	28,58; 33	5	28	58,04	61.96	19.47
4	22	28,58; 33	8	25	49.25	70.75	20.86
5	22	28,58; 33	11	22	41.81	78.19	21.58

6	22	28,58; 33	14	19	35.15	84.85	21.94
7	22	28,58; 33	17	16	29.4	90.6	22.01
8	22	28,58; 33	20	13	23.2	96.8	21.9
9	22	28,58; 33	24	9	15.49	104.51	21.44
10	22	28,58; 33	28	5	8.71	111.29	19.86
11	22	28,58; 33	30	3	5.22	114.78	19.05
12	22	28,58; 33	33	0	0	120	19.29

Принцип роботи свердла:

Свердло для утворення тригранних отворів має спеціальну геометрію ріжучої частини — лінзоподібний двокутник, форма якого дозволяє відтворювати трикутний контур отвору при обертанні. Спочатку просверлюється круглий отвір, після чого вводиться свердло для тригранних отворів. Під час свердління багатогранних отворів отримати ідеально гострі кути в їхніх вершинах теоретично неможливо. У реальних умовах обробки отвори завжди мають незначне заокруглення в кутових зонах. Така особливість є не лише технологічно обґрунтованою, а й конструктивно доцільною, оскільки наявність заокруглень або фасок знижує концентрацію напружень, що виникають під час експлуатації деталі.

Ключовою особливістю конструкції є відхилення центра обертання свердла від осі отвору — ексцентричний рух, реалізований за допомогою плаваючого патрона.

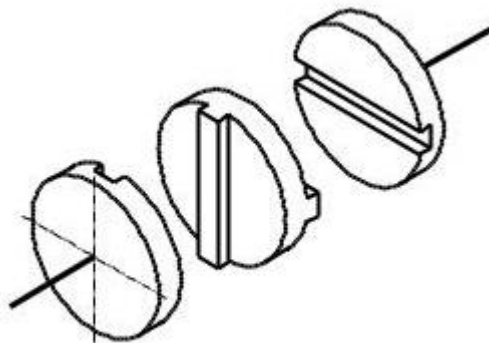


Рисунок 2.3 – Плаваючий патрон

Така конструкція змушує вершину ріжучої кромки описувати складну замкнену криву — псевдоепітрохіду, яка наближено повторює форму рівностороннього трикутника з округленими кутами. У кожен момент часу центр свердла описує коло, а ріжуча кромка змінює положення відносно осі отвору.

2.2 Розробка конструкції та тривимірне моделювання свердла

2.2.1 Конструктивне виконання свердла

Розділ присвячено конструктивному виконанню свердла, яке є основним елементом при розробці технологічного процесу свердління. Правильний вибір конструкції свердла безпосередньо впливає на якість обробки, продуктивність, точність та довговічність інструмента.

Свердло складається з двох частин: державки та леза, які з'єднанні між собою двома болтами DIN 7991 - M5x25.

Державка виконана у формі циліндра з двома фрезерованими поверхнями для з'єднання з плаваючим патроном і centruючим пазом зверху під з'єднання з лезом, зображено на рисунку 2.2:

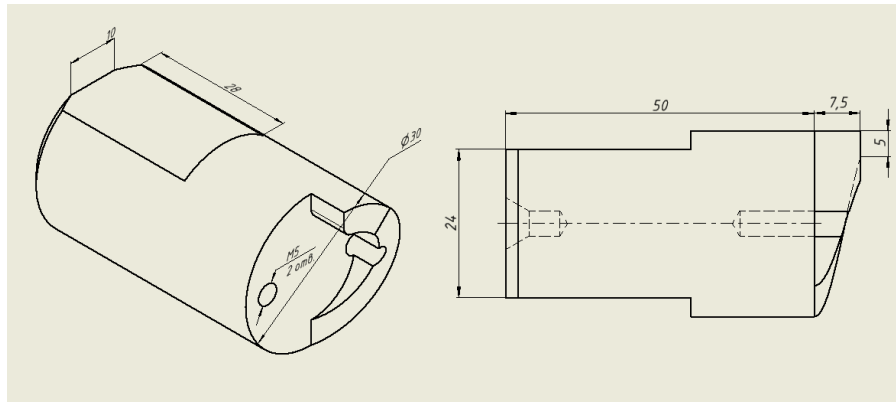


Рисунок 2.4 – Ескіз державки свердла

Лезо свердла має основу і центруючий паз, яким з'єднується з державкою. Ріжуча частина леза виконана у формі лінзоподібного двокутника.

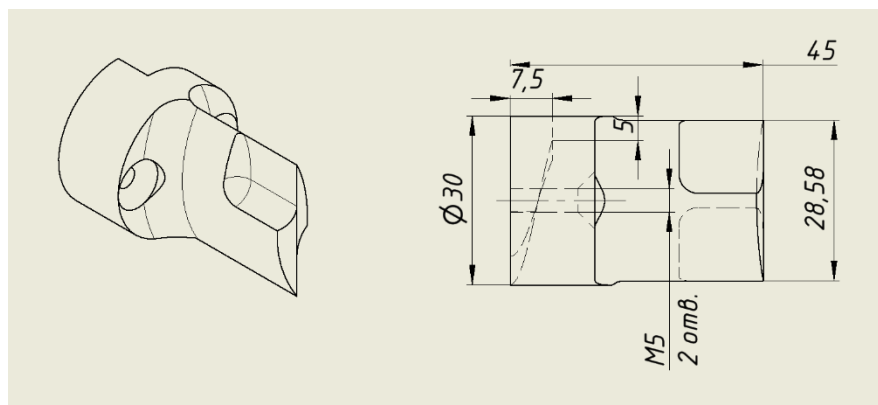


Рисунок 2.5 – Ескіз леза свердла

Також дане виконання свердла передбачує, можливість заміни леза свердла для обробки отворів різного діаметру та форми.

2.2.2 Тривимірне моделювання свердла

У розділі розглядається процес тривимірного моделювання свердла, який є важливим етапом проєктування та візуалізації конструкції інструмента перед його виготовленням. Використання сучасних САПР-систем (систем автоматизованого проєктування) дозволяє створити точну

геометричну модель свердла, перевірити коректність з'єднання складових частин та оцінити ергономіку й функціональність конструкції.

Створивши всі частини свердла покроково з'єднуємо в збірку:

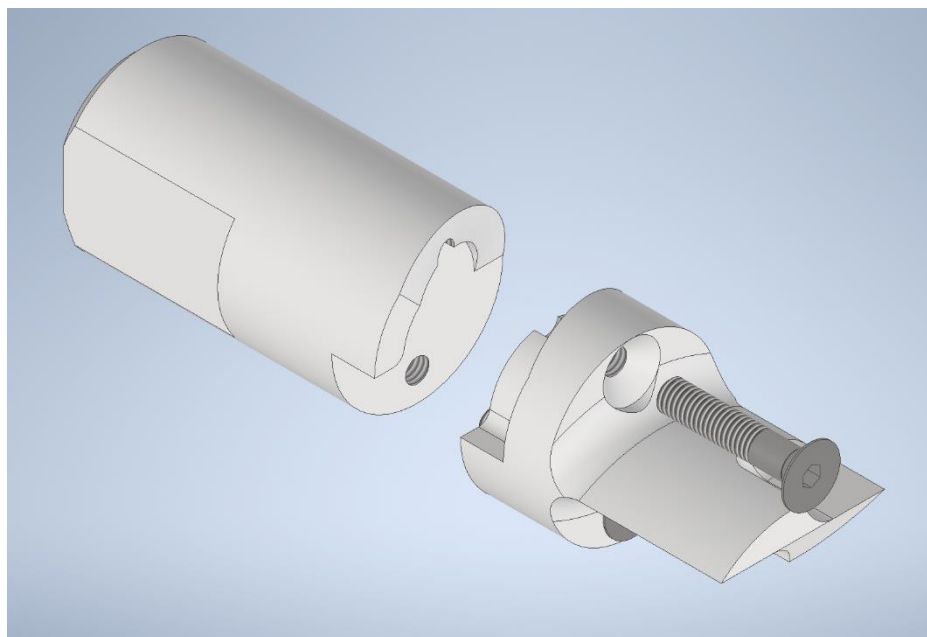


Рисунок 2.6 – Візуалізація збірки свердла

Тривимірний модель свердла у зборі зображена на рисунку 2.4:

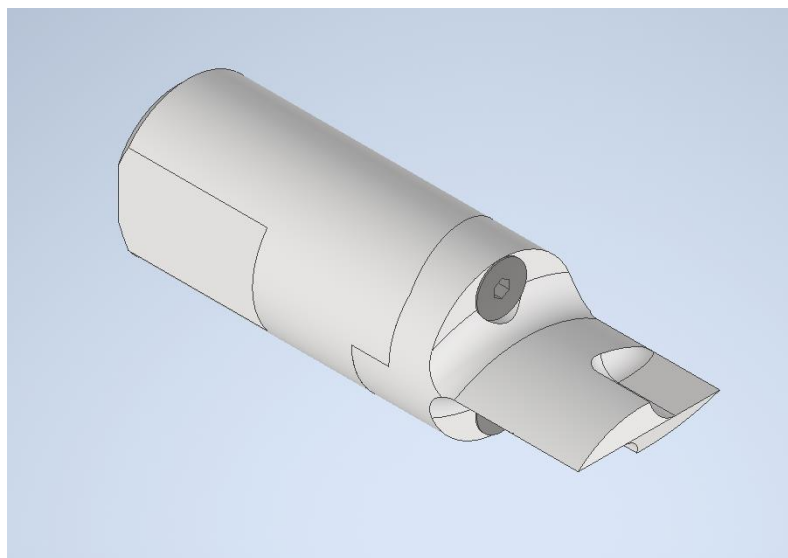


Рисунок 2.7 – Тривимірний модель свердла

2.3 Обґрунтування конструкторських/технологічних рішень

2.3.1 Компонувальне рішення свердла

Компонувальне рішення свердла передбачає модульну архітектуру, що забезпечує зручність експлуатації та технічного обслуговування. Свердло складається з наступних основних елементів:

Ріжуча частина — змінна, має ріжучу кромку з торцевою поверхнею 17 градусів у вигляді лінзоподібного двокутника з скругленнями. Вона прикріплюється до державки за допомогою двох гвинтів стандарту DIN 7991 – M5x25:

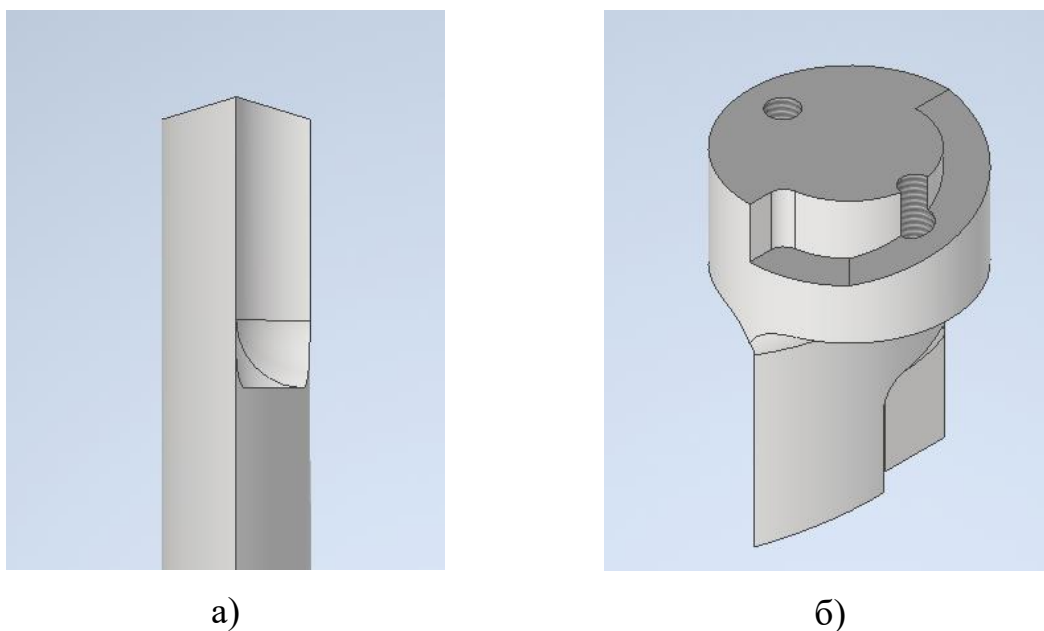


Рисунок 2.8(а-б) – Лезо свердла

Державка — циліндричної форми з двома фрезерованими поверхнями для надійного кріплення в патроні та центруючим пазом для фіксації ріжучої частини:

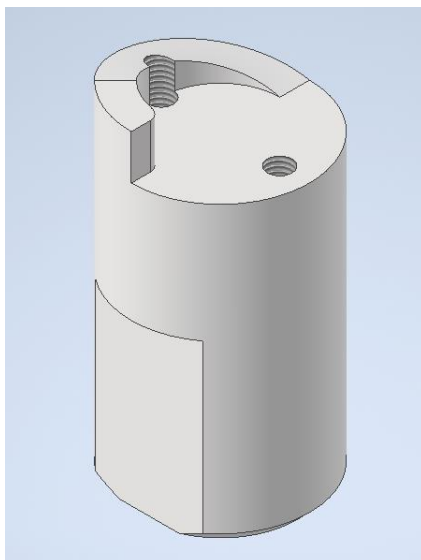


Рисунок 2.9 – Державка леза

Пази в лезі та державці свердла — забезпечують точне позиціонування леза.

Така компоновка дозволяє варіювати ріжучі елементи в залежності від розміру отвору або матеріалу, що обробляється, не змінюючи базову державку. Це рішення забезпечує економічність, зниження витрат на обслуговування та універсальність інструменту.

2.3.2 Подання результатів

У результаті проведених проєктних робіт було розроблено вдосконалене модульне свердло для утворення тригранних отворів. Основним результатом є конструкція інструменту, що складається з двох взаємозамінних компонентів: державки та змінного леза.

Було створено 3D-модель свердла в програмному забезпеченні Autodesk Inventor, яка дозволила візуалізувати його збірку, перевірити точність з'єднань та ергономічність. Також були визначені основні геометричні параметри свердла, проведено аналітичні розрахунки для

забезпечення відповідності профілю інструменту вимогам до тригранних отворів.

Свердло було спроектоване з урахуванням вимог використання. Для виготовлення обрано матеріали: для державки — сталь 45, а для ріжучої частини — P6M5K5. Це забезпечує високу довговічність.

3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВЕРДЛА

3.1 Параметри заготовок

Матеріал заготовки для державки: Сталь 45

Діаметр заготовки для державки: 32 мм.

Заготовка отримана методом: прокатка.

Матеріал заготовки для леза: P6M5K5

Діаметр заготовки для леза: 32 мм.

Заготовка отримана методом: пресування порошків і наступного спікання.

3.2 Розробка технологічного процесу виготовлення свердла

3.2.1 Розробка технологічного процесу виготовлення державки

У даному розділі створюється технологічний процес виготовлення державки свердла, всі операції приведені в таблиці нижче:

Технологічний процес державки можна поділити на наступні етапи:

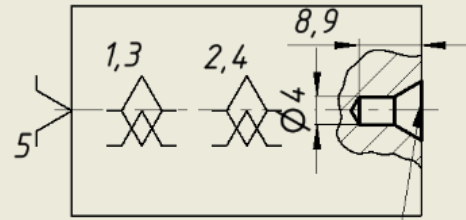
Підготовка заготовки: Розкрій матеріалу на заготовки потрібного розміру. Чорнова обробка для отримання базових розмірів.

Механічна обробка: Токарні, фрезерні або свердлильні операції для формування основних поверхонь. Чистова обробка для досягнення точності й якості поверхні.

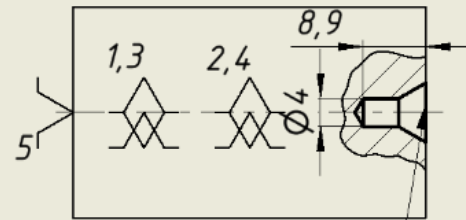
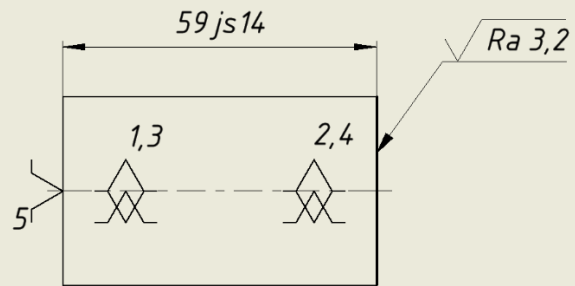
Контроль якості: Вимірювання розмірів, перевірка жорсткості та точності.

Таблиця 3.1 – Технологічний процес виготовлення державки свердла

Операція №	Ескіз	Перехід	Верстат	Оснастка	Інструмент
005 Заготівельна		Відрізання прутка сталі 45 \varnothing 34 мм та довжиною 60 мм	BS 550G	Лещата	Стрічкова пила
010 Токарна		Підрізання правого торця заготовки. Свердління центрального отвору. Підрізання лівого торця заготовки. Свердління центрального отвору.	Nakamura-Tome AS-200	Трикулачковий патрон	Різець токарний підрізний. Центрувальне свердло \varnothing 4 мм.



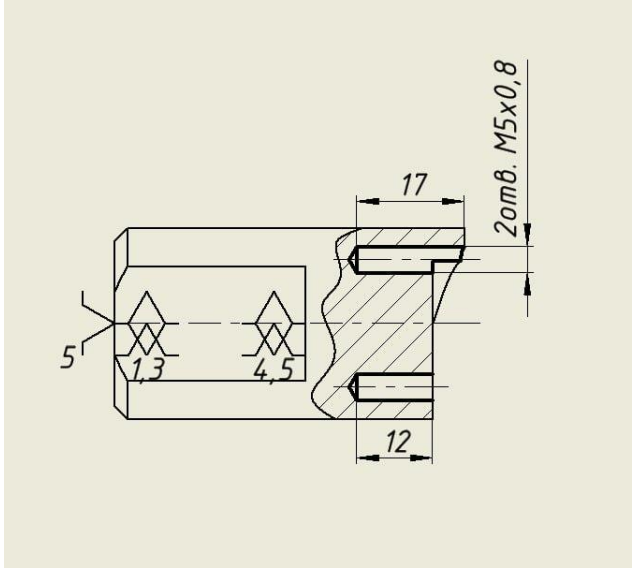
Отв. центр. А4 ГОСТ 14034-74



Отв. центр. А4 ГОСТ 14034-74

015 Токарна		Чорнова та чистова обробка заготовки.	Nakamura-Tome AS-200	Центр повідковий зубчатий	Різець токарний прохідний
020 Фрезерна		Фрезерування лисок	Nakamura-Tome AS-200	Трикулачковий патрон	Фреза кінцева Ø20 мм

025 Фрезерна		Фрезерування заготовки за кресленням.	Nakamura-Tome AS-200	Лещата	Фреза кінцева Ø20 мм
030 Свердління		Свердління 2 отворів Ø4 мм.	Nakamura-Tome AS-200	Самоцентруючі лещата	Свердло Ø4 мм

<p>035 Свердління</p>		<p>Розгортання 2 отворів М5х0,8</p>	<p>Nakamura- Tome AS- 200</p>	<p>Самоцентрую чі лещата</p>	<p>Розгортка М5</p>
---------------------------	--	---	---------------------------------------	----------------------------------	---------------------

Примітки:

Nakamura-Tome AS-200 – це високоточний компактний токарний центр, призначений для ефективної обробки прутків діаметром до 51 мм (оптимально працює також з Ø32 мм). Верстат оснащений 12-позиційною револьверною головкою з можливістю установки приводного інструменту (опція), що дозволяє виконувати токарні, свердлильні та фрезерні операції в одному установі.

BS 550G - Стрічково-пилний верстат по металу — це потужний професійний верстат для інтенсивного різання труб, профілів і твердих заготовок. Завдяки міцній конструкції, гідравлічному управлінню та підтримці широких стрічок (до 34 мм), він ідеально підходить для великосерійного виробництва.

3.2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення леза

У даному розділі створюється технологічний процес виготовлення леза свердла, всі операції приведені в таблиці нижче:

Технологічний процес леза можна поділити на наступні етапи:

Підготовка заготовки: Вибір заготовки з P6M5K5. Розкрій матеріалу на заготовки необхідних розмірів.

Чорнова механічна обробка: Чорнове фрезерування або шліфування для формування основної геометрії. Встановлення базових поверхонь.

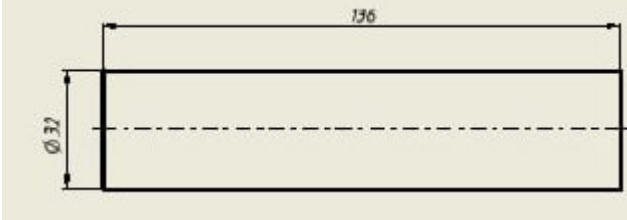
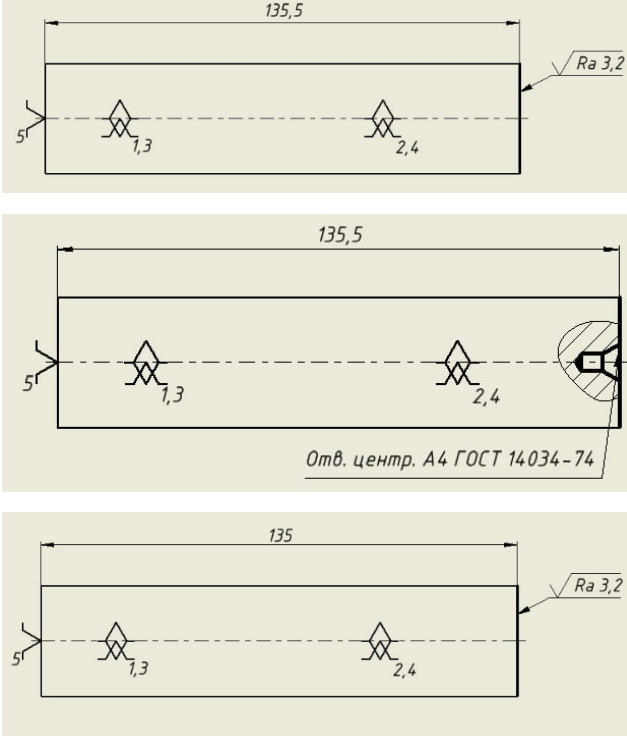
Чистова механічна обробка: Чистове шліфування, фрезерування ріжучих кромки. Формування необхідних кутів (головного заднього, переднього, ріжучого).

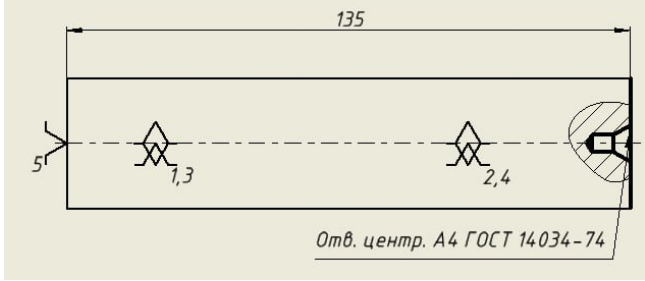
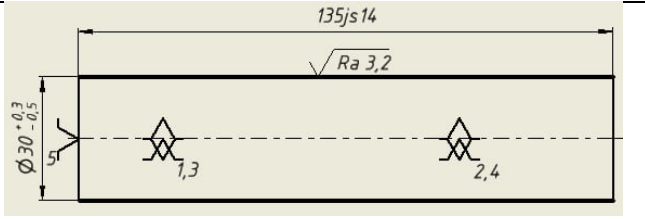
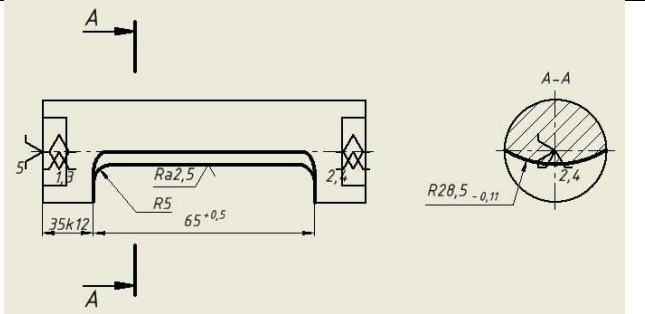
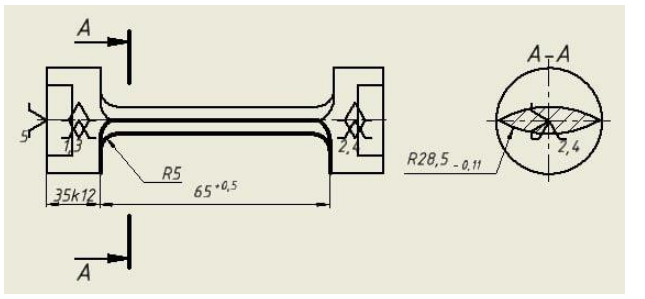
Термообробка: загартування, відпуск.

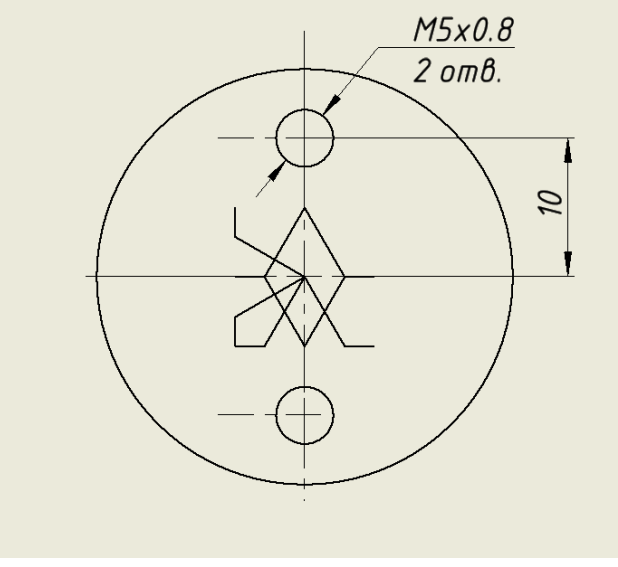
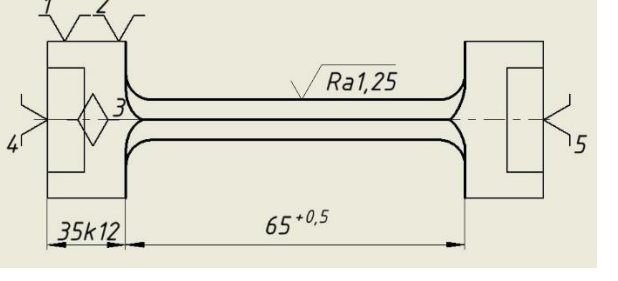
Оздоблювальні операції: Додаткове шліфування ріжучої частини для підвищення якості різання. Полірування робочої поверхні.

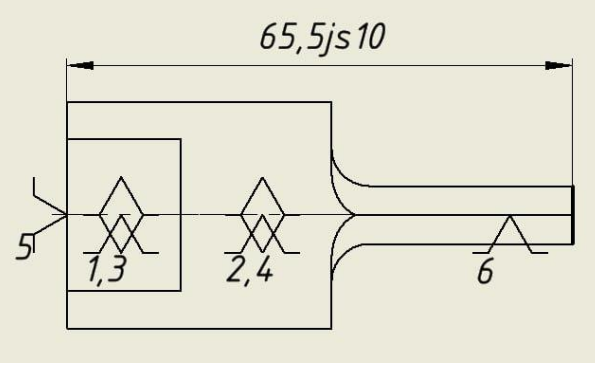
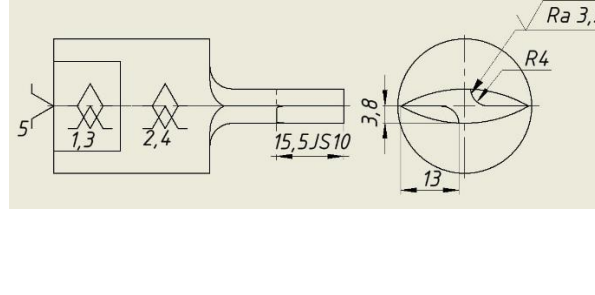
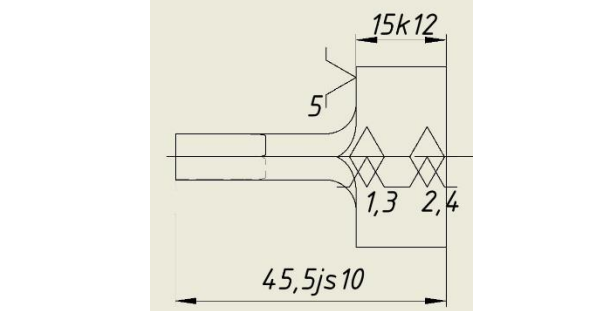
Контроль якості: Перевірка геометричних параметрів (довжина, ширина, кут ріжучої частини). Контроль твердості та якості ріжучої кромки.

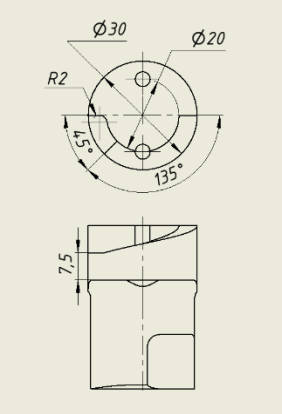
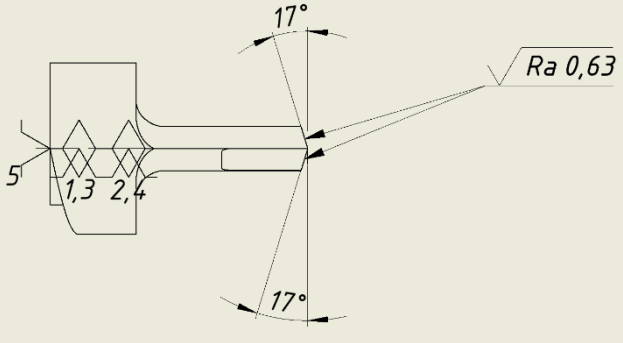
Таблиця 3.2 – Технологічний процес виготовлення леза свердла

Операція №	Ескіз	Перехід	Верстат	Оснастка	Інструмент
<p>005 Заготівельна</p>		<p>Відрізання прутка з Р6М5К5 Ø 34 мм та довжиною 96 мм.</p>	<p>BS 550G</p>	<p>Лещата</p>	<p>Стрічкова пила</p>
<p>010 Токарна</p>		<p>Підрізання торців, свердління центруючих отворів.</p>	<p>Nakamura-Tome AS-200</p>	<p>Трикулачковий патрон</p>	<p>Різець токарний підрізний. Центрувальне свердло Ø 2,5 мм</p>

	 <p>135</p> <p>Отв. центр. А4 ГОСТ 14034-74</p>				
015 Токарна	 <p>135js14</p> <p>$\sqrt{Ra\ 3,2}$</p> <p>$\varnothing 30^{+0,3}_{-0,5}$</p>	Точіння зовнішньої поверхню на діаметр $30^{+0,3}_{-0,5}$ мм	Nakamura-Tome AS-200	Трикулачковий патрон	Різець токарний прохідний
020 Токарна	 <p>A</p> <p>1,3</p> <p>2,4</p> <p>35k12</p> <p>Ra2,5</p> <p>R5</p> <p>65^{+0,5}</p> <p>R28,5 -0,11</p> <p>A-A</p> <p>2,4</p> <p>A</p>  <p>A</p> <p>1,3</p> <p>2,4</p> <p>35k12</p> <p>R5</p> <p>65^{+0,5}</p> <p>R28,5 -0,11</p> <p>A-A</p> <p>2,4</p> <p>A</p>	Точіння випуклої лінзи свердла.	Nakamura-Tome AS-200	Трикулачковий патрон	Різець токарний підрізний лівий/правий

<p>025</p> <p>Свердлильна</p>		<p>Свердління 2 отворів Ø4.2 мм.</p> <p>Розсвердлювання 2 отворів M5X0.8</p>	<p>Nakamura- Tome AS- 200</p>	<p>Трикулачковий патрон</p>	<p>Свердло Ø 4.2 мм</p>
<p>030</p> <p>Термічна</p>	<p>-</p>	<p>Гартування, відпуск.</p>	<p>Nakamura- Tome AS- 200</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
<p>035</p> <p>Шліфувальна</p>		<p>Шліфування направляючої лінзи свердла.</p>	<p>Nakamura- Tome AS- 200</p>	<p>Центри з поводком.</p>	<p>Круг абразивний електрокорунд 25А</p>

040 Відрізна		Відрізання заготовки свердла довжиною 45,5 мм від краю леза свердла.	Nakamura-Tome AS-200	Самоцентруючи призми.	Різець відрізний
045 Фрезерна		Фрезерування заготовки за кресленням. Фрезерування передні поверхні свердла.	Nakamura-Tome AS-200	Самоцентруючи призми.	Фреза кінцева Ø4 мм
050 Фрезерна		Фрезерувати торець на розмір 15 мм.	Nakamura-Tome AS-200	Самоцентруючи призми.	Фреза кінцева Ø4 мм

055 Фрезерна		Фрезерувати заготовку за кресленням.	Nakamura-Tome AS-200	Самоцентруючи призми.	Фреза кінцева Ø4 мм
060 Заточувальна		Заточування леза свердла.	Nakamura-Tome AS-200	Головка заточувальна 3-поворотна	Круг шліфувальний CBN

3.3 Розрахунок припусків на точіння

Вихідні дані: Діаметр заготовки – 30 мм.

Величина допуску заготовки залежить від обраного способу її отримання й точності заготовки. Згідно з ГОСТ 2590-2006 межа відхилення круглого сталюого гарячекатаного сортового прокату звичайної точності становить $\frac{+300}{-500}$ мм. Допуск готової деталі – h9. Шорсткість готової деталі - Rz 6,3.

Поверхню готової деталі отримуємо за допомогою чорного та чистового точіння та шліфування. Методика розрахунків:

Розрахунок мінімального припуску:

Мінімальне значення припуску розраховується за формулою:

$$2 \cdot Z_{i \min} = 2 \cdot \left(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho^2_{i-1} + \varepsilon^2_i} \right) \quad (3.1)$$

Де:

$R_{Z_{i-1}}$ – висота мікронерівностей поверхні за ГОСТ 2789-73, мкм;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару, мкм;

ρ^{\square}_{i-1} – сумарне значення просторових відхилень взаємопов'язаних поверхонь, мкм;

ε^{\square}_i – похибка установки заготовки на верстаті.

Розрахунок елементів мінімального припуску для чорного проходу:

За таблицею Б.1[6]: Rz = 150 мкм, h = 150 мкм

За таблицею В.14 1 [6] кривизна:

$$\rho = 0,5\% \cdot L \quad (3.2)$$

Де:

L – довжина заготовки.

Тоді:

$$\rho = 0,5\% \cdot 135 = 0,675 \text{ мм} = 675 \text{ мкм} \quad (3.3)$$

Похибка установки заготовки ε розраховується за формулою (3.4) [6]:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \quad (3.4)$$

За таблицею Д.2 [6], похибка встановлення заготовки у трикулачковому самоцентрувальному патроні дорівнює:

$$\varepsilon_3 = 200 \text{ мкм} \quad (3.5)$$

А похибка базування:

$$\varepsilon_6 = 0 \text{ мкм} \quad (3.6)$$

Оскільки поверхня обертання не має похибки базування, мінімальний припуск на чорнову обробку становить:

$$2 \cdot Z_{1 \min} = 2 \cdot \left(150 + 150 + \sqrt{675^2 + 200^2} \right) = 2008 \text{ мкм} \quad (3.7)$$

Допуск після обробки h14.

Розрахунок складових мінімального припуску для завершального (чистового) проходу:

За таблицею Б.16 [6]: $Rz = 120 \text{ мкм}$, $h = 120 \text{ мкм}$.

Кривизна після чорнового точіння становить:

$$\rho_2 = \rho_{\text{чорн}} = 0,06 \cdot \rho = 0,06 \cdot 675 = 40,5 \text{ мкм} \quad (3.8)$$

похибка установки:

$$\varepsilon_2 = K_y \cdot \varepsilon_1 \quad (3.9)$$

Де:

K_y - коефіцієнт зменшення початкової похибки при виконанні попереднього проходу. За таблицею Г.1 [6]: $K_y = 0,06$.

$$\varepsilon_2 = 0,06 \cdot 200 = 12 \text{ мкм} \quad (3.10)$$

Отже, мінімальний припуск для чистового проходу становить:

$$2 \cdot Z_{2 \min} = 2 \cdot \left(120 + 120 + \sqrt{40,5^2 + 12^2} \right) = 564 \text{ мкм} \quad (3.11)$$

Допуск після обробки h11.

Розрахунок елементів мінімального припуску для шліфування
Припуск розраховуємо за формулою (3.6) [6]:

$$2 \cdot Z_{3 \min} = 2 \cdot \left(R_{Z_{3-1}} + \sqrt{\rho_{3-1}^2 + \varepsilon_3^2} \right) \quad (3.12)$$

За таблицею Б.16 [6]: $R_z = 30$ мкм, допуск h11. Кривизна після чистового точіння становить:

$$\rho_3 = \rho_{\text{чист}} = 0,04 \cdot \rho_{\text{чорнове}} \quad (3.13)$$

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 40,5 = 1,62 \text{ мкм}$$

За формулою (2.40) [6]:

Похибка установки

$$\varepsilon_3 = K_y \cdot \varepsilon_2 \quad (3.14)$$

Де:

K_y - 0,04. Тоді:

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot 12 = 0,5 \text{ мкм} \quad (3.15)$$

Мінімальний припуск для шліфувального проходу становить:

$$2 \cdot Z_{3 \min} = 2 \cdot \left(30 + \sqrt{1,62 + 0,5} \right) = 63 \text{ мкм} \quad (3.16)$$

Допуск після обробки h9.

Розрахунок номінальних припусків:

$$2 \cdot Z_{0i} = 2 \cdot Z_{i \min} + T_{i-1} \quad (3.17)$$

Для чорнового проходу:

$$2 \cdot Z_{01} = 2 \cdot Z_{1 \min} + T_{2-1} \quad (3.18)$$

$$2 \cdot Z_{01} = 2008 + (300 - (-500)) = 2808 \text{ мкм}$$

Для чистового проходу:

За ГОСТ 25346-89:

$$T_1 = 430 \text{ мкм} \quad (3.19)$$

$$2 \cdot Z_{02} = 2 \cdot Z_{2 \min} + T_{2-1} \quad (3.20)$$

$$2 \cdot Z_{02} = 564 + 430 = 994 \text{ мкм}$$

Для шліфувального проходу:

$$T_2 = 110 \text{ мкм} \quad (3.21)$$

$$2 \cdot Z_{03} = 2 \cdot Z_{3 \min} + T_{3-1} \quad (3.22)$$

$$2 \cdot Z_{03} = 63 + 110 = 173 \text{ мкм}$$

Розрахунок загального припуску:

За формулою (2.49) [6]:

$$2 \cdot Z_0 = 2 \cdot Z_{01} + 2 \cdot Z_{02} + 2 \cdot Z_{03} = 3975 \text{ мкм} \quad (3.23)$$

Розрахунок номінальних розмірів деталі на переходах.

Для готової деталі:

$$d_{\text{дет}} = 30 \text{ мм} \quad (3.24)$$

На чистовому проході:

$$d_2 = d_{\text{дет}} + 2 \cdot Z_{03} \quad (3.25)$$

$$d_2 = 30000 + 173 = 30173 \text{ мкм} = 30,173 \text{ мм}$$

$$\widetilde{d}_2 = 30,2 \text{ мм} \quad (3.26)$$

На чорновому проході:

$$d_1 = \widetilde{d}_2 + 2 \cdot Z_{02} \quad (3.27)$$

$$d_1 = 30200 + 994 = 31194 \text{ мкм} = 31,194 \text{ мм}$$

$$\widetilde{d}_1 = 31,2 \text{ мм} \quad (3.28)$$

Для початкової заготовки:

$$d_{\text{заг}} = \widetilde{d}_1 + 2 \cdot Z_{01} \quad (3.29)$$

$$d_{\text{заг}} = 31200 + 2808 = 34008 \text{ мкм} = 34,008 \text{ мм}$$

$$\widetilde{d}_{\text{заг}} = 34 \text{ мм} \quad (3.30)$$

Уточнене значення загального припуску заготовки:

$$2 \cdot \widetilde{Z}_0 = \widetilde{d}_{\text{заг}} - d_{\text{дет}} \quad (3.31)$$

$$2 \cdot \widetilde{Z}_0 = 34 - 30 = 4 \text{ мм}$$

3.4 Розрахунок сил різання

Також розрахуємо сили різання, що виникають під час чорнової токарної обробки:

Силу різання N доцільно розкласти на складові, орієнтовані вздовж координатних осей верстата, а саме:

- тангенціальну складову P_z ;
- радіальну складову P_y ;
- осьову складову P_x .

У випадку зовнішнього поздовжнього точіння зазначені складові визначаються за наступними аналітичними виразами:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p \quad (3.32)$$

C_p та показники степені для конкретних умов обробки для складових різання наведені в таблиці 22[6]:

Для P_z :

$$C_p = 300; x = 1; y = 0,75; n = -0,15 \quad (3.33)$$

Для P_y :

$$C_p = 243; x = 0,9; y = 0,6; n = -0,3 \quad (3.34)$$

Для P_x :

$$C_p = 339; x = 1; y = 0,5; n = -0,4 \quad (3.35)$$

Коефіцієнт K_p – це добуток ряду коефіцієнтів, які враховують фактичні умови різання:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (3.36)$$

Числові значення цих коефіцієнтів наведені в табл. 9, 10, 23 [6]:

Для P_z :

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{850}{750}\right)^{0,75} = 1,1 \quad (3.37)$$

$$K_{\varphi p} = 0,94; K_{\gamma p} = 1; K_{\lambda p} = 1; K_{rp} = 0,93 \quad (3.38)$$

Для P_y :

$$K_{\varphi p} = 0,77; K_{\gamma p} = 1; K_{\lambda p} = 1; K_{rp} = 0,82 \quad (3.39)$$

Для P_x :

$$K_{\varphi p} = 1,11; K_{\gamma p} = 1; K_{\lambda p} = 1; K_{rp} = 1 \quad (3.40)$$

Тоді:

Для P_z :

$$K_p = 1,1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93 = 0,96 \quad (3.41)$$

Для P_y :

$$K_p = 0,77 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,82 = 0,63 \quad (3.42)$$

Для P_x :

$$K_p = 1,11 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,11 \quad (3.43)$$

Сили різання:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,4^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 226^{-0,15} \cdot 0,96 \approx 535 \text{ Н} \quad (3.44)$$

$$P_y = 10 \cdot 300 \cdot 1,4^{0,9} \cdot 0,2^{0,6} \cdot 226^{-0,3} \cdot 0,96 \approx 155 \text{ Н} \quad (3.45)$$

$$P_x = 10 \cdot 300 \cdot 1,4^1 \cdot 0,2^{0,5} \cdot 226^{-0,4} \cdot 0,96 \approx 270 \text{ Н} \quad (3.46)$$

3.5 Технічне пристосування

3.5.1 Принцип роботи пристосування

У якості технологічного пристосування було вибрано трьохкулачковий самоцентрувальний патрон. Такі токарні патрони, які також відомі як затискні механізми, встановлюються на передній частині шпинделя токарного верстата.

Їхня конструкція дозволяє створювати значне зусилля затиску заготовки, що сприяє надійному її утриманню під час обробки. Крім того, патрон забезпечує точне центрування деталі та дотримання перпендикулярності відносно осі обробки. На рисунку нижче ескіз трьохкулачкового патрону:

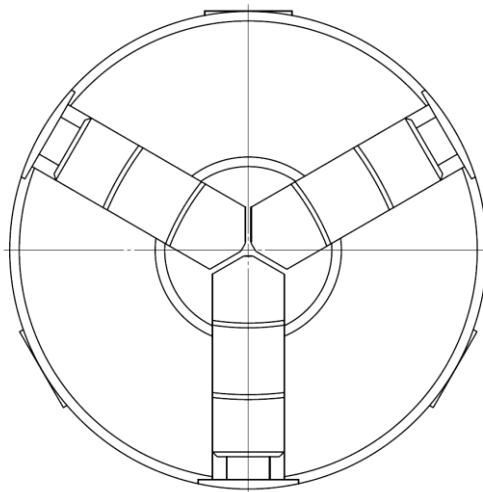


Рисунок 3.1 – Ескіз трьохкулачкового патрону

3.5.2 3Д Моделивання пристосування

У даному розділі розглянуто процес створення тривимірної моделі трьохкулачкового самоцентрувального патрона, який використовується як технологічне пристосування при токарній обробці. Метою 3D моделювання є отримання точної віртуальної копії патрона, яка дозволяє дослідити його геометричні параметри, перевірити взаємодію окремих елементів конструкції та підготувати модель до подальшого використання у симуляціях чи для створення технічної документації. 3Д модель представлена нижче:

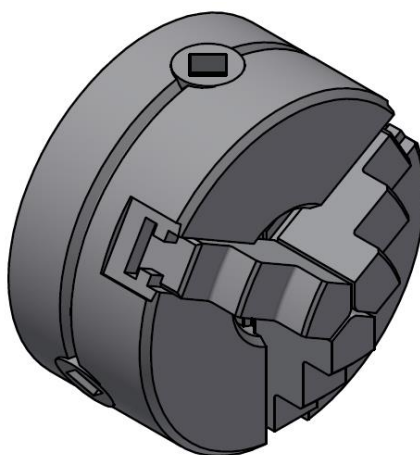


Рисунок 3.2 – 3д модель трьохкулачкового патрону

3.5.3 Розрахунок сил затиску

На деталь, що закріплена в патроні діють складові сил різання P_z , P_y , P_x .

Враховуючи ці сили розрахуємо сили затиску в трьохкулачковому патроні[8]:

$$Q = \frac{k \cdot M_{\text{різ}}}{3 \cdot f \cdot R} = \frac{k \cdot P_z \cdot R_0}{3 \cdot f \cdot R} \quad (3.47)$$

де:

k – коефіцієнт запасу(1.4);

$M_{\text{різ}}$ – момент від складової сили різання P_z ;

P_z – складова сила різання(535 Н);

R_0 – радіус обробленої деталі(30 мм);

R – радіус зажатої в кулачках деталі(32 мм);

f – коефіцієнт тертя між(0.5).

Розрахунок :

$$Q = \frac{1.4 \cdot 535 \cdot 30}{3 \cdot 0.5 \cdot 32} = 468.125 \text{ Н}$$

4. СИМУЛЯЦІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТА В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ FUSION 360

4.5 Параметри симуляції

Для забезпечення вірогідності цифрової репрезентації процесу виготовлення інструмента було використано програмне забезпечення Autodesk Fusion 360, яке є одним із провідних CAD/CAM/CAE-комплексів для інженерного моделювання, проектування та чисельної симуляції. Основною метою симуляції є виявлення потенційних технологічних недоліків у процесі механічної обробки, оптимізація траєкторій інструмента та оцінка часових і енергетичних витрат при виготовленні деталі.

Параметри симуляції було задано відповідно до технічних характеристик інструмента та обраної технології обробки. До ключових параметрів, що були враховані під час налаштування симуляційного середовища, належать:

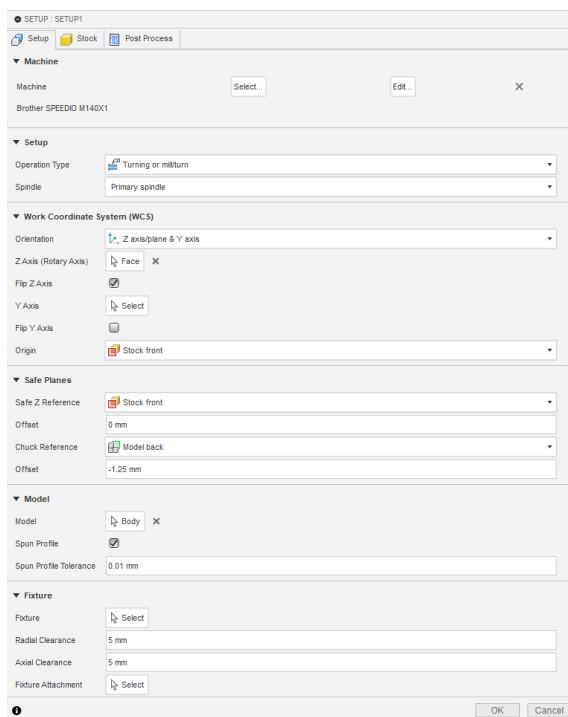


Рисунок 4.1 – Параметри заготовки Fusion 360(вкладка1)

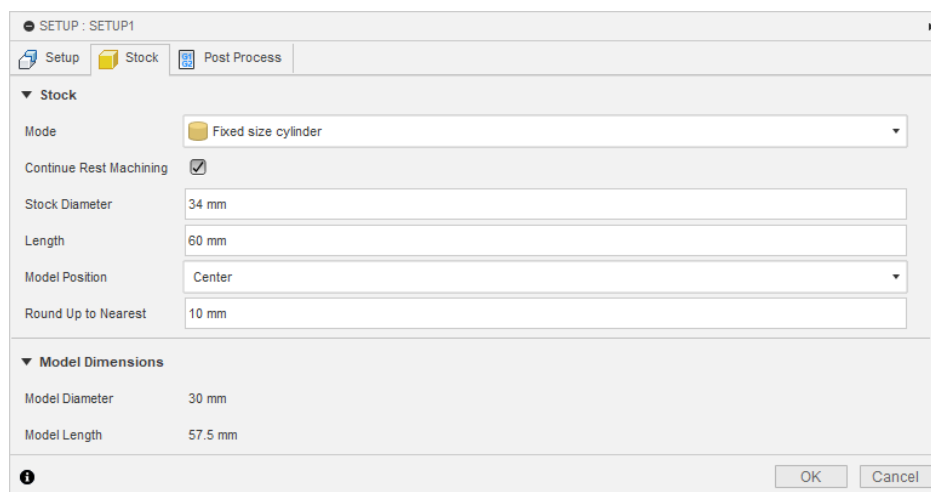


Рисунок 4.2 – Параметри заготовки в Fusion 360 (вкладка2)

4.6 Симуляція виготовлення інструмента

З метою візуалізації та перевірки технологічного процесу виготовлення державки свердла було проведено симуляцію механічної обробки у середовищі Autodesk Fusion 360. Цей етап дослідження є важливою складовою інженерного аналізу, оскільки дозволяє наочно змодельовати послідовність технологічних операцій, виявити можливі похибки або конфлікти в обробці ще до фактичного виготовлення деталі, а також оптимізувати параметри інструментальної траєкторії.

Об'єктом симуляції виступає державка — елемент свердлильного інструмента, призначений для надійного закріплення робочої частини свердла та передачі обертального моменту від приводу. Виготовлення державки передбачає виконання комплексу токарних фрезерних, свердлильних операцій із застосуванням відповідного ріжучого інструменту.

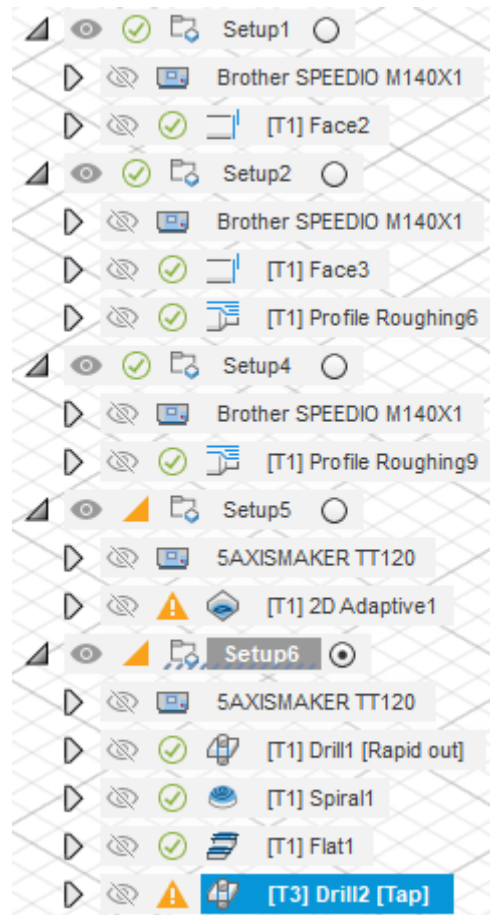
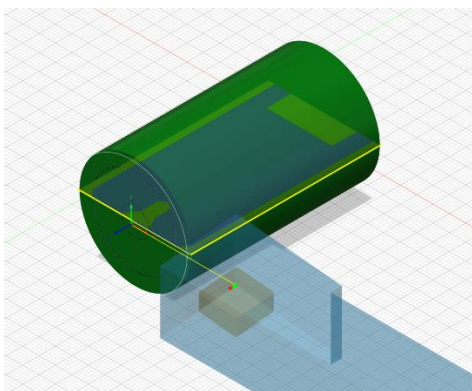
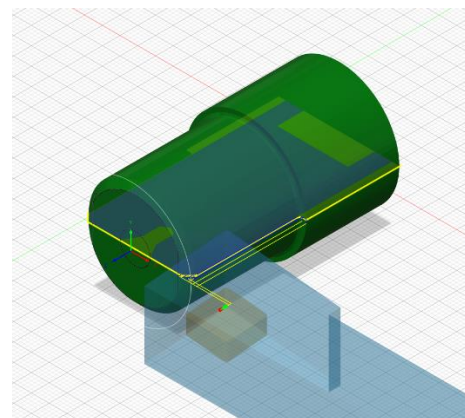


Рисунок 4.3 – Список операцій в Fusion 360

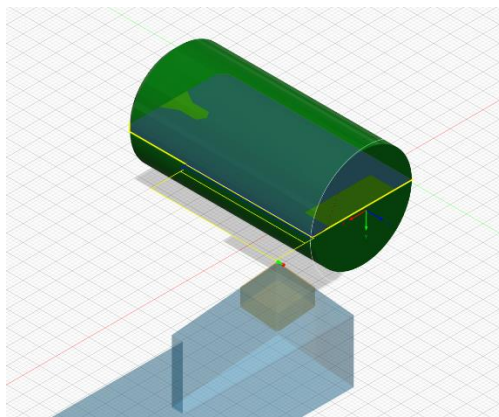
У ході симуляції було змодельовано умови обробки, що максимально наближені до реальних, параметрів інструмента, режимів різання та типу заготовки. Перелік операцій за технологічним процесом розробленим в минулих розділах:



а)



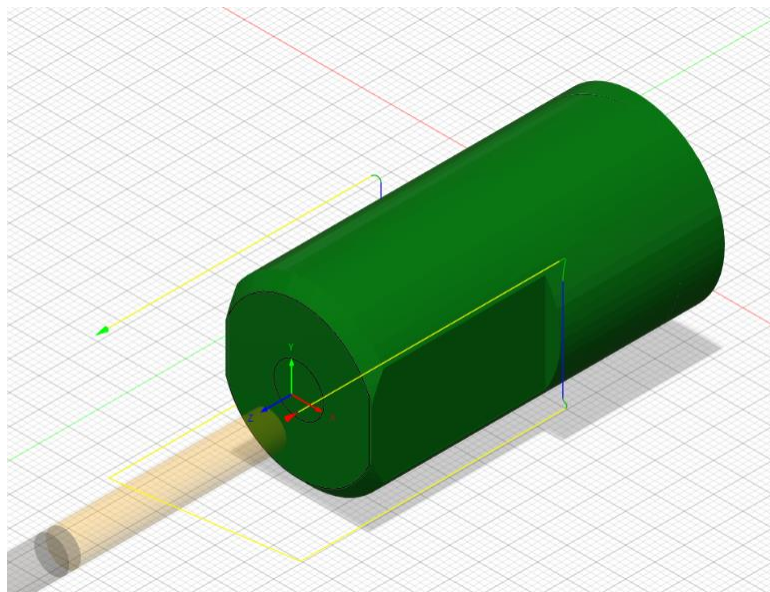
б)



в)

Рисунок 4.4(а-в) – Операції 010-015

В операціях 010-015 проводиться: підрізання правого торця заготовки; Свердління центрального отвору; Підрізання лівого торця заготовки. Свердління центрального отвору; Чорнова та чистова обробка заготовки.

**Рисунок 4.5 – Операція 020**

В операції 020 фрезеруються лиски.

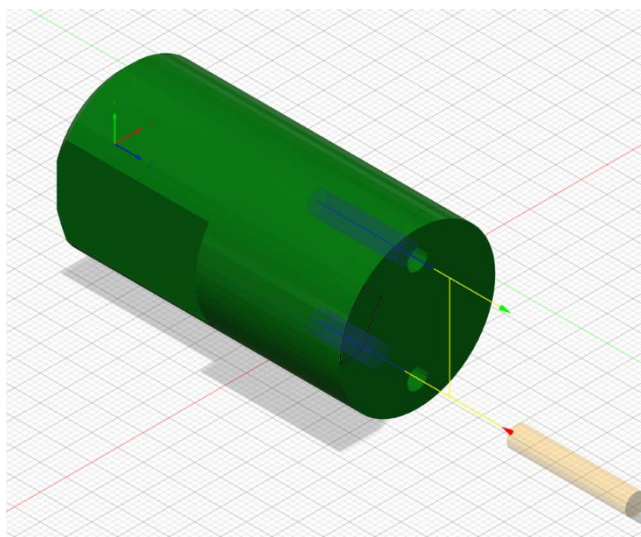
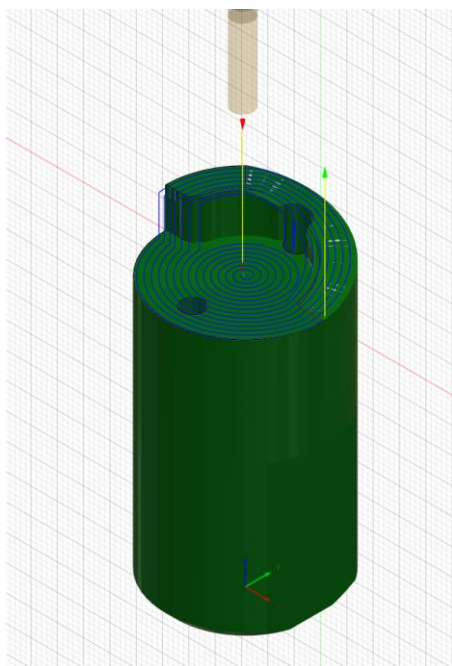
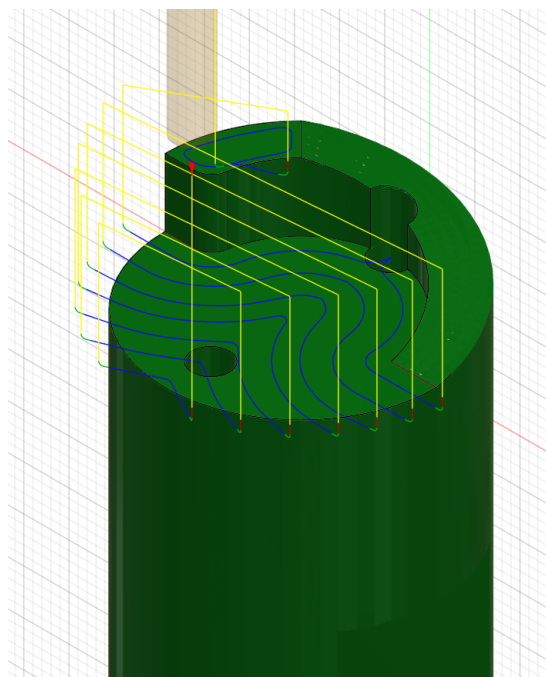


Рисунок 4.6 – Операція свердління

Свердління двох отворім діаметром 4 мм.



а)



б)

Рисунок 4.7(а-б) – Фрезерна операція 025

Фрезерування відмічених поверхонь.

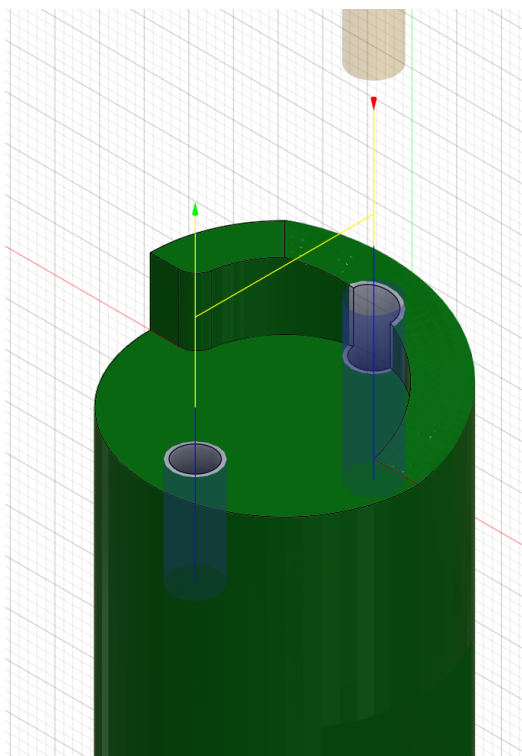


Рисунок 4.8 – Операція 035

Розгортання 2 отворів M5x0,8.

4.7 Аналіз отриманих даних

Результати симуляції засвідчили успішність обраної технологічної стратегії: усі етапи обробки державки свердла були виконані без виявлених колізій або технологічних відхилень. Геометричні параметри готової деталі відповідають вихідним кресленням, припуски були видалені повністю, а якість обробленої поверхні перебуває в межах допустимих норм. Також підтверджено ефективність обраної стратегії обробки, яка забезпечила рівномірне навантаження на інструмент і оптимальне використання машинного часу.

Таким чином, моделювання виготовлення державки в середовищі Fusion 360 підтвердило технологічну доцільність обраного процесу, що дозволяє перейти до етапу фізичного виготовлення.

ВИСНОВКИ

У межах дипломного проєкту було проведено комплексне дослідження проблеми утворення тригранних отворів, зокрема, вивчено сучасні методи обробки матеріалів, історію розвитку ріжучого інструменту, а також проаналізовано технічні вимоги до інструментів даного типу. Основним результатом проєкту стала розробка модульного свердла, конструкція якого забезпечує високу точність, зносостійкість та економічність у виготовленні та експлуатації.

Запропонована конструкція передбачає розділення свердла на державку та змінне лезо, що дозволяє оперативно замінювати ріжучу частину без необхідності повної заміни інструменту. У процесі проєктування було враховано фізико-механічні властивості матеріалів, умови експлуатації та технологічні особливості виготовлення елементів свердла. Проведено аналітичні розрахунки геометричних параметрів та задніх кутів, виконано тривимірне моделювання інструменту та змодельовано процес його виготовлення у CAD/CAM-середовищі.

Впровадження розробленого інструменту дозволяє: підвищити якість та точність створення тригранних отворів; знизити витрати на виробництво завдяки змінним елементам конструкції; розширити можливості використання інструменту для обробки різних матеріалів та діаметрів отворів; забезпечити довговічність інструмента завдяки використанню високоякісних матеріалів (сталь 45 для державки та P6M5K5 для леза).

Таким чином, розроблене свердло відповідає сучасним вимогам до ріжучого інструменту та має значний потенціал для впровадження в машинобудівному виробництві.

Список використаних джерел

1. Fusion Product Documentation – URL:
<https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/>
2. Inventor Product Documentation – URL:
<https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2025/ENU/>
3. What Is Abrasive Waterjet Cutting? [Електронний ресурс] // ZZBETTER. — URL: <https://www.zzbetter.com/uk/new/What-Is-Abrasive-Waterjet-Cutting.html> (дата звернення: 18.04.2025)
4. Електроерозійна обробка [Електронний ресурс] // Вікіпедія — вільна енциклопедія. — URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Електроерозійна_обробка (дата звернення: 18.04.2025)
5. Технологія гідроабразивного різання металу [Електронний ресурс] // ToolsUA. — URL:
<https://toolsua.com.ua/page/185.html?srsltid=AfmBOoovkURZrFSсAx-7с6екTZuQzSrtCvuA1T5fWPHI70l-rRIzJo9L> (дата звернення: 18.04.2025).
6. Кувальдин Ю. І., Перевошиков В. Д. Розрахунок припусків та проміжних розмірів при обробці різанням : навч. посіб. / Ю. І. Кувальдин, В. Д. Перевошиков. – К. : [б. в.], 157 с.
7. Лазерне різання [Електронний ресурс] // Вікіпедія — вільна енциклопедія. — URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Лазерне_різання (дата звернення: 18.04.2025)
8. Равська Н. С., Мельничук П. П., Касьянов А. Г., Родін Р. П. Технологія інструментального виробництва: Підручник для студентів спеціальностей: 7.090202 "Технологія машинобудування", 7.090203 "Металорізальні верстати та системи", 7.090204 "Інструментальне виробництво". - Житомир: ЖІТІ, 2001. - 555 с.
9. Солодкий В. І. Основи проектування різального інструмента. Частина 1 / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Київ: Політехніка, 2020. – 220 с.
10. Солодкий В. І. Основи проектування різального інструмента. Частина 2 / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Київ: Політехніка, 2021. – 178 с.
11. Технологія гідроабразивного різання металу [Електронний ресурс] // ToolsUA. — URL:
<https://toolsua.com.ua/page/185.html?srsltid=AfmBOoovkURZrFSсAx-7с6екTZuQzSrtCvuA1T5fWPHI70l-rRIzJo9L> (дата звернення: 18.04.2025).

12. Якубов Е. Я. Свердло для утворення тригранних отворів : дипломний проєкт на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи інженерного дизайну» спеціальності 131 «Прикладна механіка» / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут, Кафедра конструювання машин ; наук. керівник: к.т.н., доц. Солодкий В. І. – Київ, 2023. – 63 с. – URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e34bf8be-f1aa-4680-a6e0-ef3bfc36bbab/content>

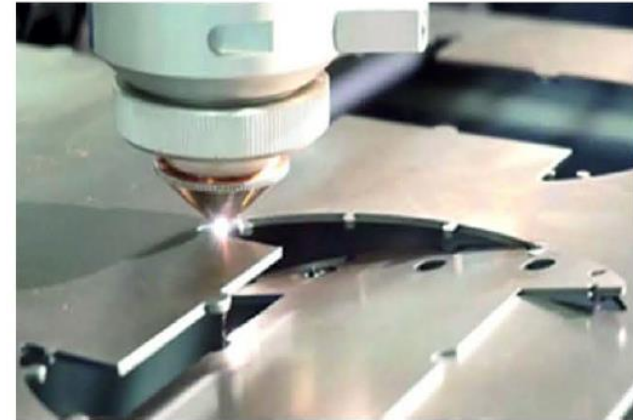
ДОДАТКИ

Способи отримання багаторгранних отворів

Електроерозійна обробка - висока точність, але має велику вартість обладнання



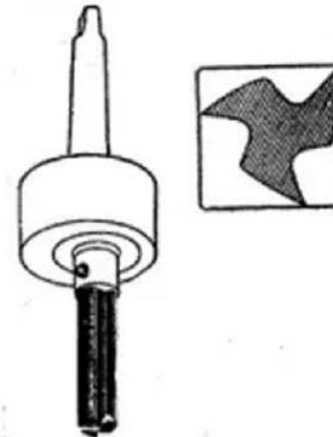
Лазерне різанням - висока продуктивність і точність, але має велику вартість обладнання, обмеженість за товщиною матеріалів і енергетичні витрати



Гідроабразивне різання - екологічне, точне і універсальне. Але має низьку швидкість, витрати на абразивні матеріали та часті механічні несправності

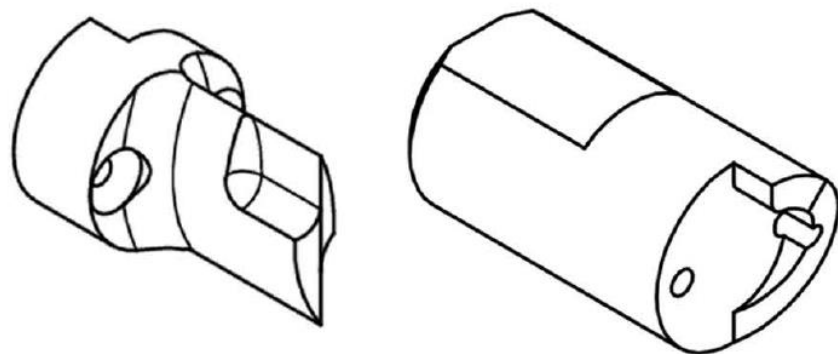


Свердління - ефективний, доступний та економічний спосіб. Не вимагає високої кваліфікації робітника.



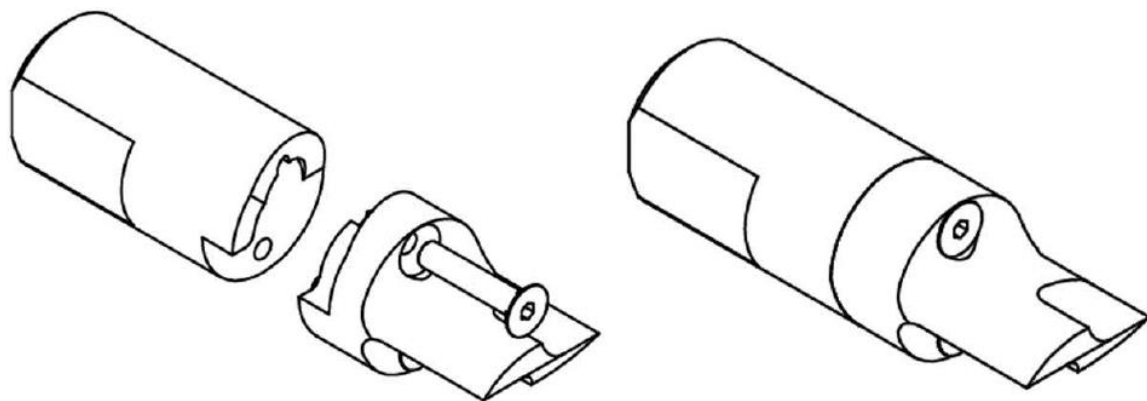
На фото зображено Свердло Уаттса, принцип роботи якого аналогічне для тригранних отворів

Тривимірна модель свердла

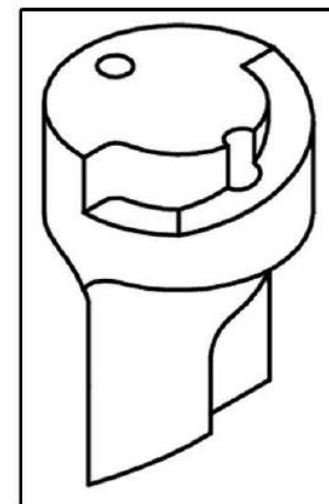
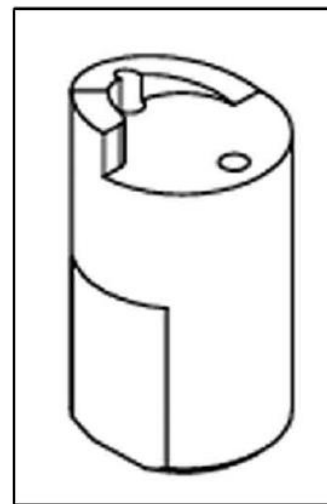


Свердло складається з двох частин: державки та леза, які з'єднані між собою двома болтами DIN 7991 - M5x25

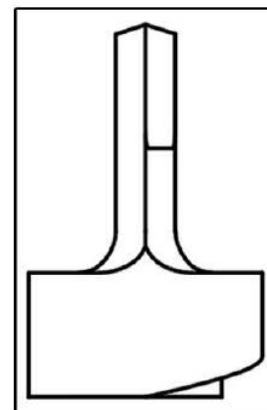
Візуалізація збірки свердла



Використання сучасних систем автоматизованого проектування дозволяє створити точну геометричну модель свердла, перевірити коректність з'єднання складових частин та оцінити ергономіку й функціональність.



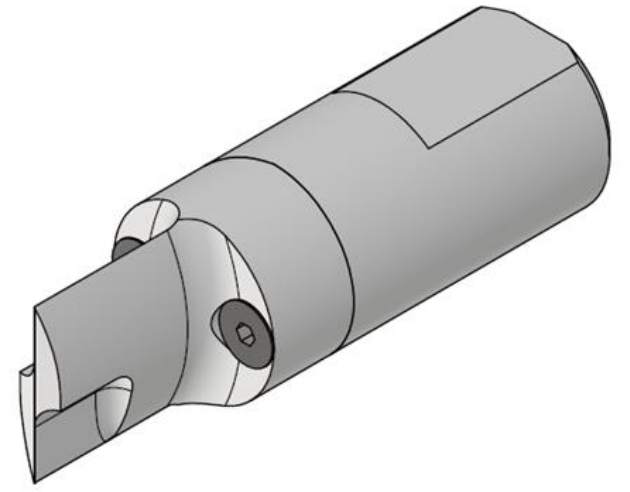
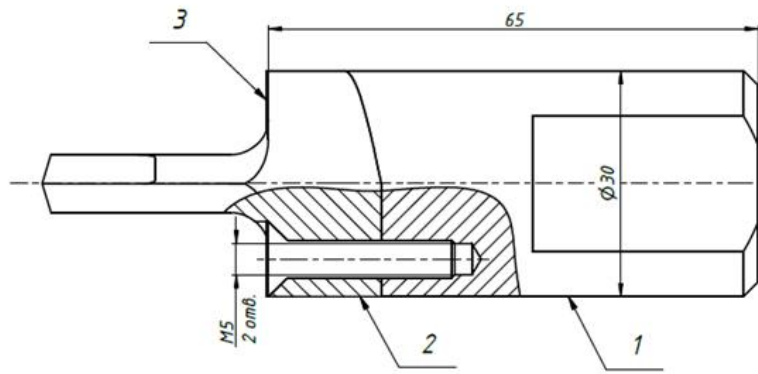
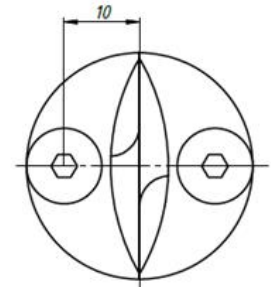
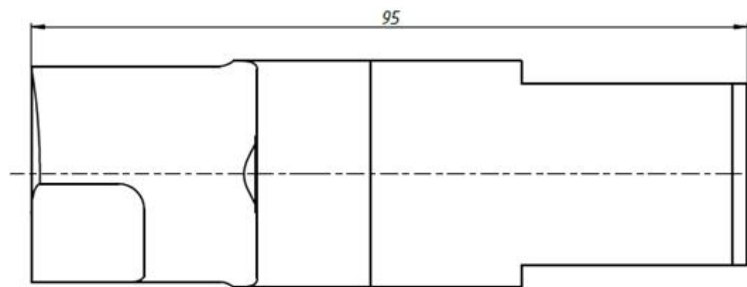
Компонувальне рішення свердла передбачає модульну архітектуру, що забезпечує зручність експлуатації та технічного обслуговування.



Державка - циліндричної форми з двома фрезерованими поверхнями для надійного кріплення в патроні та центруючим пазом для фіксації ріжучої частини.

Пази в лезі та державці свердла забезпечують точне позиціонування леза.

$$\alpha_i = 22^\circ,$$
$$\gamma = 17^\circ$$



Проб. приточен.	Спроб. №	Побл. и дата	Инд. № дробл.	Взам. инб. №	Побл. и дата	Инд. № побл.
-----------------	----------	--------------	---------------	--------------	--------------	--------------

						ДП.М12.000 СК		
						Свердло збирне для трикутних отворів		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.	Кравченко						2:1	
Проб.	Красновид				Лист	Листов	1	
Т. контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського			
Нач.отд.					Формат А2			
Утв.					Копировал			

ДП.М12.01.003

Перв. примен.

Справ. №

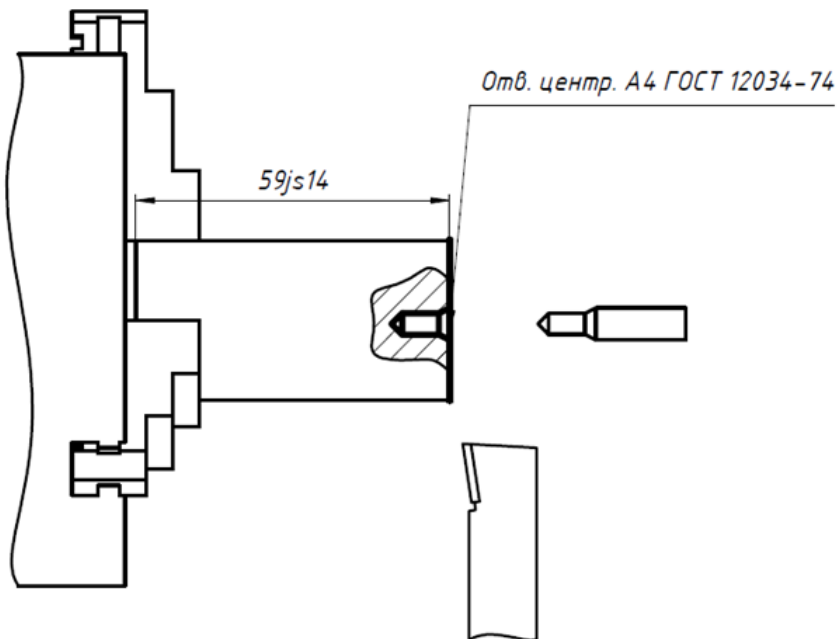
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



№	Операция	Инструмент	Швидкість різання м/хв	F мм/об
010	Токарна	Різець підрізний відігнутий T15K6	200	0,3
		Свердло центровальне $\varnothing 4$ мм Р6М5 Туп А	20	0,05

ДП.М12.01.003

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Кравченко					1:1
Пров.		Красновид					
Т. контр.					Лист	Листов	1
Нач.отд.							
Н. контр.							
Утв.							

Копировал

Формат А4

ДП.М12.01.004

Перв. примен.

Справ. №

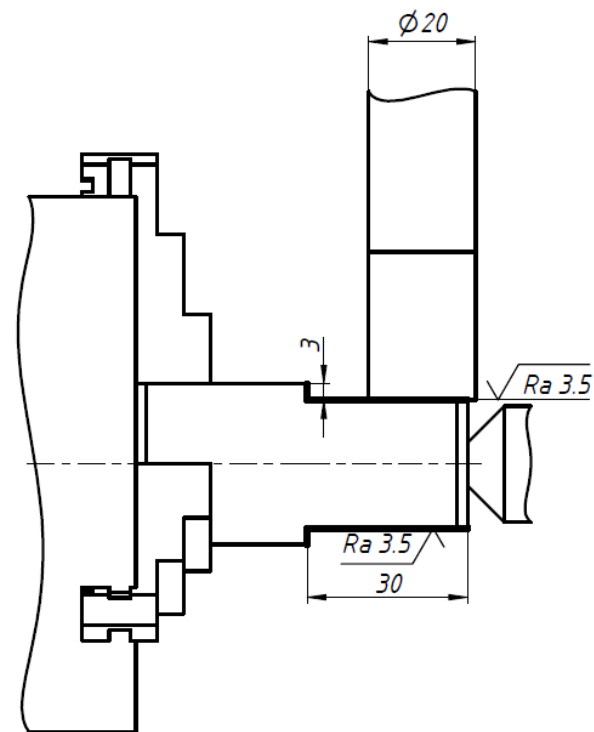
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



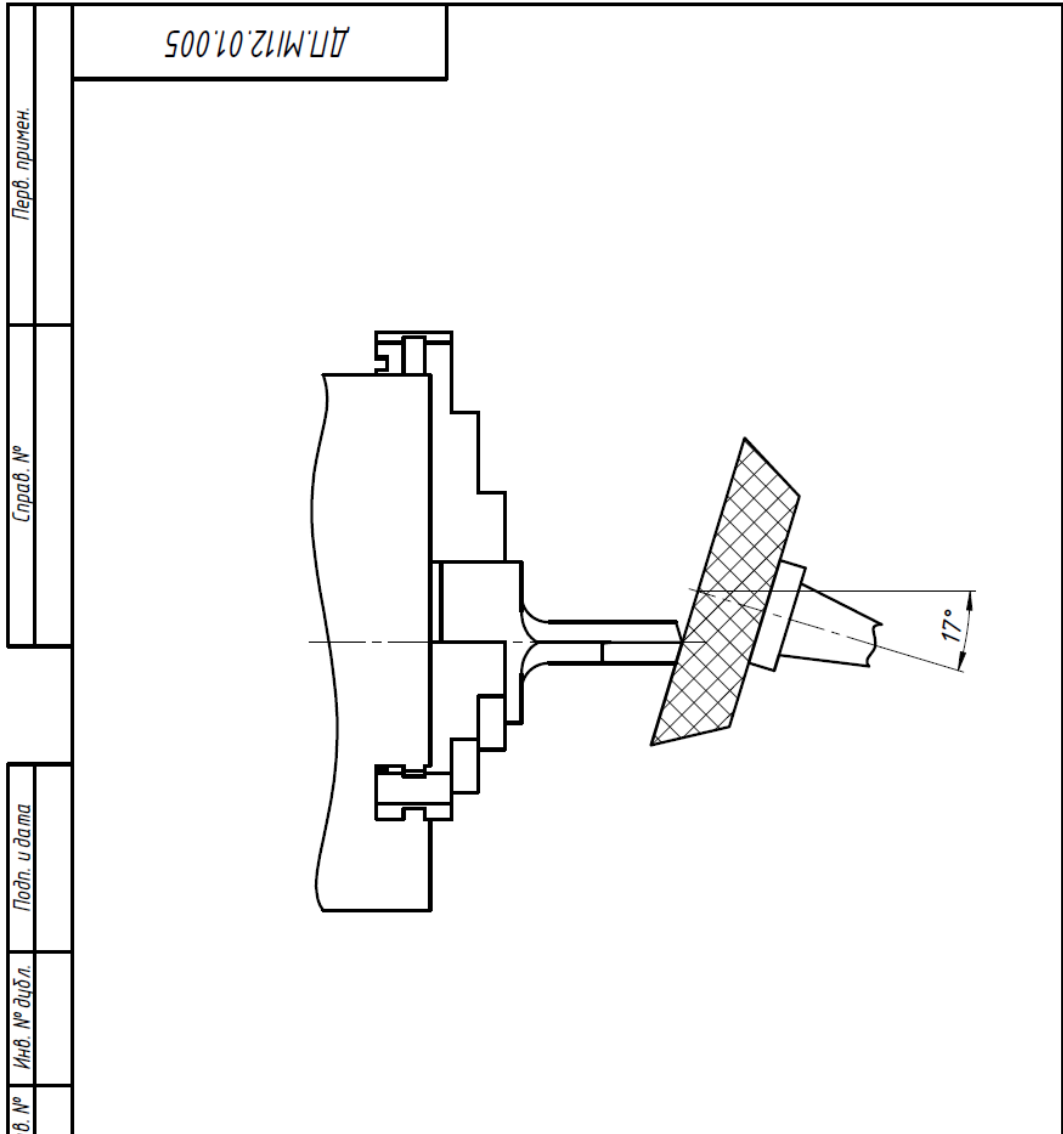
№	Операция	Инструмент	V м/хв	F мм/зуб
020	Фрезерна	Фреза кінцева $\varnothing 20$ DD-CUT HSS DNHX 20X30	100	0,1

ДП.М12.01.004

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Кравченко					1:1
Пров.		Красновид					
Т. контр.					Лист	Листов	1
Нач.отд.							
Н. контр.							
Утв.							

Копировал

Формат А4



№	Операція	Інструмент	V м/с	Fпов м/хв
060	Заточувальна	Прецизійний шліфувальний круг CBN 350x20x127	25	1

ДП.М12.01.005				
Ескіз операції 060 Заточувальна				
Лист	№ док.м.	Подп.	Дата	Лит.
Разраб.	Кравченко			
Пров.	Красновид			
Т. контр.				Лист
Нач.отд.				Листов
Н. контр.				1
Чтв.				

Копіровал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A2			ДП.М12.01.006 СК	Трьохкулачковий патрон		
				<u>Деталі</u>		
		1		Корпус	1	
		2		Фланець	1	
		3		Спіральний диск	1	
		4		Шестерня	3	
		5		Кулачок	3	

ДП.М12.01.006 С				
Эм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата
Разраб	Кравченко			
Перевіри	Красновид			
Н.контр				
Затв.				

Свердло збірне для трикутних отворів		
Лит	Лист	Листів
	1	1

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Підпис дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

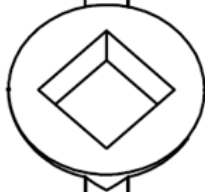
Подп. и дата

Инв. № подл.

ДП.М12.01.006 СК

76

53



$\Phi 60,53$
 $\Phi 35$

25

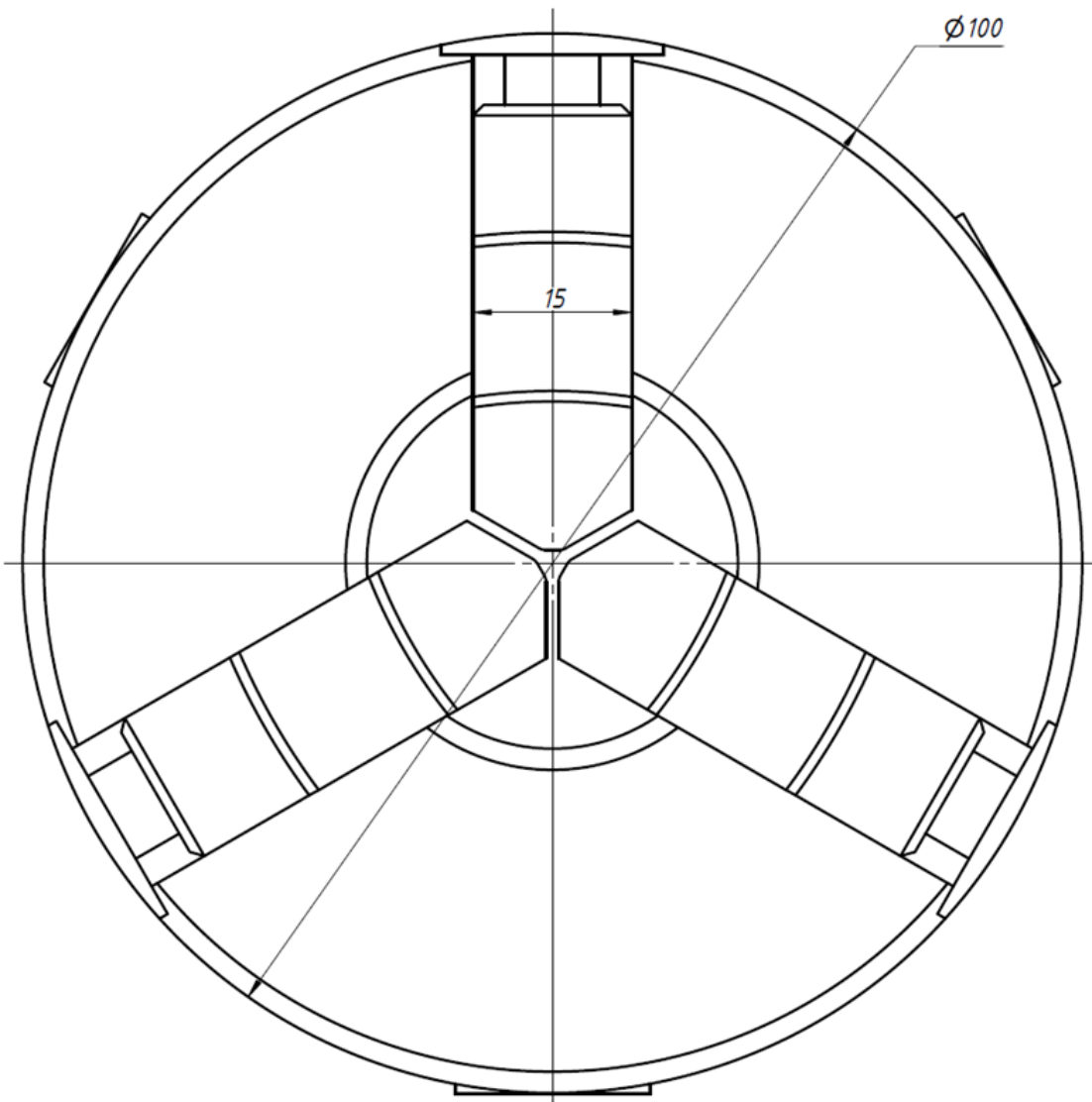
2

4

3

1

5



$\Phi 100$

15

Перв. примен.
Справ. №
Инв. № подл.
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата

A

ДП.М12.01.006 СК

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Кравченко					2:1
Пров.		Красновид					
Т. контр.					Лист	Листов	1
Нач.отд.					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. контр.					Формат А3		
Чтв.					1 Копировал		

Трьохкулачковий патрон

