

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

До захисту допущено:

Завідувач кафедру

_____ **Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО**

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи
інженерного дизайну»**

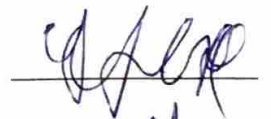
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Свердло рушничне для оброблення легованих сталей»

Виконав (-ла):
студент (-ка) IV курсу, групи МІ-81
Сергієнко Іван Андрійович

Керівник:
Доцент, к.т.н.
Ковальова Любов Іванівна

Рецензент:
В.о. зав. кафедри,
д.т.н., проф.
Луговський Олександр Федорович



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

Студент (-ка) 

Київ – 2022

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Інструментальні системи інженерного дизайну»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою

_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Сергієнку Івану Андрійовичу

1. Тема проекту «Свердло рушничне для оброблення легованих сталей», керівник проекту Ковальова Любов Іванівна, доц. к. т. н., затверджені наказом по університету від «07» 06 2022 р. № 923–С__

2. Термін подання студентом проекту 14.06.2022

3. Вихідні дані до проекту: матеріал деталі сталь – 40ХН, діаметр отвору – Ø20JS9 мм, шорсткість поверхні – Ra 1,6, довжина отвору – 250 мм, отвір глухий, різальна – частина змінна пластина із твердого сплаву, спосіб кріплення різального елемента – механічний, кількість різальних елементів – один, підведення ЗОР – внутрішнє.

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз та синтез конструкції свердла, проектування рушничного свердла, технологія виготовлення свердла рушничного, технологічне пристосування.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): аналіз конструкцій рушничного свердла, алгоритм розроблення 3D моделі свердла, робочий кресленик свердла,

графічне зображення технологічних операцій, робочий кресленик диску ділильного, збірний кресленик пристосування, алгоритм розробки керуючої програми.

6. Дата видачі завдання 20 квітня 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Аналіз існуючих конструкцій рушничних свердл.	4.05.2022 вик. 	
2.	Розрахунок рушничного свердла. Розробка 3D моделі свердла та робочого кресленика корпусу.	15.05.2022 вик. 	
3.	Оптимізація режимів різання свердла.	20.05.2022 вик. 	
4.	Оптимізація технологічного процесу.	24.05.2022 вик. 	
5.	Розробка технологічного процесу виготовлення корпусу рушничного свердла.	30.05.2022 вик. 	
6.	Розробка пристосування поворотного для фрезерування поздовжніх пазів корпусу свердла.	4.06.2022 вик. 	
7.	Оформлення пояснювальної записки	12.06.2022 вик. 	
8.	Попередній захист	14.06.2022	

Студент



Іван СЕРГІЄНКО

Керівник

Любов КОВАЛЬОВА

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО
"___" _____ "20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ ДО ПРОЕКТУ	
Тема проекту	Свердло рушничне для оброблення легованих сталей
Зміст проекту	Розробка конструкції і технології виготовлення рушничного свердла із механічним кріпленням твердосплавних пластин
Технічні умови до проекту	1. Матеріал деталі — сталь 40XH 2. Параметри отвору — Ø 20 JS9 3. Шорсткість поверхні 1.6 Ra 4. Довжина отвору — 250 мм 5. Отвір глухий 6. Різальна частина — змінна пластина із твердого сплаву 7. Спосіб кріплення різального елемента — механічний 8. Кількість різальних елементів — один 9. Підведення ЗОР — внутрішнє
Особливі вимоги	1. Прямолінійність отвору не більше 0.05 мм/м 2. Концентричність отвору не більше отвору 0.4 мм/м
ЛИСТ	ЗМІСТ ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ
СП	Аналіз конструкцій збірних рушничних свердл
ОП	1. 3D модель свердла 2. Складальний кресленик свердла 3. Робочий кресленик корпусу свердла
ТС	Графічне зображення технологічних операцій:

КС	Розробка поворотного пристосування: 1. 3D модель пристосування 2. Кресленик деталі пристосування 3. Складальний кресленик пристосування	
СС	Розробка керуючої програми для виготовлення хвостовика свердла на верстатах із ЧПК.	
ДС	Оптимізація режимів різання рушничного свердла	
Студент _____	дата " 21 " 04 "2022 р	
Керівник _____	дата " 21 " 04 "2022 р	
Прийняті позначення: СП – стан питання ОП – об'єкт проектування ТС – технологічна складова		КС – конструкторська складова СС – спеціальна складова ДС – дослідницька складова

АНОТАЦІЯ

Метою даної роботи є розробка рушничного свердла для обробки глибоких отворів у деталях із легованих сталей із діаметром отворів 20 мм, глибиною 250 мм. Відповідно до завдання була обрана конструкція свердла із твердосплавними змінними пластинами. Розроблена 3D модель свердла, збірний та робочий кресленики, проведена оптимізація режимів різання розроблений оптимальний технологічний процес виготовлення корпусу свердла, написана керуюча програма для верстату із ЧПК. Розроблено поворотне пристосування, для якого розраховані сили затиску та похибка розташування.

Ключові слова: рушничне свердло, змінна пластина, легована сталь, оптимізація, глибоке свердління.

ABSTRACT

The goal of this project is development of gun-drill for machining deep drills in parts out of alloyed steel with hole diameter of 20 mm, and depth of 250 mm. With accordance to assignment gun-drill with indexable insert was chosen. The 3D model of a drill was designed, from which the assembly blueprint was designed and body blueprint, optimization of cutting parameters was performed, as well as optimization of technological route of the drill body, GM code was written. Turning devise was designed, for which clamping force and positioning error were calculated.

Keywords: gun-drill, indexable insert, alloyed steel, optimization, deep hole drilling.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛА.....	9
1.1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ.....	9
1.2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ.....	11
1.3 АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ РУШНИЧНОГО СВЕРДЛА.....	11
1.4 ОПИС ПРИЙНЯТОЇ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛА	18
2 ПРОЕКТУВАННЯ РУШНИЧНОГО СВЕРДЛА	20
2.1 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МАТЕРІАЛУ ІНСТРУМЕНТУ.....	20
2.2 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТОРСЬКИХ ПАРАМЕТРІВ СВЕРДЛА	21
2.3 РОЗРОБКА 3D МОДЕЛІ	24
2.5 ПАРАМЕТРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	35
2.6 ПРИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ.....	39
3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВЕРДЛА РУШНИЧНОГО	41
3.1 ВИБІР ЗАГОТОВКИ.....	41
3.2 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	41
3.3 РОЗРАХУНОК ПРИПУСКІВ.....	49
3.4 МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ СВЕРДЛА.....	55
3.5 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ	61
3.6 РОЗРОБЛЕННЯ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ	69
4 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРИСТОСУВАННЯ	72
4.1 КОНСТРУКЦІЯ ПОВОРотноГО ПРИСТОСУВАННЯ.....	72
4.2 ОПИС РОБОТИ ПОВОРотноГО ПРИСТОСУВАННЯ	74
4.3 РОЗРАХУНОК СИЛИ ЗАТИСКУ	75
4.4 РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ РОЗТАШУВАННЯ	76
ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	79
ДОДАТКИ	82

ВСТУП

Із розвитком машинобудування, також розвивається сфера використання глибоких отворів, та інструментів потрібних для цього. Через особливість будови даних отворів, їх обробка є ускладненою та конвенціональні інструменти, не можуть вирішувати дану задачу.

Тому для цього були розроблені спеціальні інструменти, одним із таких є рушничні свердла, які широко використовуються для обробки глибоких отворів діаметром до 30 мм. Вони дозволяють досягати високої якості та точності не зважаючи на проблематику обробки, даних отворів.

Метою даної роботи є розроблення рушничного свердла, яке має мати можливість обробляти леговану сталь. При цьому отримувати високу якість поверхні, та точність заданого отвору. Для цього буде проведений аналіз існуючих рішень даної обробки, прийняті оптимальні рішення щодо його будови, розроблена технологія для його виготовлення та пристосування для полегшення технологічного процесу.

1 СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛА

1.1 Аналіз вихідних даних

Вихідні дані:

- Матеріал деталі — сталь 40ХН;
- Діаметр отвору — 20 JS9;
- Довжина отвору — 250 мм;
- Шорсткість поверхні 1.6 Ra;
- Прямолінійність отвору 0,05 мм/м;
- Концентричність отвору не більше 0,4 мм/м;
- Отвір глухий;
- Різальна частина — змінна пластина із твердого сплаву;
- Спосіб кріплення різального елементу — механічний;
- Кількість різальних елементів — один;
- Підведення ЗОР — внутрішнє;
- Тип верстату — оброблюваний центр.

Як верстат на якому буде використовуватися рушничне свердло приймаємо оброблюваний центр для фрезерування та глибокого свердління TBT BW220-Series (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 — TBT BW220-Series

До його параметрів можна віднести:

- Два шпинделя;
- Діаметри використовуваних свердел 3–25 мм;
- Максимальна вага заготовки 6 т;
- Розміри столу 1000мм x 1200мм, він може повертатися;
- Потужність приводу 7 кВт;
- Місткість баку для ЗОР 600 л;
- Максимальна подача насоса 70 л/хв;
- Потужність двигуна насосу 11 кВт;
- Шпинделі можуть повертатися на $\pm 20^\circ$;
- Діапазон частот обертання 0–7000 об/хв;

Оброблюваний матеріал, сталь 40ХН, може бути використана у виробництві валів та осей [1], має наступний склад та характеристики відповідно ГОСТ 8479-70 (табл. 1.1, 1.2):

Таблиця 1.1 - Складові сталі 40ХН

C,%	Si,%	Mn,%	Ni,%	S,%	P,%	Cr,%	Cu,%	Fe,%
0,36– 0,44	0,17– 0,37	0,5–0,8	1–1,4	<0,035	<0,035	0,45– 0,75	<0,3	≈96

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі 40ХН

$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	KCU, кДж/м ²	HB, не більше
315	570	14	35	34	167–207

Як і більшість сталей, дана сталь є пластичною, і відповідно потрібно приділити увагу її подрібненню, під час різання. За характеристиками бажаного отвору, діаметр, допуск та шорсткість, можна віднести до середньої групи, в той момент, як глибину отвору, до малої, із чого можна зробити висновок, про відносну легкість, досягання бажаних значень конвенціональними методами [1].

1.2 Характеристики та особливості процесу глибокого свердління

До особливостей, чи проблематики, процесу глибокого свердління можна віднести наступне.

Проблеми із кривизною та прямолінійністю отвору. Такі проблеми не завжди є критичними, оскільки не мають достатньої відстані для того, щоб проявитися. При цьому при глибокому свердлінні, вони мають, оскільки відстань, так і умови, щоб себе проявити. Основними причинами цього є неправильне позиціонування інструменту, відсутність підтримок, та направляючих на всій довжині та дефекти матеріалу. Особливо ця проблема проявляється при наявності рухомих елементів, оскільки ці параметри, суттєво впливають на ефективність роботи та період зношення.

Іншою проблемою є відхилення від круглості, огранювання, яке може даватися у знаки, коли глибокий отвір не має рухомих елементів, а натомість переміщує рідини чи газу.

Також варто зазначити, отримуванні допуски, та шорсткість отвору, оскільки від цього буде залежати посадка та працездатність.

1.3 Аналіз та синтез рушничного свердла

Для обробки глибоких отворів існують та використовуються різні види та конструкції рушничних свердел. Тому підберемо конструкцію, яка найбільше підходить для обробки, відповідно до вихідних даних. Для того, щоб підібрати її, спочатку розглянемо загальні особливості рушничних свердел, після чого проаналізуємо, конструкції, які використовують різні провідні виробники.

Його загальними особливостями є пряма V-подібна канавка, яка виконується під кутом 110–120 градусів [1]. Конструкцію стебла можна розділити на два типи монолітне (рис. 1.2) та паяне (рис. 1.3), їх може бути важко розрізнити, але саме вони і використовуються під час виробництва. Монолітне показує кращі показники міцності та твердості, але може бути

складнішим до виготовлення, і тому частіше їх використовують, для відносно малих глибин свердління. Натомість паянні конструкції, є менш міцними та твердими, але для виробництва рушничних свердел, для великих глибин свердління, та для виробництв із великою номенклатурою, вони є невід’ємними.

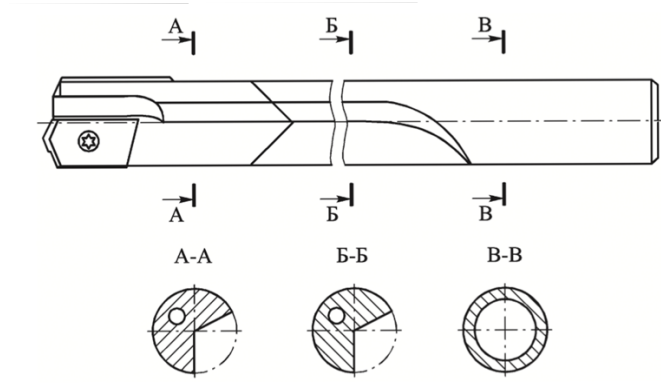


Рисунок 1.2 — Монолітна конструкція [11]

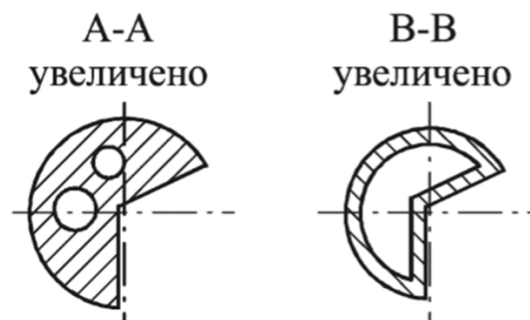


Рисунок 1.3—Паяна конструкція [11]

Залежно від конструкції використовуються направляючі пластини, що робить їх базування визначеним.

Подання ЗОР є важливим елементом рушничних свердел, оскільки їх пряма канавка, означає, що нема конструкційних елементів, які мають допомагати стружці виходити, та відкритий дизайн, може призводити до задирів на поверхні отвору. Тому подача ЗОР під потрібним тиском, як для допомоги евакуації стружці та для уникнення задирів є важливим.

Рушничні свердла можна використовувати, як на спеціальних верстатах, так і універсальних токарних, хоча їх зазвичай потрібно додатково обладнати потужним насос для ЗОР, оскільки звичайні не можуть забезпечити потрібний

тиск [1]. Їх використання також дозволяє сильно розширити кількість використовуваних типів хвостовиків, відповідно до потреби замовника. У каталогах можна побачити, декілька десятків таких хвостовиків, хоча також зазначається, що можна виготовляти і довільної форми.

Розглянемо декілька конструкцій рушничних свердел, та проаналізуємо їх будову.

1) DMET Indexable Gun Drill від DME (США)

Це свердло використовує трьох грану пластину, яка кріпиться на гвинт (рис. 1.4). Воно може працювати в межах діаметрів від 15,875 мм до 31,75, довжинами до 2 м. і його пластини не потребує додаткового налагодження. Твердосплавні направляючі кріпляться механічним чином, у осьовому напрямку, із можливим розташуванням у два ряди (рис. 1.5).

Таким свердлом можна отримати отвір із наступними показниками якості та точності: прямолінійність та концентричність 0,082 мм на 1 м, допуск діаметру отвору $\pm 12,7$ мкм, шорсткість поверхні Ra 4 мкм [2]. При обробленні сталей отворів діаметром 20 мм рекомендованими режимом роботи є 1655 об/хв та подача 0,55 мм/с [2].

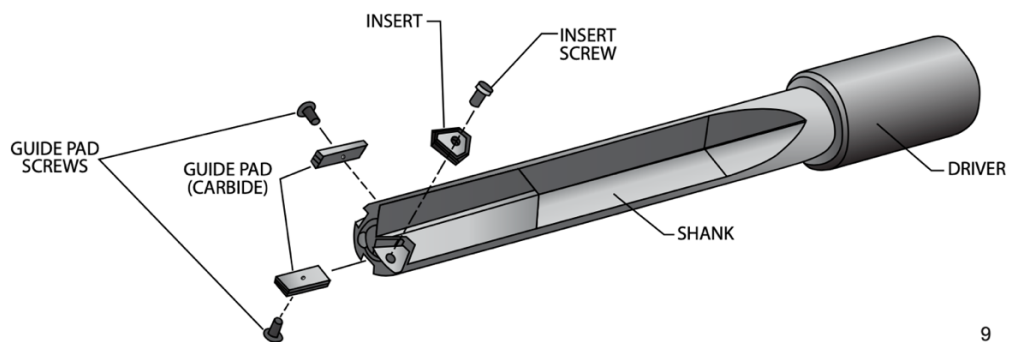


Рисунок 1.4—Рушничне свердло із змінною пластиною DMET [2]



Рисунок 1.5—Можлива кількість направляючих

2) Type 01 від Botek (Німеччина)

Рушничне свердло від Botek, має зміну двох сторонню твердосплавну пластину та однорядні направляючі, які розташовані у осьовому напрямку (рис. 1.6), що разом робить його дизайн зручним, легким для розуміння та налаштування [3]. Твердосплавна різальна пластина кріпиться до корпусу на гвинт, рифлення та упор. Воно виконано паянням головки до стебла, та стебла до хвостовика. Залежно від оброблюваного матеріалу, можна підбирати пластини із різною геометрією для покращення процесу обробки. Від може виконувати обробку діаметрів від 12 мм до 43,99 мм, залежно від під типу. Завдяки його дизайну та підводу ЗОР, за один цикл можна виконувати обробку із свердління на глибину до 40D [3].

Завдяки правильному використанню змінних елементів можна досягнути точності налаштування в межах $\pm 0,01$ мм на діаметр, а загалом він може змінюватися в діапазоні 0,5 мм, і обробляти отвору із допуском на діаметр IT 10–9, а при оптимально режимі IT8–7, при цьому отримуючи шорсткість в межах Ra 3,2–0,1 мкм [3]. При обробленні отворів діаметром 20 мм у сталевих деталях рекомендованим режимом роботи є швидкість 55–75 мм/хв та подача 0,06–0,09 мм/об [3].

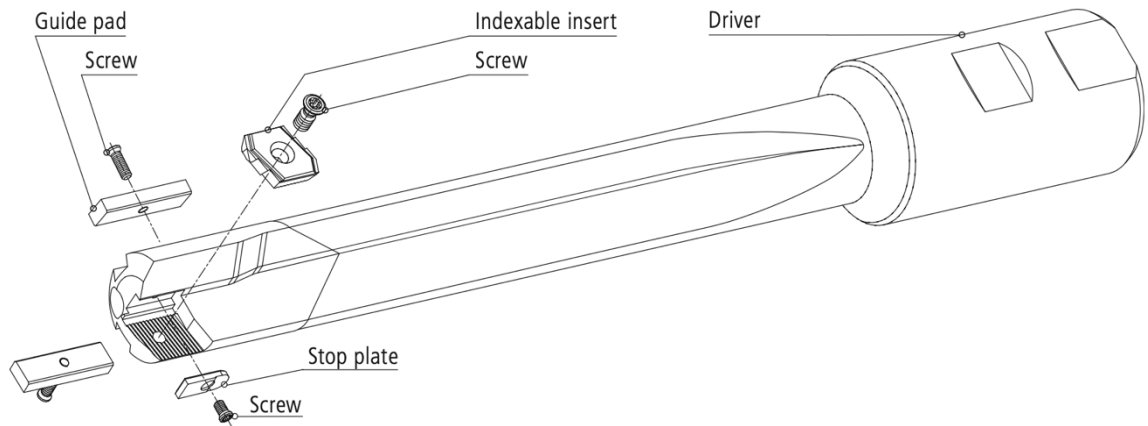


Рисунок 1.6—Рушничне свердло Type 01 [3]

3) MCTR від Tungaloy (Японія)

Це свердло має стандартно одну пряму канавку, і використовує трьохсторонню зміну пластину із ступеневим дизайном, для полегшення подрібнення стружки, та довгою фаскою для полегшення визначення розміру, яка кріпиться на гвинт (рис. 1.7). Воно використовує однорядні направляючі, які розташовані у осьовому напрямку, із можливим додаванням другого ряду [4]. Вони виконуються в межах діаметрів від 12 мм до 28 мм, і можуть працювати із відносною довжиною до 25D [4].

Завдяки такому дизайну можна досягнути круглості отвору у 10 мкм, прямолінійності у 0,2–0,35 мм на 0,5 м та шорсткості у Ra 1-1,2 мкм [4]. При обробленні сталей свердлом діаметром 20 мм рекомендованими швидкостями є 50–100 м/хв та подача 0,03–0,1 мм/об [4].

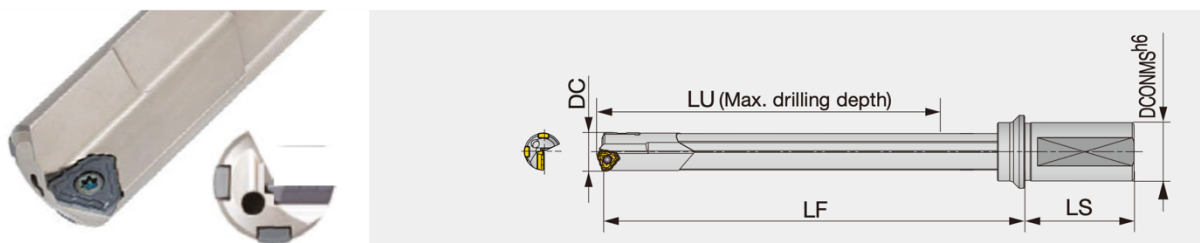


Рисунок 1.7—Рушничне свердло MCTR [4]

4) TRIDEEP GD–DH від ISCAR (Ізраїль)

Дане свердло має трьохсторонню пластину, яка кріпиться до корпусу використовуючи гвинт, із стружколамом. Воно має однорядні направляючі, які розташовані у осьовому напрямку. А корпус виготовлений паянням головки та хвостовика до стебла (рис.1.8). Із виготовляють у межах діаметрів від 14 мм до 32 мм, із відносною довжиною свердління до 20D [5].

Для сталей можливий допуск на діаметр для нормального режиму IT10–IT9, та для оптимального IT8–IT7, із шорсткістю у межах Ra 1,6–0,1 мкм. Таким дизайном можна досягнути круглості отвору у межах 0,04–0,07 мм/м, та прямолінійністю та концентричністю, залежно від способу обробки, обертається тільки свердло 1,2–1,6 мм на 0,8 м, заготовка та свердло обертаються 0,6–0,8 мм на 0,8 [5]. Рекомендований режим роботи для сталейних деталей із отвором у 20 мм є швидкість 50–90 м/хв та подача 0,22–0,27 мм/об [5].

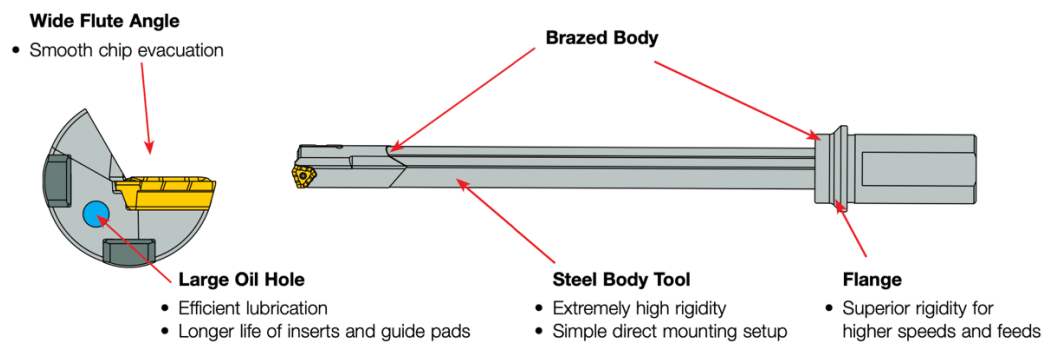


Рисунок 1.8—Рушничне свердло GD–DH [5]

5) Gun drill EB800 від Guhring (Німеччина)

На відміну від звичайних, у нього використовуються багаторядні направляючі, які розташовані під кутом до осі, та спеціальну односторонню пластину, із великим базувальним елементом, яка кріпиться на гвинт (рис. 1.9). Воно виконується паянням головки із пластинами до стебла. Таким свердлом можна обробляти діаметри в межах від 12 мм до 40 мм, із максимальною довжиною до 3000 мм [6].

Таким свердлом можна отримати допуск на діаметр в межах IT10–IT7, залежно від матеріалу можна досягнути до IT5, концентричність при обертанні тільки свердла 0,85–1,1 мм/м, при обертанні заготовки та свердла 0,35–0,5

мм/м, при цьому можна досягнути шорсткості у межах $Ra\ 6,3-0,4\ \mu\text{m}$ [6]. Рекомендованим режимом різання для сталі для глибини свердління до $35D$ є швидкість $75\ \text{м/хв}$ та подача $0,08\ \text{мм/об}$ [6].

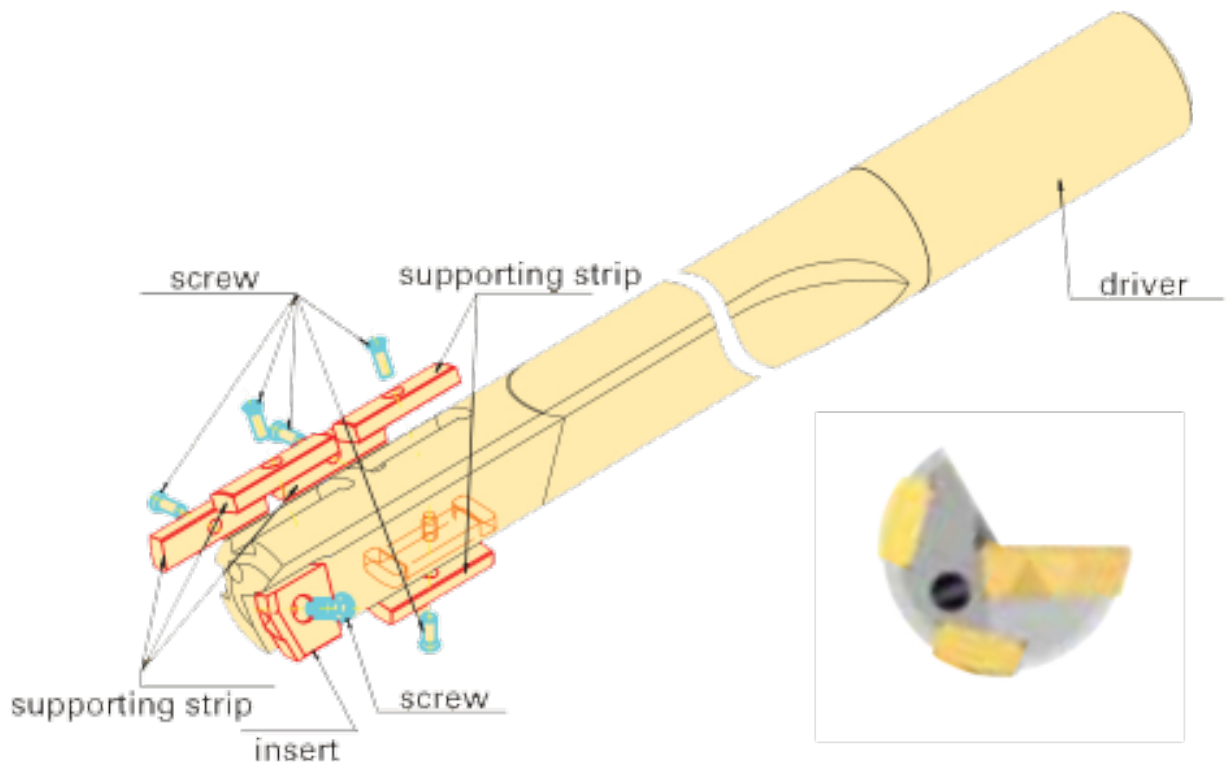


Рисунок 1.9—Рушничне свердло EB800 [6]

6) CoroDrill 805 від Sandvik Coromat (Швеція)

Воно має монолітне стебло, має двох сторонню різальну пластину, яка кріпиться на гвинт, і багаторядні направляючі, які розташовані під кутом, та кріпляться на гвинти (рис.1.10). Таке свердло працює в межах діаметрів від 25 мм до 65 мм, із відносною глибиною до $13,7D$ [7].

Ним можна досягнути допуску на діаметр у $IT10$, та шорсткість $Ra\ 2\ \mu\text{m}$ [7]. Для сталених деталей рекомендованим режимом різання є швидкість $70-130\ \text{м/хв}$ та подача $0,11-0,34\ \text{мм/об}$ [7].



Рисунок 1.10—Рушничне свердло CoroDrill 805 [7]

1.4 Опис прийнятої конструкції свердла

Виходячи із проведеного аналізу, розглянувши особливості рушничних свердел. Можна визначити наступні особливості будови:

- Вид стебла:
 - монолітне;
 - паяне;
- форма різальної пластини:
 - одностороння;
 - двостороння;
 - тристороння;
- спосіб кріплення пластини:
 - на гвинт;
 - на гвинт, рифлення та упор
- кількість напрямних:
 - однорядні;
 - дворядні;
 - багаторядні;
- розташування напрямних:
 - осьове розташування;
 - розташування під кутом.

Форма різальної пластини, може вибиратися в залежності від виробника, та потреб. Так наприклад одностороння, тільки через одну кромку, може потребувати частої заміни, чи додаткових методів захисту, покриттів, але краще базується. Двостороння потребує менше замін, і забезпечує гарне базування, але вона не задіює усі свої сторони, тому її використання відносно інших є не економічним. Трьох стороння, може використовувати усі свої

сторони, тому є економічною, та використовуючи усі три сторони можна підняти продуктивність, в обмін на гірше базування. Загалом кріплення на гвинт, має найбільшу популярність, через простоту та практичність, але якщо є потреба додаткового налагодження розміру, закріплення на гвинт, рифлення та упор може бути допустимим варіантом. Збільшення кількості напрямних може бути доцільним при, обробці більш глибоких отворів, із глибиною більше 50D. Оскільки із збільшенням глибини, більшого впливу на фінальну якість отримує амплітуда коливань свердла, через його провисання. Але при відносно не глибокому свердлінні, до 25D, про таке не варто хвилюватися. А їх розташування може змінюватися в залежності від потреби у рівномірному навантаженні напрямних, але через ускладнення технології виготовлення, та низьку практичність. Оскільки, їх положення розраховується для заданих, сталих значень сили, їх доцільність через зміну режиму різання, матеріалу, значно знижується. Тому їх частіше виготовляють у осьовому напрямку.

Приймаємо наступну конструкцію, стебло має бути монолітним, із трьох гранюю різальною пластиною, яка кріпиться гвинтом. Будуть використовуватися однорядні направляючі, які розташовані у осьовому напрямку. Також оскільки усі наведені свердла, мають тільки один отвір для ЗОР, ми приймаємо таку саму конфігурацію.

Графічне зображення проведеного аналізу наведено у додатку В.

2 ПРОЕКТУВАННЯ РУШНИЧНОГО СВЕРДЛА

2.1 Вибір та обґрунтування матеріалу інструменту

Як було зазначено вище, корпус свердла має бути монолітним, із змінним різальним елементом пластино. Відповідно до цього потрібно обрати два основних матеріали.

Матеріал корпусу доцільно виготовляти із сталі, через їх загальну доступність, різноманіття марок та різних заготовок. Відповідно до ТУ 3–752–77 стебло та хвостовик корпусу рушничного свердла із твердосплавними пластинами, можна виготовляти із сталі 40Х [8]. Відповідно до них і приймемо цей матеріал корпусу, він має мати наступний склад та характеристики відповідно до ГОСТ 4543-71 (табл. 2.1, 2.2):

Таблиця 2.1 - Складові сталі 40Х

C,%	Si,%	Mn,%	Ni,%	S,%	P,%	Cr,%	Cu,%	Fe,%
0,36–0,44	0,17–0,37	0,5–0,8	<0,3	<0,035	<0,035	0,8–1,1	<0,3	≈97

Таблиця. 2.2 - Механічні властивості сталі 40Х

$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	KCU, кДж/м ²	HB, не більше
780	980	10	45	59	167–207

Оскільки, як оброблюваний матеріал у нас виступає сталь 40ХН, відповідної і потрібно підбирати матеріал твердосплавної пластини. Вибирати найближчий варіант, відповідно до каталогів виробників, тому як рекомендований аналог для сталі будемо дивитися на категорії Steel та Alloyed Steel. Відповідно до цих параметрів можна побачити, що нам підходить твердосплавні пластини за ISO P30–P15[9] чи P01,P10,P20,P30 [10], відповідно

до цього приймемо, марку твердосплавної пластини P30. Вона має наступний склад та характеристики[11] (табл. 2.3):

Таблиця 2.3 - Склад та характеристики P30

Co,%	TiC,%	TA,%	WC,%	NBC,%	HRA,%	Густина, г/см ³	TRS, kpsi	Розмір зерен
8,7	8,25	8,8	74,25	8,8	91,3	12,27	310	середній

Якщо вибирати аналог відповідно за ГОСТ 3883-71, тоді можна підібрати T5K10. Їх співпадіння не є ідеальним, але склад та параметри є досить подібними, а саме[12] (табл. 2.4):

Таблиця 2.4 - Склад та характеристики T5K10

Co,%	TiC,%	TaC,%	WC,%	Густина, кг/м ³	σ_B не менше, МПа	HRA
10	5	—	85	12.5–13.1	1421	88.5

2.2 Розрахунок конструкторських параметрів свердла

Конструкція рушничного свердла складається із чотирьох основних елементів: хвостовика, стебла, різальної пластини та направляючих пластин.

Для рушничних свердел використовують хвостовики за стандартом DIN 1835-E, ISO 9766–2019, типу Weldom та інш. Тип хвостовика визначається типом посадкового місця верстату для глибокого свердління.

Для нашого свердла вибираємо хвостовик за ISO 9766–2019 (рис. 2.1). Його діаметр приймаємо на один типорозмір більше ніж діаметр свердла, тобто $d_1=25$ мм, $d_2=32$ мм, $h=23$ мм, $l_1=56$ мм, $l_2=53$ мм, $l_3=7$ мм. Даний хвостовик має виступ, який повинен прилягати до оправки, на його зовнішній стороні виконується фаска, під кутом 30 градусів, довжиною 6 мм, на яку наноситься маркування свердла.

Хвостовик має центрувальний отвір М16 форми Р за ГОСТ 14034-74 (рис. 2.2), $d=M16$ мм, $d_1=17$ мм, $d_2=20$ мм, $d_3=22$ мм, $L=8$ мм $l=8$ мм, $l_1=3,2$ мм, $l_1=1,1$ мм.

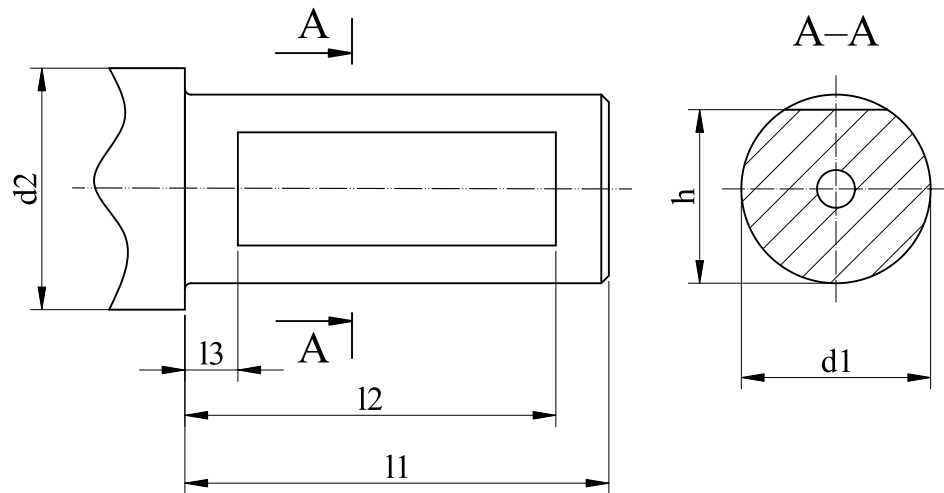


Рисунок 2.1 — Хвостовик

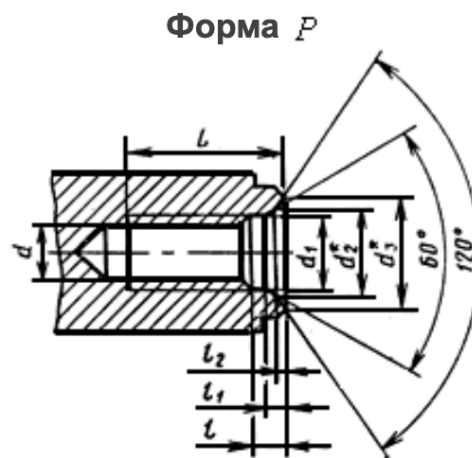


Рисунок 2.2 — Форма центрувального отвору

Другим елементом є стебло, його обираємо за рекомендаціями фірми Botek, а саме для свердел діаметром 19,51-20,5 мм діаметр стебла дорівнює 19 мм.

Отвір для ЗОР розташований у лівому нижньому квадранті, під кутом 225 градусів від осі різального елемента, і має діаметр 4 мм [13].

Канавка має V-подібну форму із кутом у 110–120 градусів. Приймаємо кут канавки 120 градусів.

Її можна розділити на 3 частини: різальна, свердлильна та для забезпечення евакуації стружки [14]. Також канавка має зміщення у ліво, на, щоб компенсувати розташування пластини.

Проаналізувавши літературу, я прийшов до наступної формули для розрахунку, потрібної довжини стебла [5,15-18]:

$$L_{кан} > l_{вих} + l_{св} + l_{пул} \quad (2.1)$$

де $l_{вих}=D+5$ мм, параметр, який визначає потрібний запас при наскрізному свердлінні;

$l_{св}$ – глибина потрібного отвору;

$l_{пул}=(4...6)D$ – потрібний запас довжини для виведення пульпи, встановлення підтримок.

Оскільки обробляється глухий отвір із глибиною 250 мм, то $l_{вих} = 0$. Отримаємо наступне значення довжини канавки:

$$L_{кан} = 250 + 6 * 20 = 370 \text{ мм} \quad (2.2)$$

Відповідно, ми отримали мінімальне значення глибини канавки, округляємо його у більшу сторону і отримуємо $L_{кан}=400$ мм. Окрім цього між канавкою та хвостовиком, залишають циліндричну ділянку довжиною у $1D$ [19]. Тоді виходить, що довжина стебла буде:

$$L_{ст} = L_{кан} + l_{пр} = 400 + 20 = 420 \text{ мм} \quad (2.3)$$

Підбір потрібного виду та розмірів направляючих, які доцільно використовувати на даному свердлі.

Розміри направляючої (рис. 2.3) обираємо з каталогу фірми [20-22]. Обираємо направляючу із кодом GP06–085 чи GP06–20–085–DC, з одно фасочним дизайном, із такими розмірами $S=3$ мм, $RE=8,5$ мм, $W1=6$ мм, $INSL=20$ мм (рис. 2.3). Вони мають кріпитися до корпусу гвинтом М3.

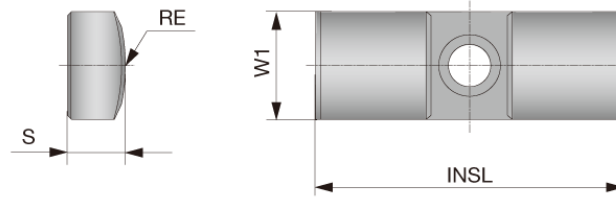


Рисунок 2.3–Ескіз направляючої [21]

Як було прийнято вище, за різальну частину відповідає змінна твердосплавна пластина, яка кріпиться до корпусу за допомогою гвинта. Для цього підходить пластина, ТОНТ090305R–NDL від TungAloy (рис. 2.4) із такими параметрами $IC=8.32$ мм, $S=3$ мм, $Re=0,5$ мм, $\alpha=11^\circ$ [20]. Вона кріпиться до корпусу гвинтом із М3 [22]. Вона має стружколам, та ребристу поверхню, що дозволяю подрібнювати стружку, як по довжині так, і по ширині, що особливо важливо для глибокого свердління.

ТОНТ-NDL (09... - 12...)

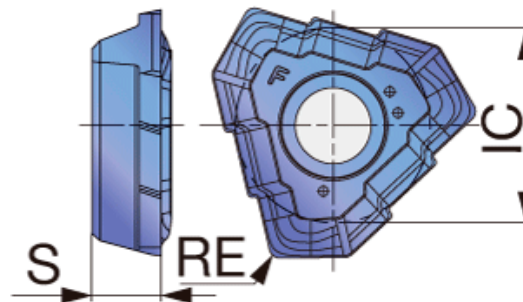


Рисунок 2.4 – Ескіз пластини [20]

2.3 Розробка 3D моделі

Виконуємо побудову 3D моделі рушничного свердла, у програмі Autodesk Fusion 360, яка у подальшому буде використовуватися, для створення керуючої

програми для обробки для ЧПК верстаті. Спочатку варто створити таблицю параметрів для, можливості швидкого налаштування дизайну (рис. 2.5).

User Parameters						
☆ User Parameter	Dia	mm	20 mm	20.00		Діаметр стебла
☆ User Parameter	Lst	mm	Lsl + Dia	420.00		Довжина стебла
☆ User Parameter	Lsl	mm	400 mm	400.00		Довжина канавки
☆ User Parameter	Dmill	mm	25 mm	25.00		Діаметр фрези для кан
☆ User Parameter	d1	mm	25 mm	25.00		Основний діаметр хвос
☆ User Parameter	d2	mm	32 mm	32.00		Мінімальний діаметр ф
☆ User Parameter	h	mm	23 mm	23.00		Висота лиска
☆ User Parameter	l1	mm	56 mm	56.00		Довжина хвостовика
☆ User Parameter	l2	mm	49 mm	49.00		Максимальна відстань
☆ User Parameter	l3	mm	7 mm	7.00		Мінімальна відстань ві
☆ User Parameter	lc	mm	32 mm	32.00		Глибина направляючог
☆ User Parameter	do	mm	4 mm	4.00		Діаметр отвору для 3О
☆ User Parameter	Sgp	mm	3 mm	3.00		Висота направляючої
☆ User Parameter	W1	mm	6 mm	6.00		Ширина направляючої
☆ User Parameter	ANSI	mm	20 mm	20.00		Довжина направляючо
☆ User Parameter	sang	deg	14 deg	14.0		Правий кут в плані
☆ User Parameter	GPG	mm	0.5 mm	0.50		Зазор для стебла
☆ User Parameter	UDia	mm	Dia - GPG	19.50		Діаметр стебла
☆ User Parameter	lsan	deg	30 deg	30.0		Лівий кут в плані
☆ User Parameter	chwi	mm	11.5 mm	11.50		Ширина канавки
☆ User Parameter	rch	mm	0.8 mm	0.80		Заокруглення на канав
☆ User Parameter	chang	deg	120 deg	120.0		Кут канавки
☆ User Parameter	cenm	mm	16 mm	16.00		Внутрішній діаметр цен
☆ User Parameter	outdia	mm	17 mm	17.00		Діаметр заглиблення д
☆ User Parameter	outdia2	mm	20 mm	20.00		Діаметр першої фаски
☆ User Parameter	outdia3	mm	22 mm	22.00		Діаметр третьої фаски
☆ User Parameter	Cenang1	deg	60 deg	60.0		Кут першої фаски
☆ User Parameter	Cenang2	deg	120 deg	120.0		Кут другої фаски
☆ User Parameter	cenl1	mm	8 mm	8.00		Загальна довжина до р
☆ User Parameter	cenl2	mm	3.2 mm	3.20		Ширина першої фаски
☆ User Parameter	cenl3	mm	1.1 mm	1.10		Ширина другої фаски

Рисунок 2.5—Таблиця параметрів

Спочатку варто створити загальну форму обертання, яка у подальшому буде модифікуватися (рис. 2.6).



Рисунок 2.6—Створення тіла обертання корпусу

Після того створюємо центрувальний отвір, відповідно до прийнятих розмірів (рис. 2.7).

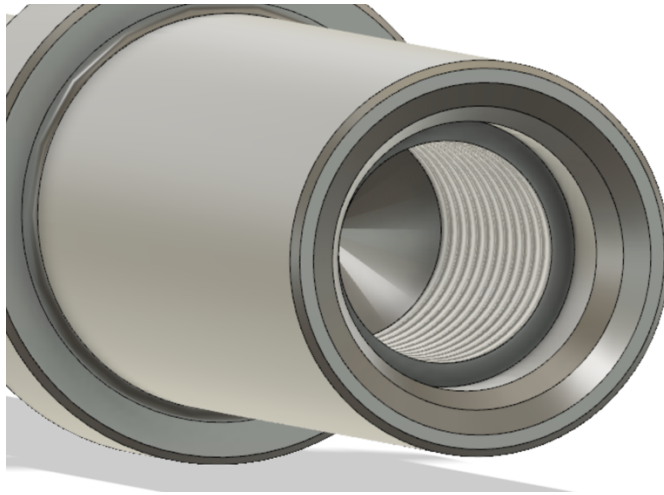


Рисунок 2.7 — Центрувальний отвір

Командою «Отвір», утворюємо отвір для ЗОР (рис. 2.8).

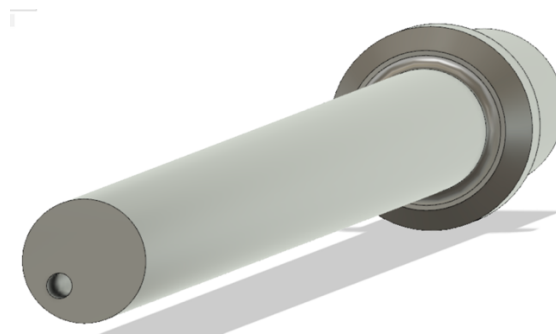


Рисунок 2.8 — Створення отвору для ЗОР

Після чого візаємо у корпус канавку (рис. 2.9).

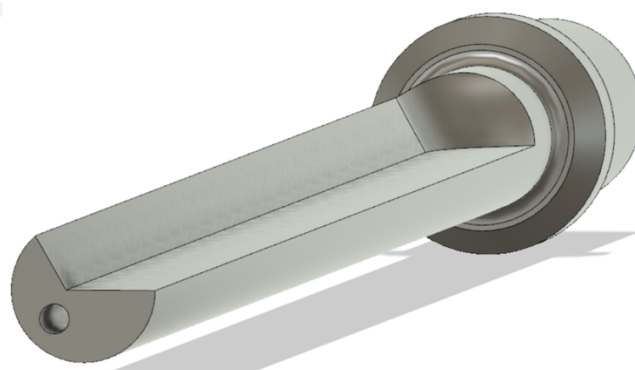


Рисунок 2.9 — Створення стружкової канавки

Врізання профілю лиски, у поверхню хвостовика (рис. 2.10).

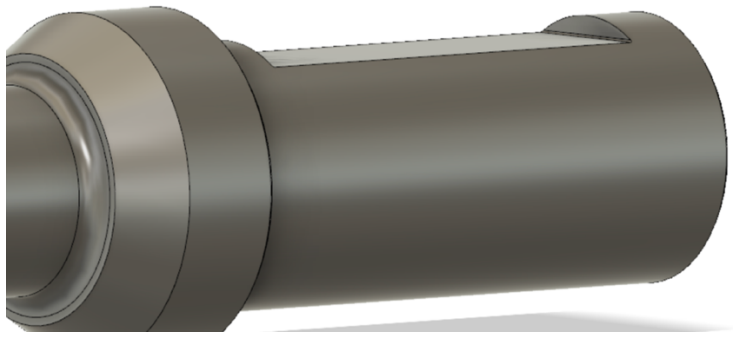


Рисунок 2.10 — Утворення лиски на хвостовику

Утворення кута в плані, при вершині свердла (рис. 2.11).

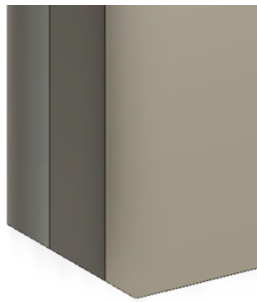


Рисунок 2.11 — Утворення куту для пластини

Відповідно до утвореної кромки, розташовуємо пластину та віднімаємо її профіль (рис. 2.12).

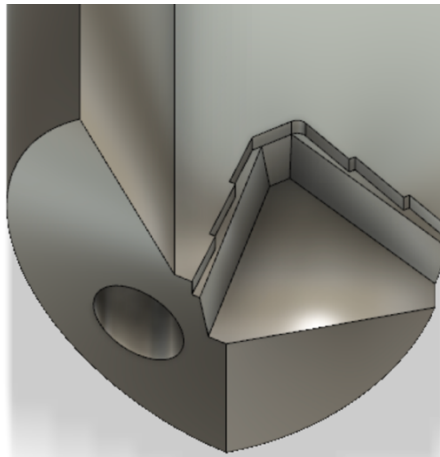


Рисунок 2.12 — Утворення пазу під пластину

Оскільки такий паз під пластину, важкий для виготовлення, спрощуємо його форму (рис. 2.13).

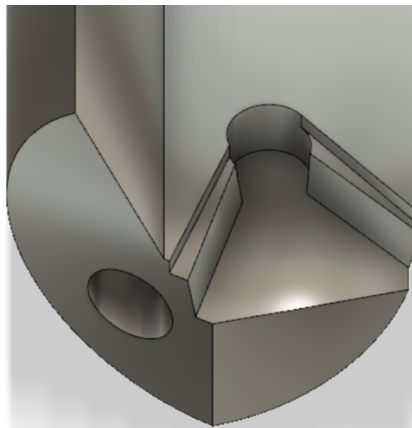


Рисунок 2.13 — Спрощення форми пазу та додавання технологічного отвору

Утворення врізанням пазів під направляючі (рис. 2.14).

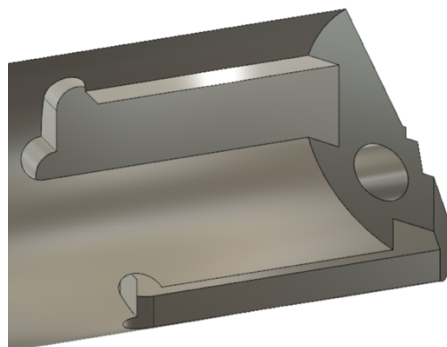


Рисунок 2.14 — Утворення пазів під направляючі

Утворення отворів під гвинт, для направляючих (рис.2.15)

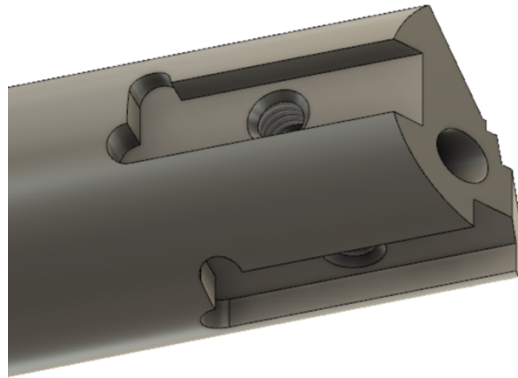


Рисунок 2.15 — Отвори під гвинт для направляючих

Утворення отвору під гвинт, для різальної пластини (рис. 2.16).

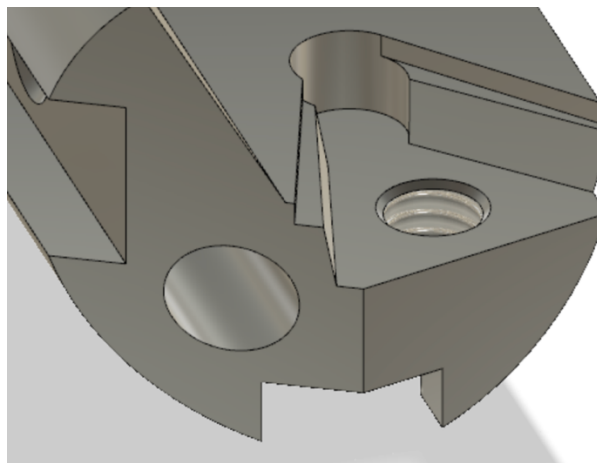


Рисунок 2.16 — Отвори під гвинт для пластини

Створена модель різальної пластини (рис. 2.17).

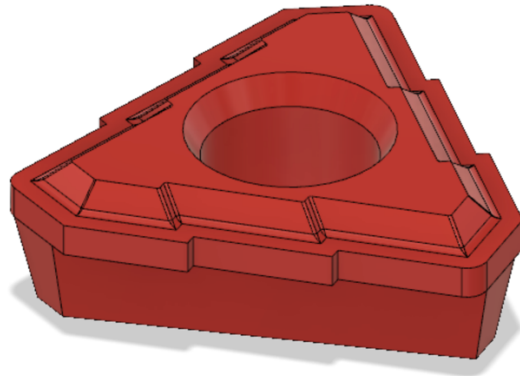


Рисунок 2.17 — 3D модель твердосплавної пластини ТОНТ090305R–NDL
Створена модель направляючої (рис. 2.18)

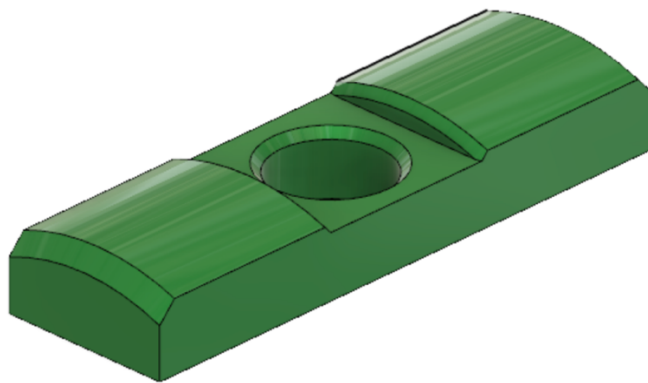


Рисунок 2.18 — 3D модель направляючої GP06–085
Збірка інструменту (рис. 2.19)

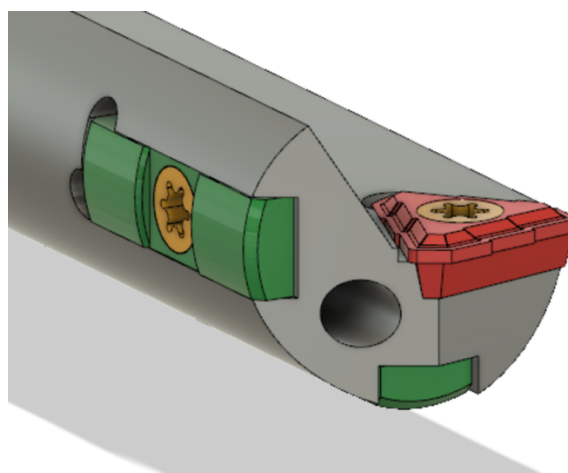


Рисунок 2.19 — Вигляд збірки
Загальний вигляд отриманої моделі інструменту (рис. 2.20).

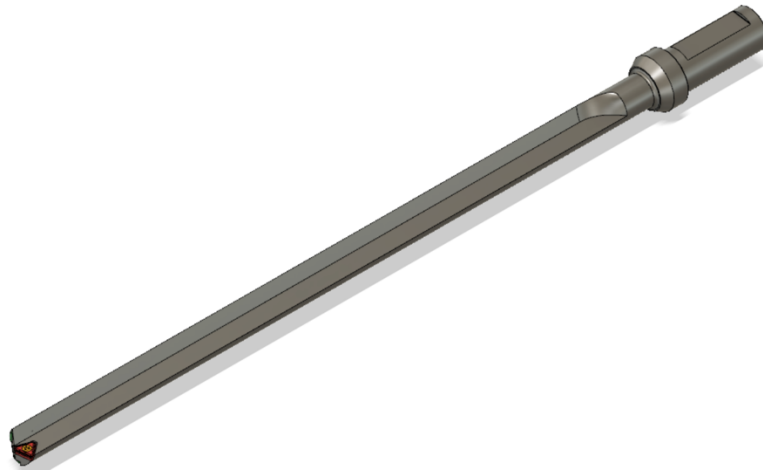


Рисунок 2.20 — Загальний вигляд моделі свердла

2.4 Оптимізація режиму різання для глибокого свердління

Для вирішення задачі оптимізації необхідно побудувати математичну модель, яка складається із цільової функції та обмежень задачі.

За критерій оптимізації можна прийняти мінімізацію основного машинного часу операції або максимальну продуктивність операції.

Основний машинний час визначається із залежності:

$$T = \frac{L_{px}}{n * S_0} \quad (2.4)$$

де L_{px} - довжина робочого ходу. Для конкретної операції величина $L_{px} = const$;

n - частота обертання шпинделя верстату;

S_0 - подачі на оберт.

Продуктивність на операції визначається таким чином:

$$\Pi_p = n * S_0 \quad (2.5)$$

Тому як цільову функцію розглядають максимальне значення добутку частоти обертання на подачу:

$$F(n, S_0) = n * S_0 \rightarrow \max. \quad (2.6)$$

Обмеження задачі визначені за методикою [1]. Нерівності обмеження виду $n^\alpha S_0^\beta \leq c_i$, отримані в результаті перетворення залежностей, що відображають вплив параметрів на наступні показники операції (табл. 2.5):

- Технічні можливості верстату, а саме по діапазону подач та діапазону частот обертання;
- Норма штучного часу на виконання операції, $T_{шт}$;
- Увод осі отвору, Δ_y ;
- Амплітуду обертових коливань різального інструменту, A_ϕ ;
- Зношення периферії різальної кромки леза по задній поверхні, h_3 ;

Задання виду нерівності відповідно до параметру обмеження наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Обмеження математичної моделі

№	Назва та позначення параметрів	Види нерівностей-обмежень
1	Найменше значення частоти обертання шпинделя верстату, $n_{ст\ min}$	$n \geq n_{ст\ min}$
2	Найбільше значення частоти обертання шпинделя верстату, $n_{ст\ max}$	$n \leq n_{ст\ max}$
3	Найменше значення подачі на оберт, S_{omin}	$S_0 \geq S_{omin}$
4	Найбільше значення подачі на оберт, S_{omax}	$S_0 \leq S_{omax}$
5	Норма одиничного часу на виконання операції, $T_{шт}$	$n * 100S_0 \leq \frac{100 * L_{px}}{\frac{T_{шт}}{k_1} - T_B}$
6	Увод осі ГО, Δ_y	$n(100 * S_0)^{-0.36} \leq \frac{10^7 * l_0^{2.07} * \rho_0^{2.07} * HB^{1.07} * h_3^{3.1} * l_M^{3.57}}{t^{0.286} * d_0^{0.05} * \Delta_y^{2.38}}$
7	Амплітуда обертового коливання свердла, A_ϕ	$n^{0.75} (100 * S_0)^{0.35} \leq \frac{6 * 10^4 * A_\phi}{d_0^{0.75} * k_N}$
8	Зношення леза, h_3	$n(100 * S_0)^{-1.455} \leq \frac{9,55 * 10^{11} * h_3^{1.538}}{d_0^{2.58} * (l_0 * 10^3 * m_d)^{1.538}}$

Математична модель є нелінійною. Для перетворення її в лінійний вид необхідно скористатися прийомом логарифмування. Попередньо модель масштабується по змінній S_0 (функції, де присутня S_0 , необхідно домножити і розділити на 100).

Введемо заміни:

$$x_1 = \ln n;$$

$$x_2 = \ln(100 * S_0).$$

Відповідно до цього, ми отримаємо :

$$F_1(x_1, x_2) = x_1 + x_2 \rightarrow \max. \quad (2.7)$$

Нерівності-обмеження після приведення до лінійного вигляду наведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Вид нерівностей-обмежень у лінійному вигляді

№	Обмеження	Види нерівностей-обмежень
1	$n \geq n_{\text{ст min}}$	$x_1 \geq c_1, c_1 = \ln n_{\text{ст min}}$
2	$n \leq n_{\text{ст max}}$	$x_1 \leq c_2, c_2 = \ln n_{\text{ст max}}$
3	$S_0 \geq S_{0\text{min}}$	$x_2 \geq c_3, c_3 = \ln(100S_{0\text{min}})$
4	$S_0 \leq S_{0\text{max}}$	$x_2 \leq c_4, c_4 = \ln(100S_{0\text{max}})$
5	$T_{\text{шт}} \leq T_{\text{шт}}$	$x_1 + x_2 \leq c_5, c_5 = \ln \frac{100 * L_{\text{px}}}{T_{\text{шт}} / k_1 - T_B}$
6	$\Delta_y \leq \Delta_y$	$c_6 = \ln \frac{x_1 - 0,357x_2 \leq c_6,}{t^{0,286} * d_0^{0,05} * \Delta_y^{2,38}} \frac{10^7 * l_0^{2,07} * \rho_0^{2,07} * HB^{1,07} * h_3^{3,1} * l_M^{3,57}}{}$
7	$A_\varphi \leq A_\varphi$	$0,75x_1 + 0,35x_2 \leq c_7,$ $c_7 = \ln \frac{6 * 10^4 * A_\varphi}{d_0^{0,75} * k_N}$
8	$h_3 \leq h_3$	$c_8 = \ln \frac{x_1 - 1,455x_2 \leq c_8,}{d_0^{2,58} * (10^3 * l_0 * m_d)^{1,538}} \frac{9,55 * 10^{11} * h_3^{1,538}}{}$

Задача вирішувалась у середовищі Mathcad 2015 у такій послідовності:

- Визначення функції цілі $F(x_1, x_2)$;
- Введення вихідних даних (табл. 7);
- Завдання початкових наближень для змінних x_1, x_2 ;
- *Given*
- Введення обмежень задачі у лінійному вигляді;
- *Maximize*(F, x_1, x_2)
- Виведення результатів.

Програма наведена у Додатку А. Вихідні дані для задання програми наведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Вихідні дані

№	Назва	Значення
1	Діаметр отвору	$d_o = 20$ мм
2	Глибина свердління	$L_o = 250$ мм
3	Твердість матеріалу заготовки	HB = 200 МПа
4	Похибка заправки свердла	$r_o = 0.2$ мм
5	Ширина фаски зношування	$h = 0.4$ мм
6	Відстань до торця заготовки	$L_{mm} = 0,4$ м
7	Довжина робочого ходу	$L_{px} = 300$ мм
8	Діапазон подач	0.0125-0.125 мм/об
9	Діапазон частот обертання	125-2500 об/хв

Відповідно до цієї програми ми отримали наступні значення $n=812,629$ об/хв, округлимо до $n=813$ об/хв, $s=0,033$ мм/об (рис. 2.21), тоді виходить, що швидкість різання буде:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi * 20 * 813}{1000} = 51,08 \frac{м}{хв} \quad (2.8)$$

Режим різання свердлом, рекомендовані значення швидкостей відповідно до виробника та типу свердла були наведені вище. Варто помітити, що загалом вони визначають, що потрібна швидкість різання має бути приблизно в межах 50–110 м/хв, та подача в межах 0,01–0,1 мм/об, подібні значення наведені в літературі [1,8]. Тоді ми можемо зробити висновок, що визначенні нами параметри, лежить у межах допустимих значень і можуть бути використанні, як режим різання.

Графічне вирішення задачі

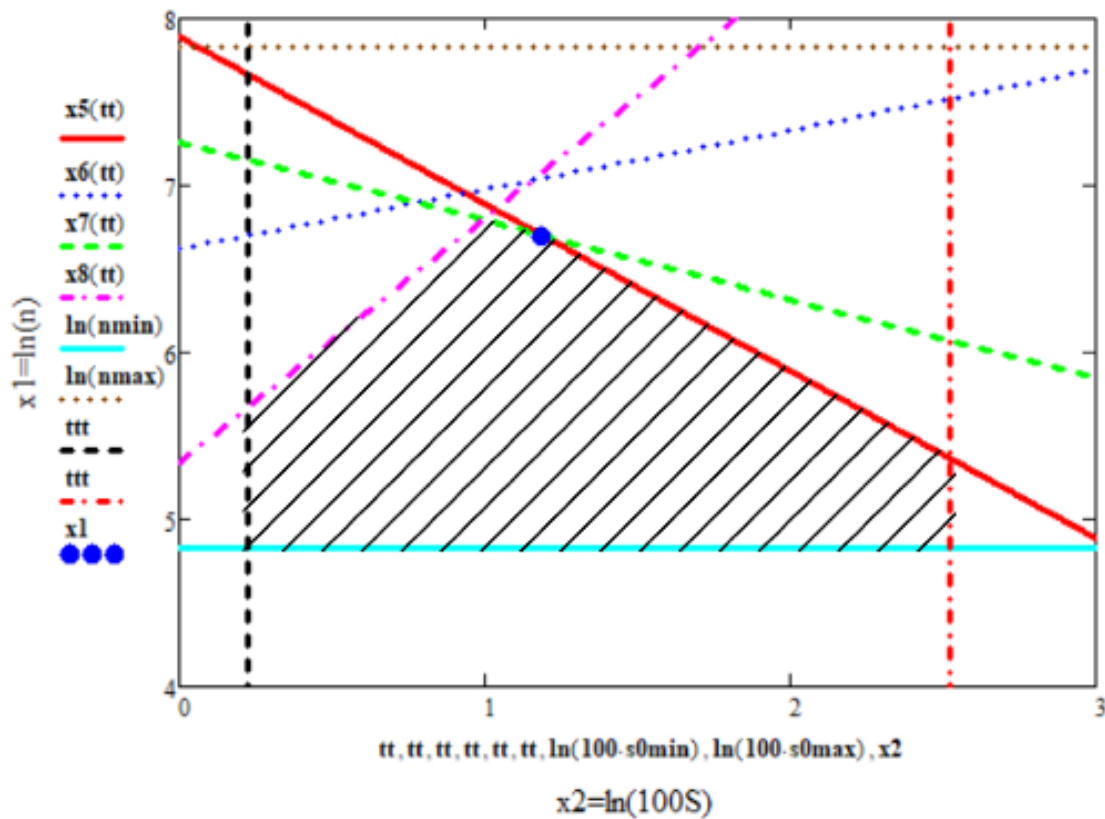


Рисунок 2.21—Графічне вирішення задачі

2.5 Параметри експлуатації

Існує декілька схем різання при глибокому свердлінні, при якому обертається заготовка, та інструмент, тільки заготовка чи тільки інструмент (рис. 2.22). Оскільки у нашому випадку, ми використовуємо оброблюваний центр, ми приймаємо третю схему різання, при якій обертається тільки інструмент.

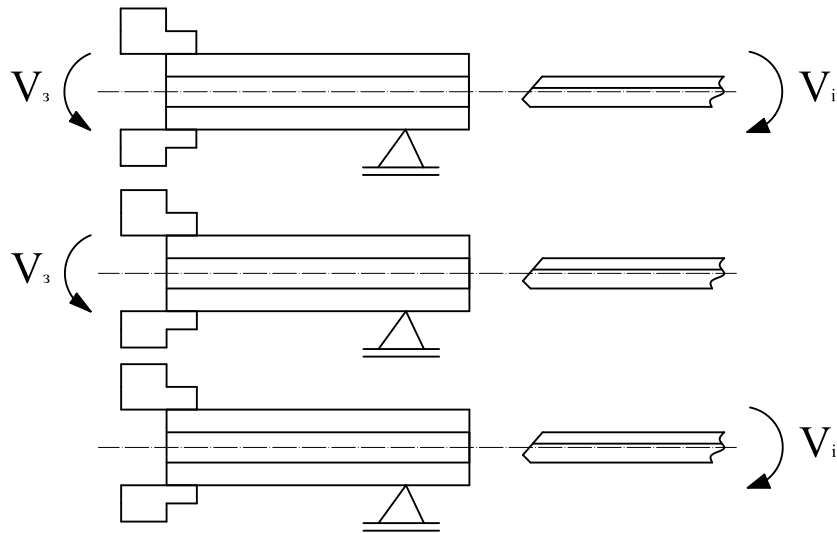


Рисунок 2.22 — Схеми різання

Існує одна проблема, яку варто зауважити, рушничні свердла працюють із початковим отвором, діаметр якого менше самого свердла, а його мета правильно направити свердло у отвір, оскільки саме проблеми направлення та встановлення свердла, є найбільшим чинником уводом свердла [23]. Але важливим для розділу є не це, а те що під час розсвердлення цього отвору задіяна тільки периферія, що призводить до пришвидшеного її викришування, що і так є проблемою при свердлінні [24]. Тому при розсвердленні рекомендується понижати подачу [5], тому я приймаю, що потрібна подача при розсвердленні має складати 60% від основної, тобто на початку свердління, поки не буде оброблений початковий отвір подача має бути $f=0,02$ мм/об.

Відповідно наведених у літературі формул розрахуємо потрібний режим роботи для ЗОР [1]. Для прийняття режиму подачі ЗОР, розрахуємо їх за наступними формулами:

$$Q = 0,8 * d_0^{1,8} * s^{0,44} = 0,8 * 20^{1,8} * 0,033^{0,44} = 39,086 \text{ л/хв} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} QP &= 0,53 * s^{0,68} * \left(\frac{L_0 * 10^3}{d_0} \right)^{1,1} * d_0^{-0,5} = \\ &= 0,53 * 0,033^{0,68} * \left(\frac{250}{20} \right)^{1,1} * 20^{-0,5} = 0,184 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Тоді наближена витрата буде складати $Q=39,086$ л/хв, та тиск має бути $P=0,187$ МПа. Тоді бак із ЗОР має бути заповнений мінімум на 390 л, виходячи із потреби 10 хвилинного запасу.

Додатковими вимогами до ЗОР для глибокого свердління, які зауважити, є густина, яка має знаходитися у межах $30 \cdot 10^{-6}$ м²/с $10 \cdot 10^{-6}$ м²/с, та працювати в температурних межах 15 С° до 50 С° [1]. При глибокому свердлінні часто використовуються оливи для ЗОР, і рідше водяні емульсії мінеральних мастил. Тому зважаючи на вище сказане, та беручи рекомендації до уваги, приймаємо, як використовувану ЗОР мастило МР-3 [1]. Відповідно до прийнятих значень потрібно виконати перевірку, потужності насоса за наступною формулою [1]:

$$N_0 = 10^3 * p * Q \quad (2.11)$$

де N_0 –потужність потрібна для прокачування ЗОР, кВт;

p – тиск ЗОР у системі, МПа;

Q – витрата ЗОР, м³/с.

Тоді відповідно до прийнятих даних ми отримаємо, наступне значення:

$$N_0 = 10^3 * 0,187 * 0,0006515 = 0,121 \text{ кВт} \quad (2.12)$$

Дана потужність є меншою, ніж потужність насоса на верстаті, значить перевірка пройдена.

Через особливість будови, та особливість самого процесу глибокого свердління сили різання, я проведу розрахунок декількома методами, а саме двома довідниковими, та емпіричним. Сказати точно, який із них є правильним, чи точним сказати важко, тому для подальших розрахунків будемо використовувати найбільше значення. Першим розглянемо метод Косилової–Мещерякова, формула для розрахунку осьової сили має наступний вигляд [25]:

$$P_0 = 10 * C_p * D^q * s^y * K_p \quad (2.13)$$

де D –діаметр отвору мм;

s – подача на оберт мм/об;

C_p, q, y – постійна та показники ступеня для конкретного типу обробки;

$K_p = K_{MP} * K_{\phi P} * K_{\gamma P} * K_{\lambda P} * K_{TP}$, – збірний поправочний коефіцієнт;

$K_{MP}, K_{\phi P}, K_{\gamma P}, K_{\lambda P}, K_{rP}$ – поправочні коефіцієнти, які беруть до уваги якість оброблюваного матеріалу, головний кут в плані, передній кут, кут нахилу головного леза, радіус при вершині.

Тоді відповідно до табличних даних ми отримуємо [25] ми $K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{600}{750}\right)^{0,75} = 0,845, K_{\phi P} = 0,78, K_{\gamma P} = 1,4, K_{\lambda P} = 1, K_{rP} = 1, K_p = 0,92274, C_p = 68, q = 1, y = 0,7$.

Тоді значення сили буде:

$$P_0 = 10 * 68 * 20^1 * 0,025^{0,7} * 0,92274 = 1152,3 \text{ Н} \quad (2.14)$$

Розрахунок крутного момент [25]:

$$M_{kp} = 10 * C_M * D^q * s^q * K_p \quad (2.15)$$

C_M – постійна та показники ступеня для конкретного типу обробки;

$C_M = 0,0345, q = 2, y = 0,8$. Розрахунок:

$$M_{kp} = 10 * 0,0345 * 20^2 * 0,025^{0,8} * 0,92274 = 8,313 \text{ Нм} \quad (2.16)$$

Другий метод розрахунку тангенціальної сили різання [1]:

$$P_z = K_c * s * Z * t \quad (2.17)$$

Де K_c – коефіцієнт різання,

s – подача мм/об,

Z – число різальних кромок,

t – ширина різання, мм,

Коефіцієнт різання, відповідно до табличних даних $K_c = 340$. Тоді розрахунок буде виглядати так:

$$P_z = 340 * 0,025 * 1 * 10 = 112,2 \text{ кгс} = 1100,682 \text{ Н} \quad (2.18)$$

Розрахунок крутного моменту [1]:

$$M_z = P_z * t = 833,6 * 10 = 8,336 \text{ Нм} \quad (2.19)$$

Третій метод розрахунку, осьової сили різання, виведений емпіричним методом [23]:

$$\begin{aligned} P_0 &= 423,136 * s^{0,957} * d^{0,981} = \\ &= 423,136 * 0,025^{0,957} * 20^{0,981} = 555,17 \text{ Н} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Із цього можна зробити висновок, що третій метод через свою емпіричне природу дає менші, менш підходящі для нашого випадку значення. Відповідно надалі ми будемо використовувати осьову силу отриману першим методом, а тангенціальну та крутний момент із другого. Визначимо потужність різання [23]:

$$N_p = P_z * \left(\frac{V_c}{6\eta} \right) * 10^{-3} \quad (2.21)$$

де V_c – швидкість різання м/хв;

η – ККД приводу.

ККД приводу прийmemo, як для електродвигуна $\eta=0,65$ [1]. Тоді розрахунок буде наступним:

$$N_p = 112,2 * \left(\frac{51,08}{6 * 0,65} \right) * 10^{-3} = 1,46 \text{ кВт} \quad (2.22)$$

Якщо порівнювати отримані значенні, із каталожними значеннями, тоді можна побачити, що вони не сильно відрізняються, що може свідчити про правильність, чи їх наближеність до істинних значень [4].

2.6 Призначення технічних вимог

Відповідно до ISO до хвостовика висуваються наступні вимоги точності:

- d_1 виконується за h6;
- d_2 має допуск +0,2;
- h виконується за h13;
- l_1 має допуск $\pm 0,2$;
- l_2 має допуск +0,1;
- l_3 має допуск -0,1.

Параметри центрувального отвору, відповідно ГОСТ 14034-74:

- l має допуск $\pm 0,2$;
- l_1 береться за H12;
- Шорсткість опорних поверхні Ra 2.5;

- d та d_1 виконуються за ± 0.1 ;
- А кут при опорній поверхні виконується із допуском $-30'$.

Рушничні свердла не стандартизовані, тому використовуємо ГОСТ та ТУ, а саме, ГОСТ 5766–81 «Сверла спиральные с твердосплавными пластинами», ГОСТ 26596–2016 «Фрезы торцовые с механическим креплением сменных многогранных твердосплавных пластин», ГОСТ 27724–88 «Сверла с механическим креплением сменных многогранных пластин». Відповідно до них отримані наступні значення:

- Твердість хвостовика HRC 38...45;
- Шорсткість канавки по усій довжині Ra 6,3 мкм;
- Поверхня хвостовика Ra 0,63 мкм;
- Опірного торця Ra 0,8 мкм;
- Опорні поверхні пазів корпусу та вставок під пластину та направляючих Ra 1,6 мкм;
- інші поверхні Rz 25 мкм;
- площинність пазів корпусу та вставок під пластину та направляючих 0,03 мм;
- радіальне биття 0,08 мм.
- торцеве биття 0,08 мм.

Збірний кресленик рушничного свердла та робочий кресленик корпусу свердла наведені у додатку В, а специфікації до рушничного свердла у додатку Г.

3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВЕРДЛА РУШНИЧНОГО

3.1 Вибір заготовки

Визначення правильних параметрів заготовки, вибір її форми, розмірів, допусків та способу отримання, є важливою частиною розробки технологічного процесу, оскільки від цього в значній мірі залежить його потужність. Особливо від цього залежить час обробки, трудомісткість, витрати матеріалу, вимоги до інструменту, оснастки...

Тому для нашого випадку ми приймаємо заготовку циліндричної форми, отриманої відрізання від прокату. Також із бажанням досягнути економії матеріалу, зменшення трудомісткості, розглянемо ще один тип заготовки, отриманих із двох прутків, з'єднаних між собою зварюванням в стик, дифузійним лазерним зварюванням та паянням. Розміри заготовки будуть визначатися після визначення найпотужнішого маршруту, із використанням одного із типів заготовок.

Як матеріал заготовки, як вже було описано вище прийнята сталь 40Х за ГОСТ 4543-71.

3.2 Оптимізація технологічного процесу

Оскільки у нас є декілька можливих способів отримання заготовки, відповідно до кожного також буде змінюватися технологічний процес. А для кожного технологічного процесу потрібно найкращий, оптимальний спосіб виготовлення, тому ми розглянемо їх. І відповідно до однієї із методик визначення потужності процесу [26], виберемо метод виробництва.

Відповідно до креслення, технічних вимог та нормативної документації формулюємо технологічні вимоги, групи логічних умов: технологічні А1-10, експлуатаційні А11-14, економічні А15-21:

А1–Твердість робочої частини;

- A2–Твердість хвостовика;
- A3–Жорсткість робочої частини;
- A4–Шорсткість канавки;
- A5–Шорсткість хвостовика;
- A6–Точність виготовлення пазу під пластину;
- A7–Точність виготовлення хвостовика;
- A8–Точність виготовлення робочої частини;
- A9–Співвісність робочої частини та хвостовика;
- A10–Прямолінійність робочої частини;
- A11–Надійність базування свердла на верстаті;
- A12–Надійність кріплення свердла на верстаті;
- A13–Якість подання ЗОР;
- A14–Підвищення строку служби;
- A15–Підвищення коефіцієнту використання матеріалу;
- A16–Зниження трудомісткості;
- A17–Підвищення продуктивності;
- A18–Зниження собівартості;
- A19–Зменшення енерговитрат;
- A20–Зменшення задіяння інструментів;
- A21–Зменшення витрат на обладнання.

Базові маршрути

M1—технологічний процес на основі багатоцільового методу обробки, із суцільної заготовки;

M2—технологічний процес на основі багатоцільовому методі обробки заготовки, яка була отримана зварюванням у стик двох прутків, із однієї сталі;

M3—технологічний процес на основі багатоцільовому методі обробки заготовки, яка була отримана, дифузійним лазерним зварюванням двох прутків, із однієї сталі;

М4—технологічний процес на основі багатоцільовому методі обробки заготовки, яка була отримана паянням двох прутків, із однієї сталі;

М5—технологічний процес на основі обробки багатоцільовому методі заготовки, яка була отримана паянням, кованого хвостовика, та прутка, із однієї сталі.

Заготівельні операції:

А₃₁—Відрізання заготовки абразивним кругом;

А₃₂—Правка;

А₃₃—Виготовлення зворотних центрів;

А₃₄—Очистка поверхні, підготовка до зварювання;

А₃₅—Зварювання;

А₃₆—Очистка поверхні, підготовка до паяння;

А₃₇—Паяння

А₃₈—Кування;

Основні механічні та фінішні операції:

А_{М1}—Точіння хвостовика;

А_{М2}—Фрезерування хвостовика

А_{М3}—Точіння робочої частини;

А_{М4}—Фрезерування канавки та пазів;

А_{М5}—Свердління отворів та нарізання різьби;

А_{М6}—Свердління отвору для ЗОР;

А_{М7}—Шліфування хвостовика;

А_{М8}—Багатоцільова операція;

Операції підвищення зносостійкості, маркування, пакування:

А_{П1}—Термічні операції гартування та відпуск;

А_{П2}—Маркування методом лазерного гравіювання;

А_{П3}—Пакування.

Відповідність операцій, до визначених маршрутів надано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Базові маршрути

Виробничі цикли	Кодування операції	M1	M2	M3	M4	M5
Заготівельні	A _{з1}	+	+	+	+	+
	A _{з2}	+	+	+	+	+
	A _{з3}	+	+	+	+	+
	A _{з4}		+	+		
	A _{з5}		+	+		
	A _{з6}				+	+
	A _{з7}				+	+
	A _{з8}					+
Основні механічні та фінішні операції	A _{м1}	+	+	+	+	+
	A _{м2}	+	+	+	+	+
	A _{м3}	+	+	+	+	+
	A _{м4}		+	+	+	+
	A _{м5}		+	+	+	+
	A _{м6}	+	+	+	+	+
	A _{м7}	+	+	+	+	+
	A _{м8}	+				
Підвищення стійкості, пакування	A _{п1}	+	+	+	+	+
	A _{п2}	+	+	+	+	+
	A _{п3}	+	+	+	+	+

Для кращого уявлення даної таблиці, її варто візуалізувати (рис. 3.1)

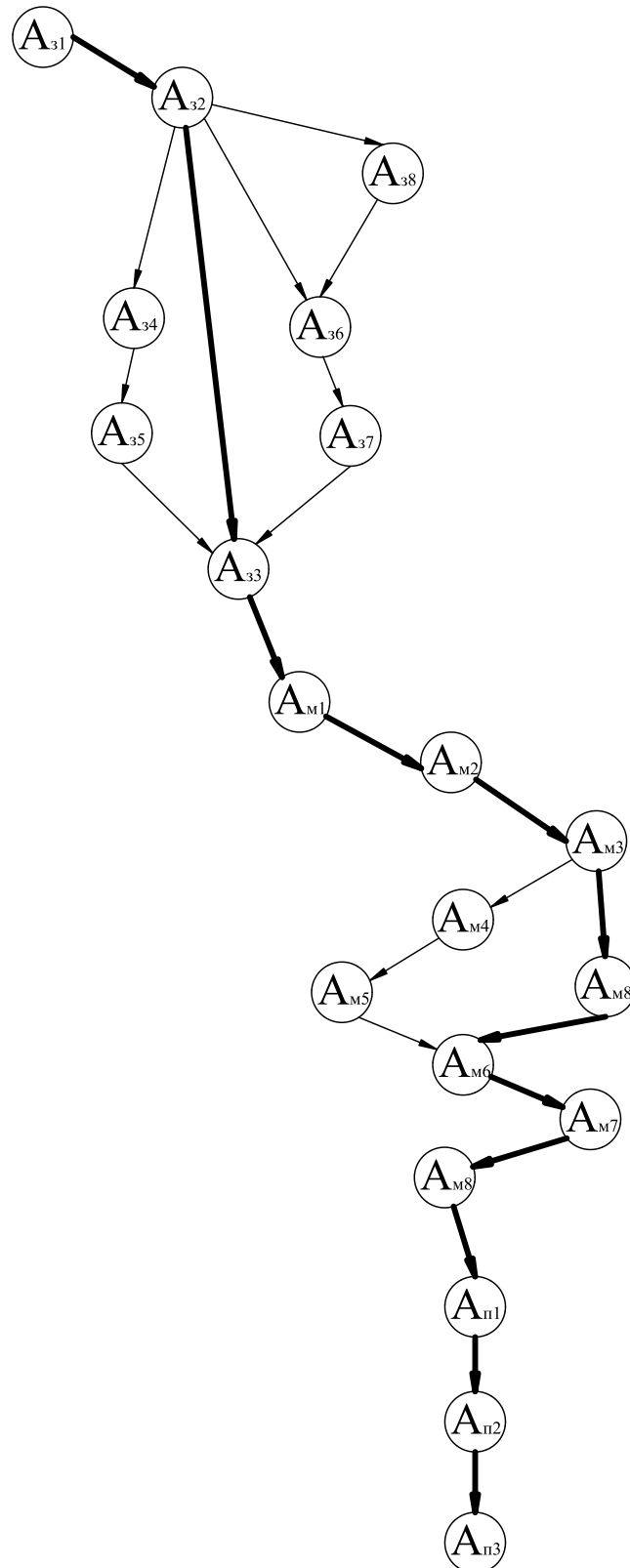


Рисунок 3.1— Узагальнений граф

Відповідність призначених операцій до визначених логічних критеріїв наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Задовільнення операцій технологічних маршрутів логічним умовам

Виробничі цикли	Кодування операції	Зміст операції	Логічні критерії
Заготівельні	A _{з1}	Відрізання заготовки абразивним кругом	A16,A19,A20,A21
	A _{з2}	Правка	A7,A8,A9,A10,A15, A16,A17,A20,A22
	A _{з3}	Виготовлення зворотних центрів	A6,A7,A8,A9,A10,
	A _{з4}	Очистка поверхні, підготовка до зварювання	A9,A12,A14,
	A _{з5}	Зварювання	A12,A15,A18
	A _{з6}	Очистка поверхні, підготовка до паяння	A9,A12,A14,
	A _{з7}	Паяння	A12,A15,A18
	A _{з8}	Кування	A2,A15,A21,
Основні механічні та фінішні операції	A _{м1}	Точіння хвостовика	A5,A7,A9,A11,A12
	A _{м2}	Фрезерування хвостовика	A6,A12,
	A _{м3}	Точіння робочої частини	A8,A9,A10,
	A _{м4}	Фрезерування канавки та пазів	A4,A6,A8
	A _{м5}	Свердління отворів та нарізання різьби	A6,A13
	A _{м6}	Свердління отвору для ЗОР	A13,A17

	A_{M7}	Шліфування хвостовика	$A5, A7, A11, A12,$
	A_{M8}	Багатоцільова	$A4, A6, A8, A16, A17,$ $A19, A20, A21,$
Підвищення стійкості, пакування	$A_{п1}$	Гартування та відпуск	$A1, A2, A3, A12, A14,$ $A17, A20, A21.$
	$A_{п2}$	Маркування	—
	$A_{п3}$	Пакування	—

Задоволенні кожного розробленого маршруту призначеними логічним критеріям по групам наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Визначення потужності по групам логічних умов

Коди опера- цій	Технологічні Маршрути					Експлуатаційні Маршрути					Економічні Маршрути				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
A_{31}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4
A_{32}	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
A_{33}	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_{34}	—	1	1	—	—	—	2	2	—	—	—	0	0	—	—
A_{35}	—	0	0	—	—	—	1	1	—	—	—	2	2	—	—
A_{36}	—	—	—	1	1	—	—	—	2	2	—	—	—	0	0
A_{37}	—	—	—	0	0	—	—	—	1	1	—	—	—	2	2
A_{38}	—	—	—	—	1	—	—	—	—	0	—	—	—	—	2
A_{M1}	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
A_{M2}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
A_{M3}	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_{M4}	—	3	3	3	3	—	0	0	0	0	—	0	0	0	0
A_{M5}	—	1	1	1	1	—	1	1	1	1	—	0	0	0	0
A_{M6}	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A_{M7}	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
A_{M8}	3	—	—	—	—	0	—	—	—	—	5	—	—	—	—

$A_{П1}$	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
$A_{П2}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$A_{П3}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sum C_{ij}$	24	26	26	26	27	8	12	12	12	12	18	15	15	15	17
$\sum A_{ij}$	12	15	15	15	17	12	15	15	15	17	12	15	15	15	17
N_i	2	1,7333	1,7333	1,7333	1,5882	0,667	0,8	0,8	0,8	0,7058	1,5	1	1	1	1

Загальне задоволення кожного із маршрутів призначеним логічним критеріям наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Визначення загальної потужності технологічних маршрутів

	M1	M2	M3	M4	M5	$M_{\text{опт}}$
A_{31}	4	4	4	4	4	4
A_{32}	9	9	9	9	9	9
A_{33}	5	5	5	5	5	5
A_{34}	—	3	3	—	—	—
A_{35}	—	3	3	—	—	—
A_{36}	—	—	—	3	3	—
A_{37}	—	—	—	3	3	—
A_{38}	—	—	—	—	3	—
A_{M1}	5	5	5	5	5	5
A_{M2}	2	2	2	2	2	2
A_{M3}	3	3	3	3	3	3
A_{M4}	—	3	3	3	3	3
A_{M5}	—	2	2	2	2	2
A_{M6}	2	2	2	2	2	2
A_{M7}	4	4	4	4	4	4
A_{M8}	8	—	—	—	—	8
$A_{П1}$	8	8	8	8	8	8
$A_{П2}$	—	—	—	—	—	—
$A_{П3}$	—	—	—	—	—	—
$\sum C_{ij}$	50	53	53	53	56	55

$\sum A_{ij}$	12	15	15	15	17	12
N_i	4,1666	3,5333	3,5333	3,5333	3,2941	4,5833

Продемонструємо отриманні дані, у вигляді діаграми, щоб було зручніше аналізувати їх (рис. 3.2).

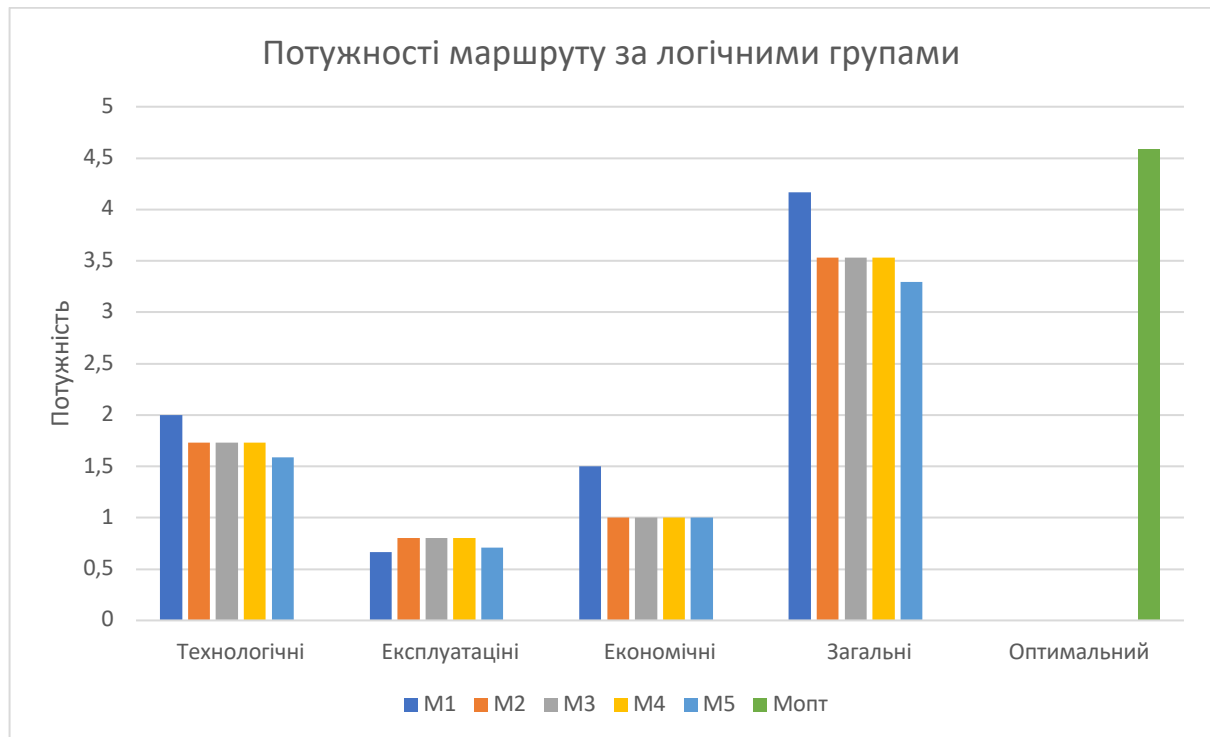


Рисунок 3.2—Діаграма потужностей

Під час виконання цього розділу нам вдалося вдало визначити, найбільш оптимальний маршрут виготовлення, яким виявився процес на основі обробки суцільної заготовки.

3.3 Розрахунок припусків

Важливим аспектом вибору заготовки, розробки технологічного процесу, від цього у великій мірі залежить можливість його виконання. Оскільки без врахування висоти мікронерівностей, глибини дефектного шару, похибок установки, просторових відхилень, особливо для великих деталей, виконання

прийнятих режимів різання, та переходів із яких складається операція може стати неможливим.

Залежно від типу операції, потрібно використовувати різні формули, те саме можна сказати, щодо переходів, для спрощення розрахунків. Оскільки ми будемо розглядати операції точіння та шліфування хвостовика, та точіння стебла потрібно використовувати наступну формулу [27]:

$$2Z_{mini} = 2 \left(R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (3.1)$$

де Z_{mini} — величина мінімального проміжного припуску для даного переходу;

R_{zi-1} —висота мікронерівностей на попередньому переході;

h_{i-1} —глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;

Δ_{i-1} —сумарне значення просторових відхилень поверхні на попередньому переході;

ε_i —похибка установки заготовки на даному переході.

Сумарне відхилення розташування, буде розраховуватися із наступних значень. Кривизна заготовки після правки приймаємо, 0,7 мкм/мм, тоді виходить:

$$\Delta_k = 510 * 0,7 = 357 \text{ мкм} = 0,357 \text{ мм} \quad (3.2)$$

Величина осі зміщення заготовки:

$$\Delta_{ц} = 0,25 \sqrt{IT_d^2 + 1000} = 0,25 \sqrt{210^2 + 1} = 52,5 \text{ мкм} \quad (3.3)$$

Сумарне значення просторових відхилень:

$$\Delta_{зм} = \sqrt{\Delta_{ц}^2 + \Delta_k^2} = \sqrt{357^2 + 52,5^2} = 360,839 \text{ мкм} \quad (3.4)$$

Прийmemo $\Delta_{зм} = 361 \text{ мкм}$.

Розрахунок припусків, точіння та шліфування хвостовика 25h6

Сумарне відхилення розташування після чорнового точіння:

$$\Delta_{чорн} = \Delta_{зм} * K_y = 361 * 0,08 = 28,88 \text{ мкм} \quad (3.5)$$

Сумарне відхилення розташування після напівчистового точіння:

$$\Delta_{\text{нчист}} = \Delta_{\text{зм}} * K_y = 361 * 0,06 = 21,66 \text{ мкм} \quad (3.6)$$

Сумарне відхилення розташування після чистового точіння:

$$\Delta_1 = \Delta_{\text{зм}} * K_y = 361 * 0,04 = 14,44 \text{ мкм} \quad (3.7)$$

Оскільки у подальшому проводиться гартування, і відповідно мають виникнути додаткові просторові відхилення, вони беруться до уваги при розрахунку припусків [27]:

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= 0,001 * n * \frac{L}{0,1d + 0,3} = 0,001 * 1 * \frac{492}{0,1 * 25 + 0,3} \\ &= 175,71 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\Delta_{\text{чист.}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{14,44^2 + 175,71^2} = 176,3 \text{ мкм} \quad (3.9)$$

Сумарне відхилення розташування після чистового точіння:

$$\Delta_{\text{чист.шліф.}} = \Delta_{\text{зм}} * K_y = 361 * 0,01 = 3,61 \text{ мкм} \quad (3.10)$$

Сумарні відхилення округляємо у більшу сторону. Для подальших розрахунків, частина параметрів буде вибрана табличним методом [28,42-43].

Розрахунок величини мінімальних припусків для переходів:

$$\begin{aligned} 2Z_{\text{чорн min}} &= 2 \left(250 + 350 + \sqrt{300^2 + 350^2} \right) = 2121,95 \text{ мкм} \\ 2Z_{\text{нчист min}} &= 2 \left(320 + 300 + \sqrt{29^2 + 50^2} \right) = 1355,6 \text{ мкм} \\ 2Z_{\text{чист min}} &= 2 \left(50 + 100 + \sqrt{22^2 + 8^2} \right) = 346,81 \text{ мкм} \\ 2Z_{\text{шліф min}} &= 2 \left(2,5 + 5 + \sqrt{177^2 + 0^2} \right) = 369 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Відповідно до отриманих даних ми отримуємо таблицю 3.5 (рис. 3.3):

Таблиця 3.5 - Розрахунок припусків та між перехідних розмірів

Технологічна операція	Елементи припуски, мкм				2Z _{in} , мкм	D _{max} , мм	l _{td} , мм	Прийняті округлення		Отримані значення припусків	
	Rz _i	h _i	Δ _i	ε _i				D _{maxi} , мм	D _{mini} , мм	2Z _{maxi} , мкм	2Z _{mini} , мкм
Заготовка	250	350	300	400	—	35	210	35	34,79	—	—
Чорнове точіння	320	300	29	350	2122	27,1	300	27,07	26,77	7928,58	8018,6
Напівчистове точіння	50	100	22	50	1356	25,7	150	25,72	25,57	1355,6	1205,6
Чистове точіння	2,5	5	17,7	8	346,8	25,4	80	25,37	25,29	346,819	276,82
Шліфування	2,5	0	4	0	369	25	13	25	24,99	369	302
										10000	9803

Виконуємо перевірку:

$$\Sigma 2Z_{i \max} - \Sigma 2Z_{i \min} = 10000 - 9803 = 197 \text{ мкм}$$

$$IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = 210 - 13 = 197 \text{ мкм}$$

(3.12)

Значення збігаються, значить перевірка пройдена.

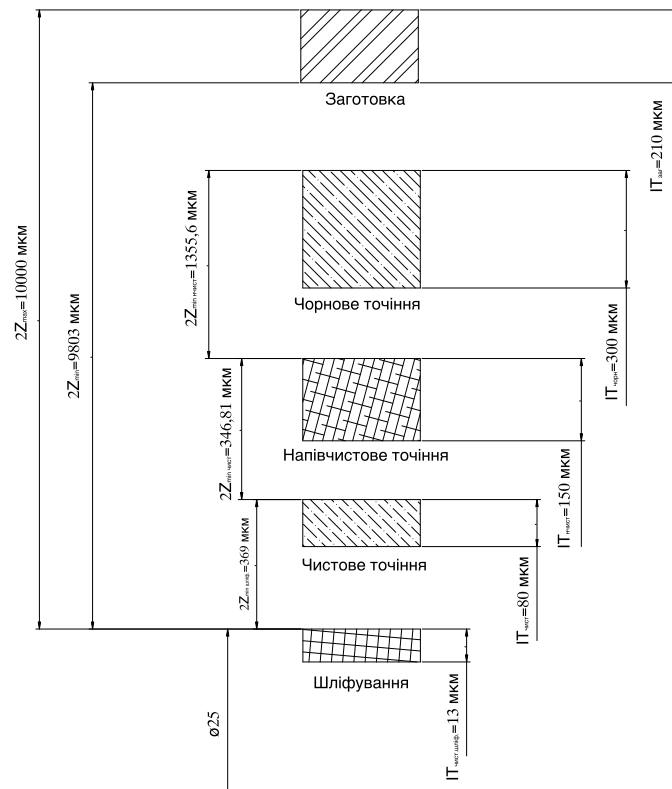


Рисунок 3.3—Розташування припусків

Розрахунок припусків, точіння стебла 19,5h8

Сумарне відхилення розташування після чорнового точіння:

$$\Delta_{\text{чорн}} = \Delta_{\text{зм}} * K_y = 361 * 0,08 = 28,86 \text{ мкм} \quad (3.13)$$

Сумарне відхилення розташування після напівчистового точіння:

$$\Delta_{\text{нчист}} = \Delta_{\text{зм}} * K_y = 361 * 0,06 = 21,65 \text{ мкм} \quad (3.14)$$

Сумарне відхилення розташування після чистового точіння:

$$\Delta_{\text{нчист}} = \Delta_{\text{зм}} * K_y = 361 * 0,04 = 14,44 \text{ мкм} \quad (3.15)$$

Сумарне відхилення розташування після чорнового шліфування:

$$\Delta_1 = \Delta_{\text{зм}} * K_y = 361 * 0,02 = 10,82 \text{ мкм} \quad (3.16)$$

Оскільки у подальшому проводиться гартування, і відповідно мають виникнути додаткові просторові відхилення, вони беруться до уваги при розрахунку припусків [27]:

Виконуємо перевірку:

$$\begin{aligned}\Sigma 2Z_{i \max} - \Sigma 2Z_{i \min} &= 15500 - 15323 = 177 \text{ мкм} \\ IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} &= 210 - 33 = 177 \text{ мкм}\end{aligned}\quad (3.20)$$

Значення збігаються, значить перевірка пройдена.

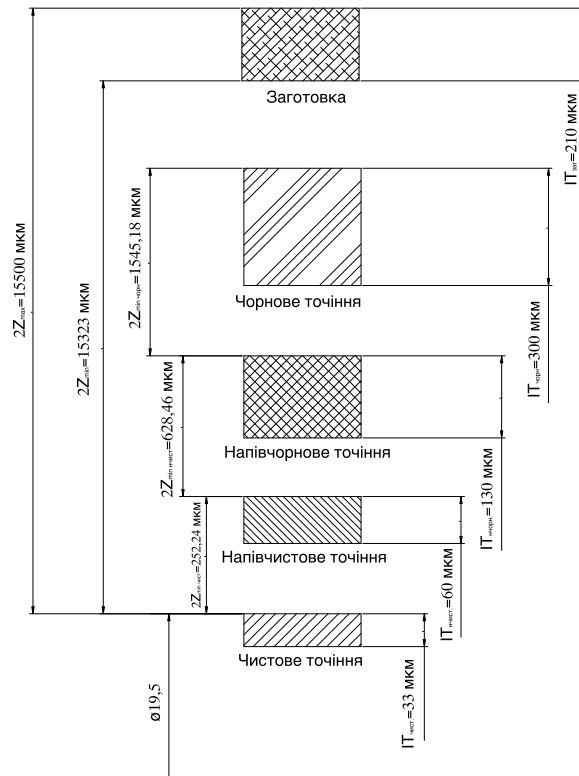
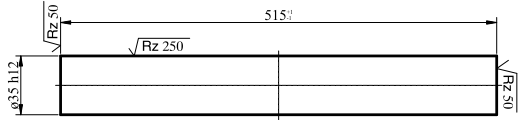
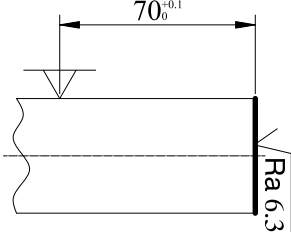
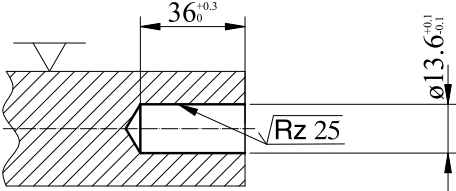
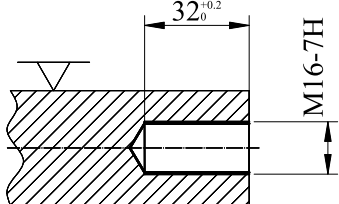
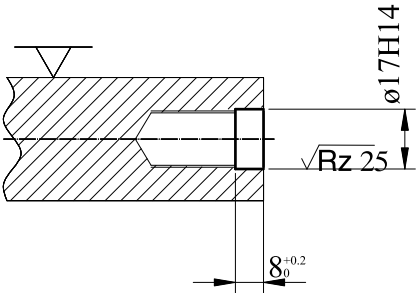


Рисунок 3.4—Розташування припусків

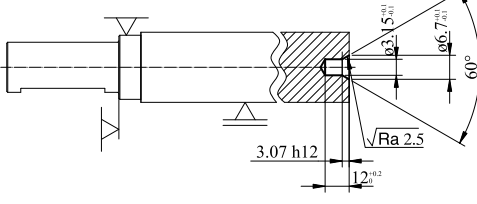
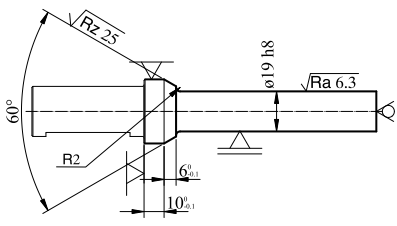
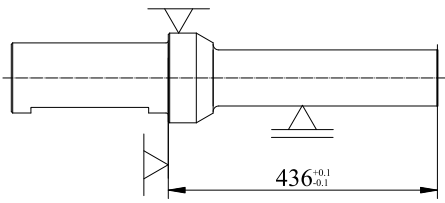
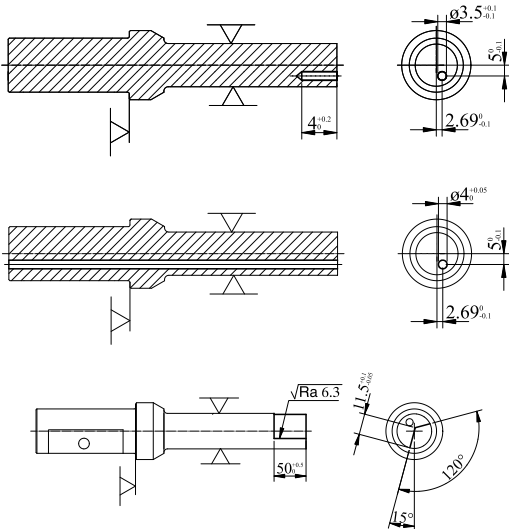
3.4 Маршрутна технологія обробки свердла

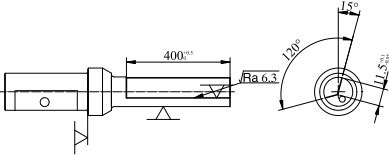
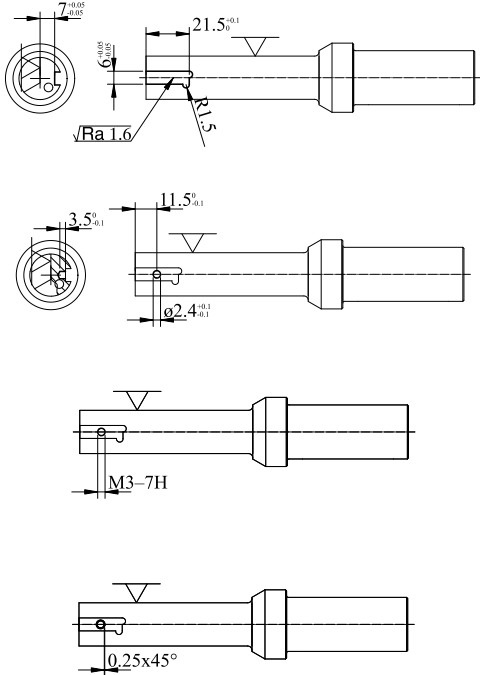
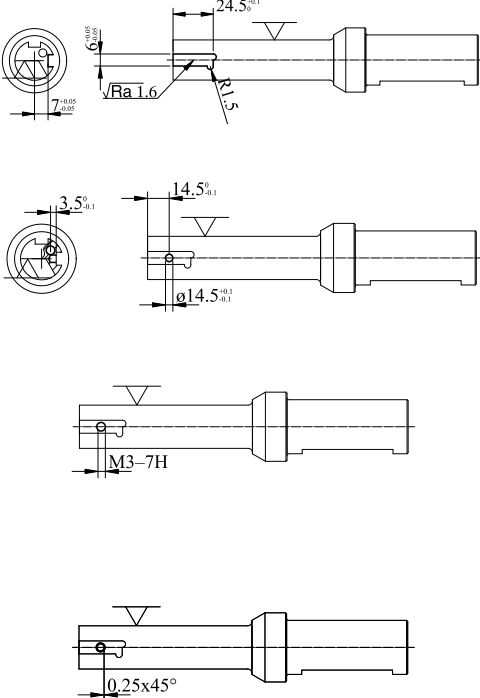
Виходячи із інформації отриманої у минулих розділах, розробляємо маршрут обробки, який буде брати до уваги, оптимальний маршрут та технологічні вимоги. Він буде поданий у таблиці 3.7:

Таблиця 3.7 - Маршрут технологічних операцій

№	Операція	Ескіз операції	Верстат	Інструмент та пристосування
005	Відрізання		Автоматичний відрізний верстат по металу Pilana PMS 350/460 ANE	Стрічкова пила
010	Правка	—	—	—
015	Багатоцільова: підрізка торця, свердління, утворення центрального отвору, точіння, фрезерування лиски	   	Токарний верстат HAAS ST-20	Різець Mitsubishi Materials PCLNR1616H 09, різець чистовий Mitsubishi Materials PDJNR2020K 15, мітчик ø20 мм ESCO SGSP20M2R, центрувальне свердло ø12 мм 60° Mitsubishi Materials DLE1200S120 P060, центрувальне свердло ø12 мм 120° Mitsubishi Materials DLE1200S120 P120, свердло ø13,5 мм Mitsubishi Materials MVS1350X03 S160, фреза кінцева ø25 мм Mitsubishi Materials MSMHZDD2 500, патрон трьох кулачковий

020	Багатоцільова токарна: підрізка торця, центрувальний отвір		Токарний верстат TM-26120G - Centre Lathe	Різець Mitsubishi Materials PCLNR1616H 09, свердло ø8 мм Mitsubishi Materials

				MVS0800X02 S080PL, центрувальне свердло $\varnothing 12$ мм 60° Mitsubishi Materials DLE1200S120 P060, патрон тръох кулачковий, люнети
025	Точіння стебла			Різець Mitsubishi Materials PCLNR1616H 09, різець чистовий Mitsubishi Materials PDJNR2020K 15, патрон тръох кулачковий, люнети центр
030	Відрізання центруваль- ного отвору			Різець відрізний Mitsubishi Materials GWB26NAA2 -F36, патрон тръох кулачковий, люнети
035	Багато- цільова: свердління отвору під ЗОР, фрезеруван- ня підтримки на стеблі		Оброблювани й центр для фрезерування та глибокого свердління TBT BW220- Series	Свердло $\varnothing 3,5$ мм Mitsubishi Materials MVS0350X03 S160, рушничне свердло $\varnothing 4$ мм DMET part №112787SK, фреза кінцева $\varnothing 25$ мм Mitsubishi Materials MSMHZDD2 500, лещата, опорні призми

040	Фрезерування стружкової канавки			фреза кінцева $\varnothing 25$ мм Mitsubishi Materials MSMHZDD2 500, опорні призми, прихвати
045	Багатоцільова: фрезерування пазу під направляючу, свердління отвору, нарізання різьби			Фреза кінцева $\varnothing 3$ мм Mitsubishi Materials MS2JSD0300, свердло $\varnothing 2,4$ мм Mitsubishi Materials MVS0240- X02S040PL, мітчик $\varnothing 3$ мм ESCO SGSP 3M0.5R, центрувальне свердло $\varnothing 4$ мм 90° Mitsubishi Materials DLE0045S120 P090, поворотне пристосування
050	Багатоцільова: фрезерування пазу під направляючу, свердління отвору, нарізання різьби			Фреза кінцева $\varnothing 3$ мм Mitsubishi Materials MS2JSD0300, свердло $\varnothing 2,4$ мм Mitsubishi Materials MVS0240- X02S040PL, мітчик $\varnothing 3$ мм ESCO SGSP 3M0.5R, центрувальне свердло $\varnothing 4$ мм 90° Mitsubishi Materials DLE0040S120 P090,

				поворотне пристосування
055	Багатоцільова фрезерна: свердління отвору, нарізання різьби, фрезерування пазу під пластину, утворення кута в плані			Фреза кінцева $\phi 3$ мм Mitsubishi Materials MS2JSD0300, свердло $\phi 2,4$ мм Mitsubishi Materials MVS0240-X02S040PL, мітчик $\phi 3$ мм ESCO SGSP 3M0.5R, фреза кінцева $\phi 20$ мм Mitsubishi Materials C2JSD2000, центрувальне свердло $\phi 4$ мм 90° Mitsubishi Materials DLE0040S120 P090, поворотне пристосування
060	Термічна обробка, 860 C° , відпуск 500 C° у воду	—	Піч для гартування СНО-4.8.31/2,5	—
065	Чистове шліфування		Шліфувальний верстат KNUTH RSM 750 C	Шліфувальний круг $\phi 400$ 1 400-50-127 25A 40 CM2 6 K 35 A 2 ГОСТ 2424-83, патрон трьох кулачковий, відкритий люнет, люнетна втулка TBT 5407
070	Лазерне маркування	—	Лазерний верстат LT-	—

			30.15	
075	Пакування	—	—	—

3.5 Розрахунок режимів різання

Далі розрахуємо режими різання деяких операцій. Для цього скористаємося емпіричною формулою, із показниками із довідника [29].

Операція 015 свердління

Відповідно до попередньо прийнятих конструкторських рішень, та табличних рекомендацій отримуємо $D=13,5$ мм, $s=0,13$ мм/об [29]. Для розрахунку використовується наступна формула [29]:

$$v = \frac{C_v * D^q}{T^m * s^y} * K_v \quad (3.21)$$

де D – діаметр свердла, мм;

T – період стійкості;

s – подача, мм/об;

C_v, q, m, y – коефіцієнт і показники в формулі;

$K_v = K_{mv} * K_{iv} * K_{lv}$ – поправочний коефіцієнт;

$K_{mv} = K_\Gamma (750/\sigma_B)^{nv}$ – коефіцієнт оброблюваного матеріалу;

K_{iv} – коефіцієнт матеріалу інструменту;

K_{lv} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління.

Приймаємо наступні значення наведених коефіцієнтів: $T=20$ хв, $C_v=9,8$, $q=0,4$, $m=0,2$, $y=0,5$, $K_{mv}=1*(750/980)^1=0,765$, $K_{iv}=0,4$, $K_{lv}=1$, $K_v=0,4*1*0,765=0,306$ [29]. Тоді швидкість приймає наступне значення:

$$v = \frac{9,8 * 13,5^{0,4}}{20^{0,2} * 0,13^{0,5}} * 0,306 = 12,93 \text{ м/хв} \quad (3.22)$$

Відповідно до цього значення отримуємо наступну частоту:

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 * 13,5}{14,9 * \pi} = 304,8 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.23)$$

Приймаємо $n=305$ об/хв.

Операція 015 фрезерування

Фрезерування

При фрезеруванні використовується кінцева фреза із напаяною різальною частиною Т15К6, із наступними параметрами $D=25$ мм, $z=4$. При фрезеруванні використовуються наступні параметри $t=1$ мм, $B=20$ мм, та подачею $s_z=0,06$ мм/зуб[29]. Швидкість різання буде розраховуватися за наступною формулою:

$$V = \frac{C_v * D^q}{T^m * t^x * s^y * B^u * z^p} * K_v \quad (3.24)$$

де C_v – табличний коефіцієнт;

q, m, x, y, u, p – табличні показники ступеня;

D – діаметр фрези, мм;

T – стійкість інструменту, хв;

t – глибина фрезерування, мм;

s – подача, мм/об;

B –ширина фрезерування, мм;

z – кількість зубів фрези;

K_v – коефіцієнт, який бере до уваги інші показники різання:

$$K_v = K_{mv} * K_{nv} * K_{iv} \quad (3.25)$$

де K_{mv} – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки;

K_{nv} – коефіцієнт, який враховує стан поверхні;

K_{iv} – коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту;

Подача $s=s_z*z=0,06*4=0,24$ мм/об. Тоді відповідно до табличних значень приймаємо наступні значення $K_{mv}=1,06$, $K_{nv}=0,8$, $K_{iv}=1$, $C_v=234$, $q=0,44$, $m=0,37$, $x=0,24$, $y=0,26$, $u=0,1$, $p=0,1$, $T=30$ хв [29]. Відповідно до цих значень отримуємо, такі значення:

$$K_v = 1,06 * 0,8 * 0,4 = 0,848$$

$$V = \frac{234 * 25^{0,44}}{30^{0,37} * 1^{0,24} * 0,24^{0,26} * 25^{0,1} * 4^{0,1}} * 0,848 = 250,565 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \quad (3.26)$$

Тоді частота обертів має бути:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 250,565}{\pi * 25} = 3190,28 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.27)$$

Приймаємо частоту $n=3195$ об/хв. Визначення дійсної швидкості різання:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi * 25 * 3195}{1000} = 250,93 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \quad (3.28)$$

Для перевірки, проведемо розрахунок потрібної потужності. Спочатку визначимо силу різання за наступною формулою:

$$P_z = \frac{10 * C_p * t^x * s_z^y * B^u * z}{D^q * n^v} * K_{mp} \quad (3.29)$$

де C_p – табличний коефіцієнт;

x, y, u, q, v – табличні показники ступеня;

D – діаметр фрези, мм;

t –глибина фрезерування, мм;

s_z –подача на зуб, мм/об;

B –ширина фрезерування, мм;

z –кількість зубів фрези;

n –частота обертання фрези, об/хв;

K_{mp} – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу.

Відповідно до табличних даних, ми отримуємо наступні значення: $C_p=12,5$, $x=0,85$, $y=0,75$, $u=1$, $q=0,73$, $v=-0,13$, $K_{mp}=1$ [29]. Виходячи із цих значень сила різання буде:

$$\frac{10 * 12,5 * 1^{0,85} * 0,06^{0,75} * 25^1 * 4}{25^{0,73} * 3190^{-0,13}} * 1 = 412,59 \text{ Н} \quad (3.30)$$

Тоді потужність буде:

$$N_e = \frac{P_z * v}{1020 * 60} = \frac{387,58 * 196,97}{1020 * 60} = 1,691 \text{ кВт} \quad (3.31)$$

Розрахована потужність є меншою, за потужність верстату, значить перевірка пройдена.

Операція 015 точіння

Чорнове точіння:

Відповідно до довідникових рекомендацій приймаємо глибина різання $t=1,5$ мм, подача $s=0.6$ мм/об [29], а матеріал твердосплавної пластини Т15К6. Тоді швидкість різання визначається за такою формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m * t^x * s^y} * K_v \quad (3.32)$$

де C_v – табличний коефіцієнт;

T – стійкість інструменту, хв;

m, x, y –показники ступенів;

K_v – коефіцієнт, який бере до уваги інші коефіцієнти, які визначаються процес різання. І визначається він наступним чином:

$$K_v = K_{mv} * K_{nv} * K_{iv} \quad (3.33)$$

де K_{mv} – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки;

K_{nv} – коефіцієнт, який враховує стан поверхні;

K_{iv} – коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту;

Тоді відповідно до табличних значень приймаємо наступні значення $K_{mv}=1,06$, $K_{nv}=0,8$, $K_{iv}=1$, $C_v=280$, $m=0,2$, $x=0,15$, $y=0,45$, $T=30$ хв [28].

Відповідно до цих значень отримуємо, такі значення:

$$K_v = 1,06 * 0,8 * 1 = 0,848$$

$$V = \frac{280}{30^{0,2} * 1,5^{0,15} * 0,6^{0,45}} * 0,848 = 142,412 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \quad (3.34)$$

Тоді частота обертів має бути:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 142,412}{\pi * 27} = 1678,931 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.35)$$

Приймаємо частоту $n=1680$ об/хв. Визначення дійсної швидкості різання:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi * 33 * 1375}{1000} = 142,502 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \quad (3.36)$$

Для перевірки зробимо розрахунок потрібної потужності обробки, і порівняємо із параметрами верстату. Для цього спочатку розрахуємо сили різання, які виникають при різанні, за наступною формулою:

$$P_{x,y,z} = 10C_p t^x s^y v^n K_p \quad (3.37)$$

де C_p – табличний коефіцієнт;

x, y, n – табличні показники ступеня;

t – глибина різання, мм;

s – подача, мм/об;

v – швидкість різання, м/хв;

K_p –коефіцієнт, який бере до уваги інші параметри обробки, він розраховується за наступною формулою:

$$K_p = K_{\varphi p} * K_{\gamma p} * K_{\lambda p} * K_{rp} \quad (3.38)$$

де $K_{\varphi p}$ – коефіцієнт, який враховує головний кут в плані;

$K_{\gamma p}$ – коефіцієнт, який враховує передній куті;

$K_{\lambda p}$ – коефіцієнт, який враховує нахил головного леза;

K_{rp} – коефіцієнт, який враховує радіус при вершині;

Для розрахунку радіальної сили, отримаємо наступні показники: $C_p=300$, $x=1$, $y=0,75$, $n=-0,15$, $K_{\varphi p}=1$, $K_{\gamma p}=1$, $K_{\lambda p}=1$, $K_{rp}=1$ [28]. Тоді ми отримаємо наступні значення:

$$K_p = 1 * 1 * 1 * 1 = 1$$

$$P_z = 10 * 300 * 1,5^{10,6^{0,75}} 142,502^{-0,15} * 1 = 1457,912 \text{ Н} \quad (3.39)$$

Відповідно до отриманих значень отримаємо наступне значення потрібної потужності:

$$N = \frac{P_z * v}{1020 * 60} = \frac{1457,912 * 142,549}{1020 * 60} = 3,395 \text{ кВт} \quad (3.40)$$

Оскільки це значення менше потужності двигуна верстату, перевірка пройдена.

Чистове точіння:

Відповідно до довідникових рекомендацій приймаємо глибина різання $t=0,3$ мм, подача $s=0.13$ мм/об [28], а матеріал твердосплавної пластини Т15К6. Тоді швидкість різання визначається за такою формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m * t^x * s^y} * K_v \quad (3.41)$$

Тоді відповідно до табличних значень приймаємо наступні значення $K_{mv}=1,06$, $K_{nv}=0,8$, $K_{iv}=1$, $C_v=350$, $m=0,2$, $x=0,15$, $y=0,2$, $T=30$ хв [28]. Відповідно до цих значень отримуємо, такі значення:

$$K_v = 1,06 * 0,8 * 1 = 0,848$$

$$V = \frac{350}{30^{0,2} * 0,3^{0,15} * 0,13^{0,2}} * 0,848 = 270,821 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \quad (3.42)$$

Тоді частота обертів має бути:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 270,821}{\pi * 25,4} = 3393,89 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.43)$$

Приймаємо частоту $n=3395$ об/хв. Визначення дійсної швидкості різання:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi * 25,4 * 3395}{1000} = 270,9 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \quad (3.44)$$

Оскільки при чистовій обробці потрібна менша потужність, а перевірка чорнової була успішно пройдена, нема сенсу проводити повторний розрахунок.

Операція 035 глибоке свердління

Як режим різання для свердління отвору для ЗОР, рушничним свердлом приймемо табличні рекомендації. А відповідно до них отримаємо частоту $n=891$ об/хв, та подачу $s=0,019$ мм/хв [2].

Операція 035 фрезерування

Фрезерування

При фрезеруванні використовується кінцева фреза із напаяною різальною частиною Т15К6, із наступними параметрами $D=20$ мм, $z=4$. При фрезеруванні використовуються наступні параметри $t=5$ мм, $B=5$ мм, та

подачею $s_z=0,06$ мм/зуб[29]. Швидкість різання буде розраховуватися за наступною формулою:

$$V = \frac{C_v * D^q}{T^m * t^x * s^y * B^u * Z^p} * K_v \quad (3.45)$$

Подача $s=s_z*z=0,06*4=0,24$ мм/об. Тоді відповідно до табличних значень приймаємо наступні значення $K_{mv}=1,06$, $K_{nv}=0,8$, $K_{iv}=1$, $C_v=234$, $q=0,44$, $m=0,37$, $x=0,24$, $y=0,26$, $u=0,1$, $p=0,1$, $T=30$ хв [29]. Відповідно до цих значень отримуємо, такі значення:

$$K_v = 1,06 * 0,8 * 0,4 = 0,848$$

$$V = \frac{234 * 25^{0,44}}{30^{0,37} * 5^{0,24} * 0,24^{0,26} * 5^{0,1} * 4^{0,1}} * 0,848 = 200,01 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \quad (3.46)$$

Тоді частота обертів має бути:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 200,01}{\pi * 25} = 2546,67 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.47)$$

Приймаємо частоту $n=2550$ об/хв. Визначення дійсної швидкості різання:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi * 25 * 2550}{1000} = 200,276 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \quad (3.48)$$

Для перевірки, проведемо розрахунок потрібної потужності. Спочатку визначимо силу різання за наступною формулою:

$$P_z = \frac{10 * C_p * t^x * s_z^y * B^u * Z}{D^q * n^v} * K_{mp} \quad (3.49)$$

Відповідно до табличних даних, ми отримуємо наступні значення: $C_p=12,5$, $x=0,85$, $y=0,75$, $u=1$, $q=0,73$, $v=-0,13$, $K_{mp}=1$ [29]. Виходячи із цих значень сила різання буде:

$$P_z = \frac{10 * 12,5 * 5^{0,85} * 0,06^{0,75} * 5^1 * 4}{25^{0,73} * 2546^{-0,13}} * 1 = 324,09 \text{ Н} \quad (3.50)$$

Тоді потужність буде:

$$N_e = \frac{P_z * v}{1020 * 60} = \frac{324,09 * 200,276}{1020 * 60} = 1,06 \text{ кВт} \quad (3.51)$$

Розрахована потужність є меншою, за потужність верстату, значить перевірка пройдена.

Операція 045 свердління

Відповідно до попередньо прийнятих конструкторських рішень, та табличних рекомендацій отримуємо $D=2,4$ мм, $s=0,09$ мм/об [29]. Для розрахунку використовується наступна формула [29]:

$$v = \frac{C_v * D^q}{T^m * s^y} * K_v \quad (3.52)$$

Приймаємо наступні значення наведених коефіцієнтів: $T=8$ хв, $C_v=9,8$, $q=0,4$, $m=0,2$, $y=0,5$, $K_{mv}=0,765$, $K_{iv}=0,4$, $K_{lv}=1$, $K_v=0,4*1*0,765=0,306$ [29]. Тоді швидкість приймає наступне значення:

$$v = \frac{9,8 * 2,4^{0,4}}{8^{0,2} * 0,09^{0,5}} * 0,306 = 9,36 \text{ м/хв} \quad (3.53)$$

Відповідно до цього значення отримуємо наступну частоту:

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 * 10,759}{3,4 * \pi} = 1241,4 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.54)$$

Приймаємо $n=1242$ об/хв.

Операція 065 шліфування

Для визначення режиму різання будемо використовувати табличні, довідникові рекомендації, і зробимо перевірку по потужності. Відповідно до табличних значень отримаємо наступні параметри обробки $t=0,01$ мм, $S_0=8$ мм/об, $V_k=1800$ м/хв, $V_z=20$ м/хв [30]. Показника шліфувального круга $D=300$ мм, $B=25$ мм, зернистість 25, твердість СМ2 [30], матеріал електрокорунд нормальний, із керамічною зв'язкою К5. Тоді частота обертання буде:

$$= \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 1800}{\pi * 400} = 1909,85 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.55)$$

Приймаємо частоту $n=1900$ об/хв. При цьому потужність буде розраховуватися за такою формулою:

$$N = C_N v_3^r t^x s_p^y D^q b^z \quad (3.56)$$

де C_N – табличний коефіцієнт;

r, x, y, q, z – табличні показники ступеня;

V_3 –швидкість обертання заготовки, м/хв;

t –глибина шліфування, мм;

s_p —подача, мм/об;

D —Діаметр шліфувального круга, мм;

b —ширина шліфування, мм;

Відповідно до умов обробки значення будуть наступні:
 $C_N=1,3, r=0,75, x=0,85, y=0,7, q=0, z=0$ [30]. Тоді вона виходить:

$$N = 1,3 * 20^{0,75} * 0,01^{0,85} * 8^{0,7} * 1 = 1,051 \text{ кВт} \quad (3.57)$$

Дана потужність є меншою, ніж та, що може видати верстат, тому перевірка пройдена.

Графічне зображені операцій, та технологічні карти наведені у додатку В.

3.6 Розроблення керуючої програми

Оскільки у даному технологічному процесі використовуються верстати із ЧПК, для них потрібно розробити керуючу програму. Для цього буде використовуватися САМ середовище Autodesk Fusion 360. Як етапи розробки керуючої програми можна зазначати: вибір заготовки (рис. 3.5), завдання переходу, вибір інструменту, завдання режиму різання та симуляція процесу обробки разом із перевіркою (рис. 3.8). Після виконання цих етапів задається постпроцесор та створюється керуюча програма. Вихідні дані, до складання програми:

- Технологічний маршрут (рис. 3.7);
- прийняті інструменти (рис. 3.6);
- розраховані режими різання (рис. 3.6);
- прийняті ЧПК верстати.

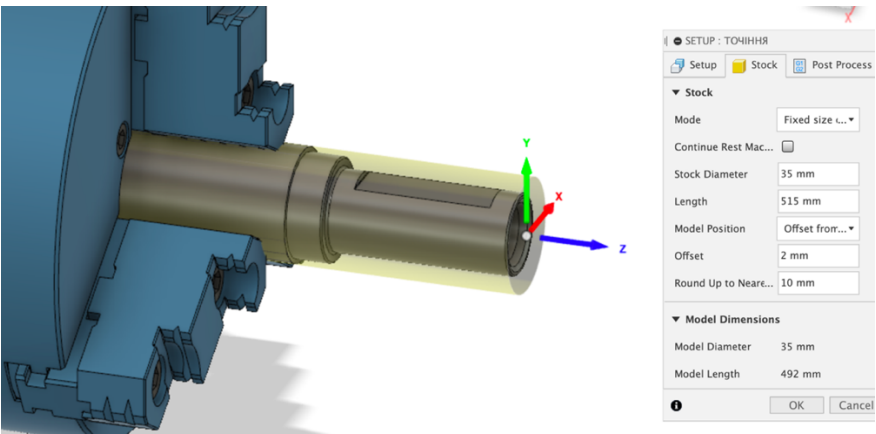


Рисунок 3.5—Вибір заготовки та завдання переходу

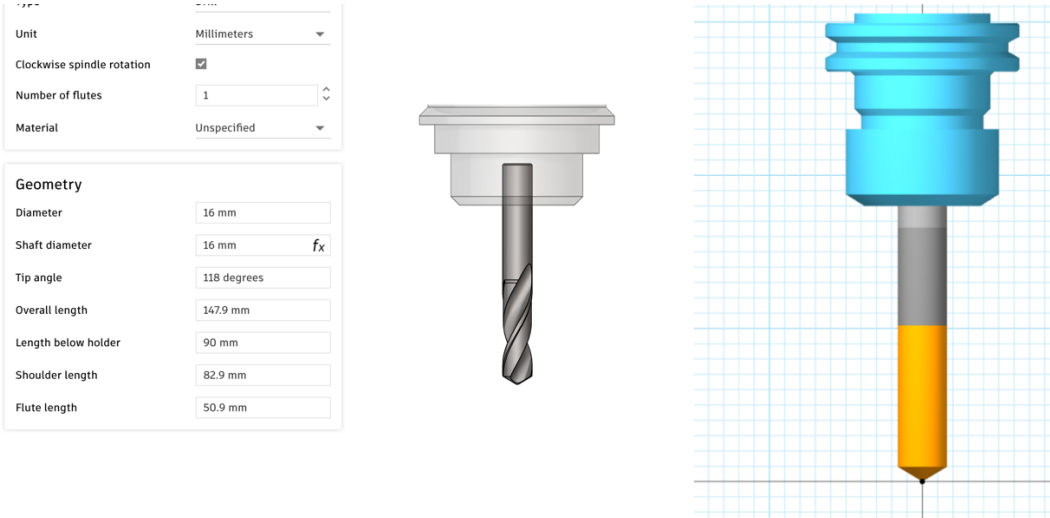


Рисунок 3.6—Завдання різального інструменту

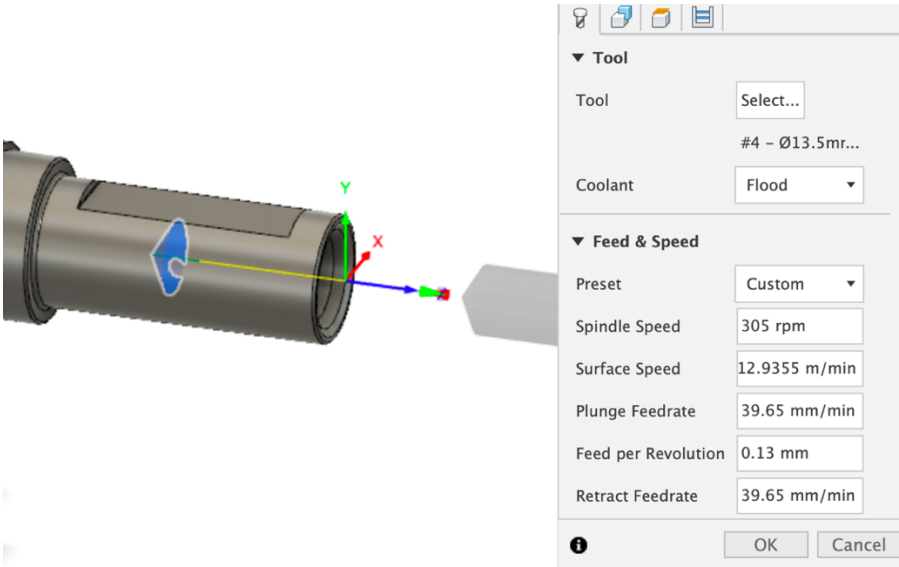


Рисунок 3.7—Завдання режиму різання

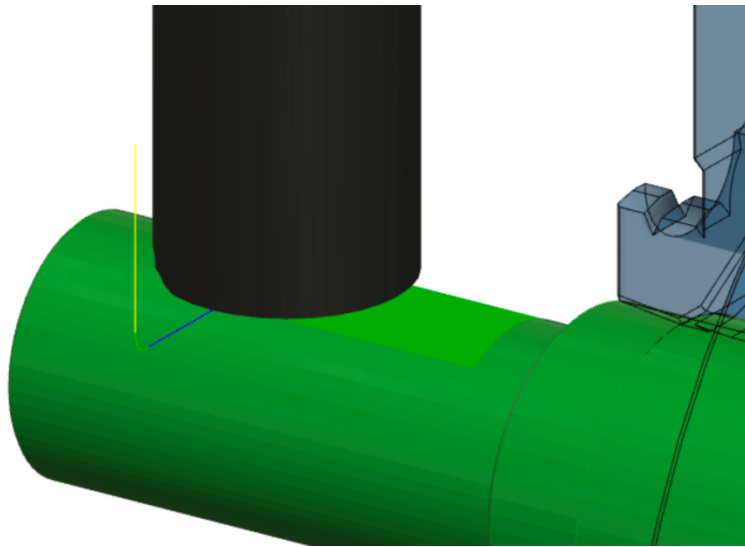


Рисунок 3.8—Симуляція процесу обробки

Отримана керуюча програма наведена у додатку Б.

4 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРИСТОСУВАННЯ

4.1 Конструкція поворотного пристосування

Для підвищення технічного рівня та покращення якості показників матеріального виробництва у машинобудуванні. Потрібно бути покращена структура та якість металообробного обладнання, освоєння та введення автоматизованих ліній. У зв'язку із цим великої важливості набуває металорізальний інструмент, високоефективний як по точності, стійкості, продуктивності. Велике значення у цьому має пристосування, оскільки воно має на меті допомогти підвищити продуктивність його виробництва при цьому зберігаючи його високу якість. [31]

Особливо це важливо після аналіз часу обробки, оскільки він показав, що близько 17...38% займає час різання, а увесь інший час витрачається на установку та налагодження.[32] Це добре видно у інструментальному виробництві, через складність їх форми, та високі вимоги до вихідного продукту. Таким чином ми бачимо гарний напрямок для подальшої роботи та покращення виробництва.

Під час експлуатації свердла для глибокого свердління важливу роль відіграє позиціонування направляючих та різальної пластини, а оскільки їх розташування зв'язано із стружковою канавкою, і відповідно лискою, було вибране пристосування, головною метою якого є забезпечення їх правильного розташування.

Для цього було розроблено збірне ручне спеціалізоване пристосування (рис. 4.1, 4.2), яке дозволяє закріпити свердло у центральну втулку, та обертаючи його разом із ділильним колесом виставити потрібний кут його повороту, для зручного доступу інструменту до оброблюваної зони. Ділильне колесо дозволяє виставляти ряд різноманітних позицій, що дозволяє розширити його можливості у обробці корпусів із різними конфігураціями

направляючих. Також із заміною центральної втулки, можна також розширити кількість типорозмірів свердел, які можна обробляти.

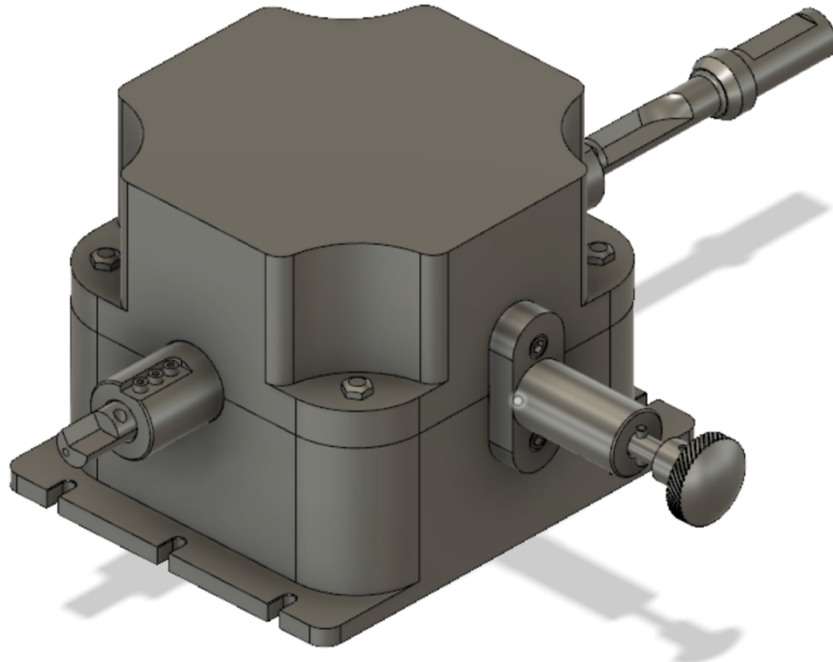


Рисунок 4.1—Зібране пристосування із заготовкою

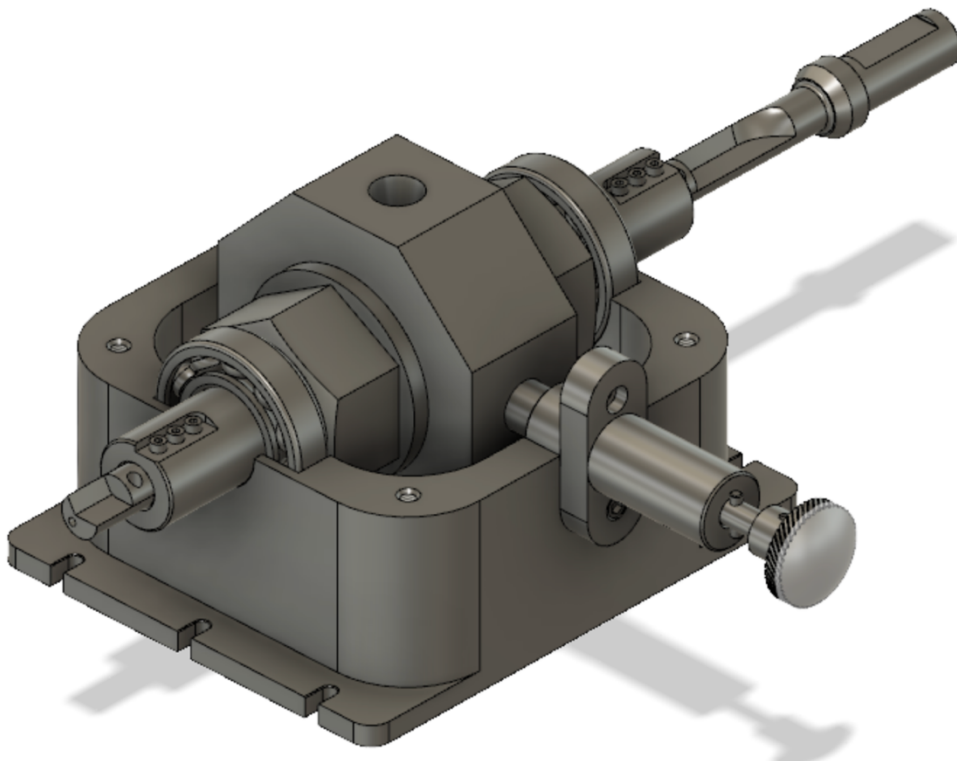


Рисунок 4.2—Збірка пристосування без кришки

4.2 Опис роботи поворотного пристосування

Збірка пристосування відбувається наступним чином. На стіл фрезерувального верстату встановлюється корпус 1, і закріплюється гвинтами через Т подібний паз. На вісь 7, вставляються шпонки 18, на які насаджується ділильний диск 3, після чого воно центрується та кріпиться за допомогою шайб 14 та гайок 15, після чого на неї надягаються підшипники 17, і зібрана вісь встановлюється у корпус 1. Витяжний фіксатор збирається у такій послідовності конусний головка 9 з'єднується із направляючою 4 за допомогою штифта 11, на направляючу надягається пружина 12, а на неї надягається корпус фіксатора 6, і кріпиться другим штифтом 11. Головка фіксатора 5 кріпиться на направляючу за допомогою третього штифта 12. Після збирання фіксатора він вставляється у спеціальний отвір у корпусі, і з'єднується одним нижнім гвинтом 13, після чого проводиться його співпадиння із ділильним колом. Якщо воно співпадає одягається кришка 2, яка кріпиться гвинтами 10, і закінчується кріплення фіксатора. Після збирання проводиться перевірка на вільність обертання осі. Розбирання проводиться у зворотньому порядку.

Корпус свердла кріпиться за допомогою зажима 8, яка убезпечує його від провертання, після чого в неї закручуються гвинтами 16, для того щоб забезпечити потрібну силу затиску, та розташування (рис. 4.3). Під час її роботи, для того, щоб забезпечити поворот корпусу. Висувається конусний фіксатор, що дозволяє корпусу вільно обертатися, його повертають у потрібному напрямку, після повороту на потрібне значення фіксатор відпускається, і він співпадає із потрібним отвором у ділильному колі, що дозволяє надійно закріпити корпус, на потрібне значення повороту.

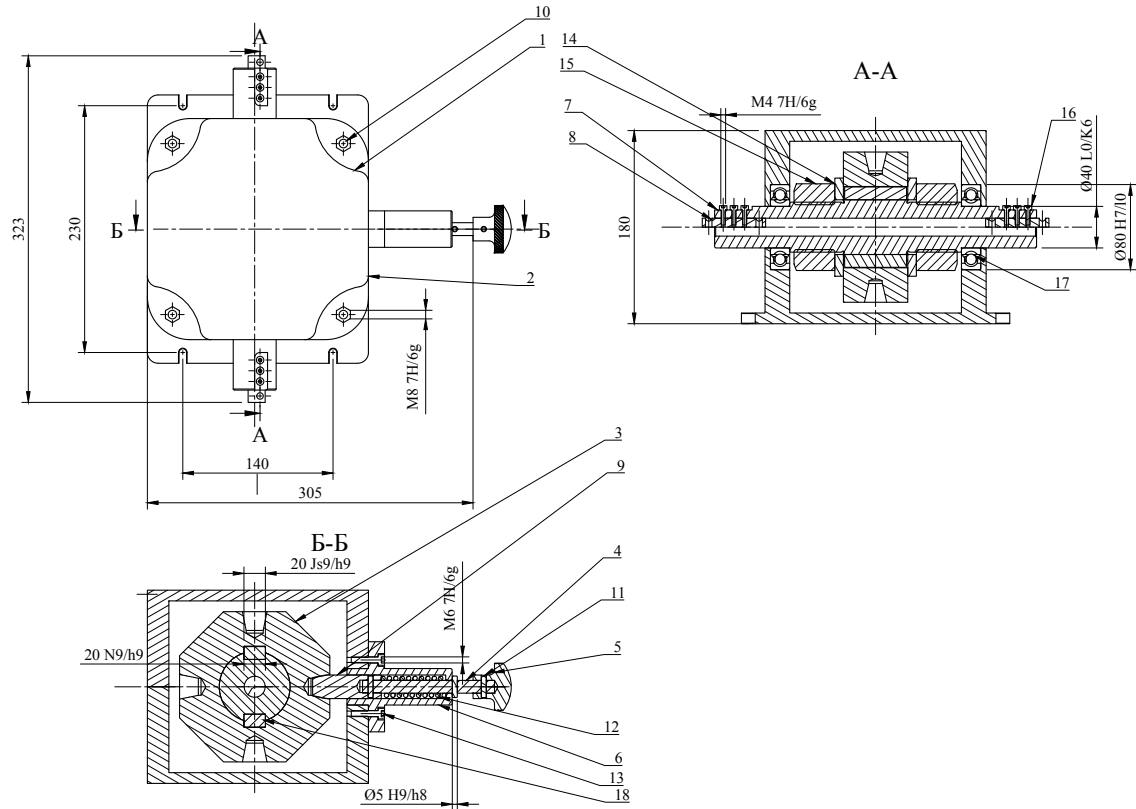


Рисунок 4.3—Вигляди пристосування

Збірний кресленик пристосування, та робочий кресленик деталі наведені у додатку В, а специфікації до пристосування у додатку Г.

4.3 Розрахунок сили затиску

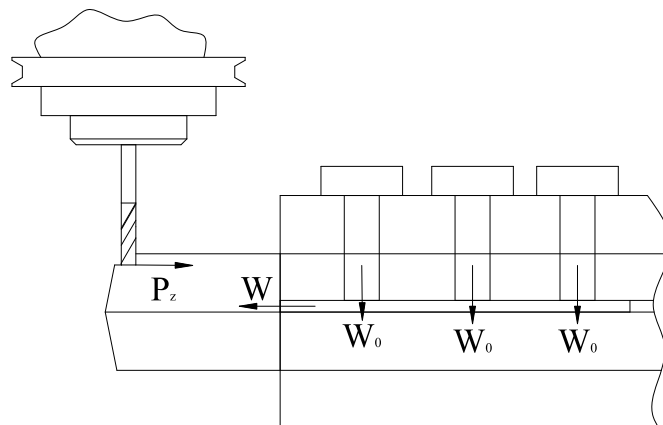


Рисунок 4.4—Схема затиску

Основною силою із якою потрібно боротися затискним гвинтам, це поздовжня сила фрезерування (рис. 4.4), вона була розрахована вище, тому це

значення, і будемо використовувати. Оскільки попередньої не було розраховано силу різання, розрахуємо її зараз, за наступною формулою:

$$P_z = \frac{10 * C_p * t^x * s_z^y * B^u * z}{D^q * n^v} * K_{mp} \quad (4.1)$$

Відповідно до табличних даних, ми отримуємо наступні значення: $C_p=12,5$, $x=0,85$, $y=0,75$, $u=1$, $q=0,73$, $v=-0,13$, $K_{mp}=1$ [29]. Виходячи із цих значень сила різання буде:

$$P_z = \frac{10 * 12,5 * 1,5^{0,85} * 0,05^{0,75} * 3^1 * 2}{3^{0,73} * 6800^{-0,13}} * 1 = 158,08 \text{ Н} \quad (4.2)$$

Тоді загальна сила затиску буде:

$$W = \frac{K}{f} * \sqrt{P_z^2} = \frac{3}{0,25} * \sqrt{158,08^2} = 1897,03 \text{ Н} \quad (4.3)$$

Тоді кожен гвинт має забезпечувати:

$$W_0 = \frac{W}{n} = \frac{1897,03}{6} = 316,17 \text{ Н} \quad (4.4)$$

4.4 Розрахунок похибки розташування

Оброблюванні пази мають мати висоту у 3 мм, з похибкою у не більше 0,05 мм. Відповідно до довідникового матеріалу, можлива похибка після чистового оброблення 0,03 мм [27]. Відповідно утворення пазу із даним допуском, є можливим. Також варто розрахувати, похибку установки заготовки у пристосуванні, це буде виконуватися за наступною формулою[33]:

$$\varepsilon_{\text{пу}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} \quad (4.5)$$

де ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – похибка пристосування.

Похибка базування в осьовому напрямку приймається рівною допуску на довжину заготовки $\varepsilon_6 = \delta = 0,2 \text{ мм} = 200 \text{ мкм}$. А похибка закріплення визначається за формулою [33]:

$$\varepsilon_3 = C * P^{0,5} \quad (4.6)$$

де C – постійна, яка залежить від зовнішнього діаметру гнізда;

P – осьова сила, Н.

Виходячи із попередньо розрахованих величин, та табличних даних, отримуємо, наступне значення:

$$\varepsilon_3 = 0,6 * 176,383^{0,5} = 26,132 \text{ мкм} = 0,026132 \text{ мм} \quad (4.7)$$

На похибку пристосування впливає декілька факторів, які беруться до уваги у наступній формулі:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{3 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_c^2} + \varepsilon_{\text{уст}} \quad (4.8)$$

де ε_c неточність установки пристосування у верстаті;

$\varepsilon_{\text{уст}}$ – неточність виготовлення та розташування установчих елементів.

$\varepsilon_u = \beta_1 * N^n$, результат зношення установчих елементів;

де β_1 коефіцієнт, форму, матеріал та термообробку, елементів пристосування;

N – кількість виготовляємих за рік продукції;

n – поправочний коефіцієнт, $0,3 \dots 0,6$.

Відповідно до табличних даних отримуємо наступні значення: $\varepsilon_c = 25 \text{ мкм}$, $\varepsilon_{\text{уст}} = 30 \text{ мкм}$, $\beta_1 = 0,1$ [33]. Відповідно до цього ми отримуємо наступний розрахунок:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{пр}} &= \sqrt{3 + (\beta_1 * N^n)^2 + \varepsilon_c^2} + \varepsilon_{\text{уст}} = \\ &= \sqrt{3 + (0,1 * 25^{0,3})^2 + 25^2} + 30 = 55,06 \text{ мкм} = 0,05506 \text{ мм} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Тоді відповідно до розрахованих значень отримуємо наступне значення похибки установки:

$$\varepsilon_{\text{пу}} = \sqrt{0,2^2 + 0,026132^2 + 0,05506^2} = 0,208 \text{ мм} \quad (4.10)$$

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломного проекту було спроектовано рушничне свердло із змінною твердосплавною різальною пластиною, та направляючими, які кріпляться механічно. Була проведена оптимізація режиму його роботи. Відповідно до прийнятих рішень була проведена оптимізація технологічного процесу, і розроблений технологічний маршрут, розраховані припуски, режими роботи інструменту та розроблена керуюча програма. Для нього було розроблено пристосування, яку має на меті спростити процес налаштування переходу, розраховані сили затиску та похибки встановлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Звонцов И. Ф., Серебrenицкий П. П., Схиртладзе А. Г. Технологии сверления глубоких отверстий: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2013. — 496 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).
2. Каталог Drill Masters Eldorado Tool Deep Hole Gndrills and Associated Products с.40
3. Каталог Botek Deep hole drilling tools Type 01,02,07 с.20
4. Каталог Tungaloy Deep hole drills for outstanding productivity in a wide range of applications с.36
5. Каталог ISCAR Deep Drilling BTA systems Gndrills с.126
6. Каталог Guhring Deep Hole Drills с.88
7. Каталог SANDVIK Coromat Deep Hole Drilling с.164
8. Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Обработка глубоких отверстий в машиностроении: справочник / под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2010. 344 с.: ил.
9. Insert Grades Specification // LOVEJOY : URL: <https://www.lovejoytool.com/gradespec.htm> (дата звернення 26.05.2022)
10. Каталог KORLOY Cutting tools с.110
11. ISO GRADE CLASSIFICATIONS-TUNGSTEN CARBIDE // Ultra-met carbide technologies : URL: <https://carbide.ultra-met.com/viewitems/iso-grades/iso-grade-classifications-tungsten-carbide> (дата звернення 26.05.2022)
12. Твердые сплавы // Метотехника : URL: <https://www.metotech.ru/tvsplavy-opisanie.htm> (дата звернення 26.05.2022)
13. Обработка глубоких отверстий малых диаметров: учебное пособие/ Ю.И. Кижняев и [др.]; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб., 2018. — 53 с.

14. Botek Single flute gundrills type:110, 111, 112, 113, 113-HP, 114, 115 с. 40
15. Каталог Ingersoll Technicsl guide milling and drilling с.90
16. Каталог OUTILTEC Single Flute Gundrill с.24
17. Каталог GUHRING Deep Hole Drills с.88
18. Каталог GUHRING Сверла для Глубокого сверления с.34
19. Каталог GUHRING Deep Hole Solutions с.28
20. E-catalog TRO-FINE FINE BEAM UNIDEX Guide pad // Tungaloy : URL:
<http://www.imc-companies.com/Tungaloy/TungaloyCatalog/MoreInfo.aspx?mapp=DR&fnum=1612&app=0&item=4846276&isoD=0> (дата звернення 26.05.2022)
21. E-catalog TRO-FINE FINE BEAM UNIDEX Guide pad // Tungaloy : URL:
<https://www.imc-companies.com/Unitac/UnitacCatalog/Family.aspx?fnum=1612&mapp=DR&app=653&GFSTYP=M> (дата звернення 26.05.2022)
22. Botek Single flute gundrills type:01, 02, 07 с. 20
23. Каталог GUHRING Deep Hole Drilling Tools с.252
24. Cong Liao, Haiyan Henry Zhang, Yueen Li, Selection of deep hole drilling parametrs under cycle time requirement based on tool wear analysis and life estimation, Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, vol. 5 Issue 10, October-2018
25. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова.— 4-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.
26. Оптимізація маршруту технологічного процесу інструменту: Метод. вказівки до викон. курсової роботи з дисципліни “Математичне моделювання процесів різання” для студ. напряму підготовки 7(8).050503 – Машинобудування [Текст] / Уклад.: Равська Н.С., Ковальова Л.І., Охріменко О.А. .— К.: ММІ НТУУ «КПІ», 2012.- 28 с.
27. Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну [Електронний ресурс] : Навчальний посібник для

- студентів технічних спеціальностей / В. І. Солодкий, Ю. І. Адаменко, В. В. Вовк, Н. В. Мініцька : КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 225 с.
- 28.Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин» для студентів напряму 6.050502 “Інженерна механіка” / укладач: Г.І. Танцура – Кам’янське, ДДТУ, 2016 р. - 60 с.
- 29.Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
- 30.Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. С74 Т. 2/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и. доп. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.
- 31.Котельников В. К. Приспособления для изготовления металлорежущего инструмента. М., «Машиностроение», 1977 г.
- 32.Технологическая оснастка: Учебник для учреждений сред. проф. образования/ Борис Ильич Черпаков.— М.: Издательский центр «Академия», 2003.— 288 с.
- 33.Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов: Учеб. Пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»/Под общ. ред. Г. Н. Кирсанов — М.: Машиностроение, 1986. — 288 с.: ил.

ДОДАТКИ

Додаток А

Оптимізація режимів різання для глибокого свердління

$$\underline{F}(\underline{x1}, \underline{x2}) := \underline{x1} + \underline{x2}$$

Визначення функції цілі

Вихідні дані

$$\begin{array}{lllll} k1 := 1.25 & r0 := 0.03 & HB := 200 & h3 := 0.2 & h3z := 0.4 \\ lmm := 0.4 & t := 5 & ku := 1.1 & md := 20 & LPX := 400 \\ L0 := 0.25 & d0 := 20 & dyz := 0.2 & TSTZ := 25 & Af := 0.04 & Tb := 5 \\ nmin := 125 & nmax := 2500 & s0min := 0.0125 & s0max := 0.125 & & \end{array}$$

$$\underline{x1} := 0 \quad \underline{x2} := 0 \quad \text{Початкові наближення}$$

Given

$$\underline{x1} \geq \ln(nmin) \quad \underline{x1} \leq \ln(nmax)$$

$$\underline{x2} \geq \ln(100 \cdot s0min) \quad \underline{x2} \leq \ln(100 \cdot s0max) \quad \text{Обмеження задачі}$$

$$\underline{x1} + \underline{x2} \leq \ln \left(\frac{100 \cdot LPX}{\frac{TSTZ}{k1} - Tb} \right) \quad \underline{x1} - 1.455 \cdot \underline{x2} \leq \ln \left[\frac{9.55 \cdot 10^{11} \cdot h3z^{1.538}}{(d0)^{2.58} \cdot (L0 \cdot 10^3 \cdot md)^{1.538}} \right]$$

$$\underline{x1} - 0.357 \cdot \underline{x2} \leq \ln \left(\frac{10^7 \cdot L0^{2.07} \cdot r0^{2.07} \cdot HB^{1.07} \cdot h3^{3.1} \cdot lmm^{3.57}}{t^{0.286} \cdot d0^{0.05} \cdot dyz^{2.38}} \right) \quad 0.75 \cdot \underline{x1} + 0.35 \cdot \underline{x2} \leq \ln \left(\frac{6 \cdot 10^4 \cdot Af}{d0^{0.75} \cdot ku} \right)$$

$$\begin{pmatrix} \underline{x1} \\ \underline{x2} \end{pmatrix} := \text{Maximize}(F, \underline{x1}, \underline{x2})$$

$$\begin{pmatrix} x1 \\ x2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6.7 \\ 1.188 \end{pmatrix}$$

$$x1 = 6.7$$

$$x2 = 1.188$$

Розв'язок
задачі

$$F(x1, x2) = 7.8886$$

Максимум функції цілі

$$n := \left(e^{x1} \right)$$

$$n = 812.629$$

$$\frac{\pi \cdot d0 \cdot n}{1000} = 51.059$$

Режими різання

$$s := \frac{e^{x2}}{100}$$

$$s = 0.033$$

$$tt := 0..10$$

$$b1 := \ln \left(\frac{100 \cdot LPX}{\frac{TSTZ}{kl} - Tb} \right) = 7.889$$

$$b2 := \ln \left[\frac{9.55 \cdot 10^{11} \cdot h3z^{1.538}}{(d0)^{2.58} \cdot (L0 \cdot 10^3 \cdot md)^{1.538}} \right] \quad b2 = 5.347$$

$$b3 := \ln \left(\frac{10^7 \cdot L0^{2.07} \cdot r0^{2.07} \cdot HB^{1.07} \cdot h3^{3.1} \cdot lmm^{3.57}}{t^{0.286} \cdot d0^{0.05} \cdot dyz^{2.38}} \right) \quad b3 = 6.619$$

$$b4 := \ln \left(\frac{6 \cdot 10^4 \cdot Af}{d0^{0.75} \cdot ku} \right) \quad b4 = 5.441$$

$$x5(tt) := -tt + b1$$

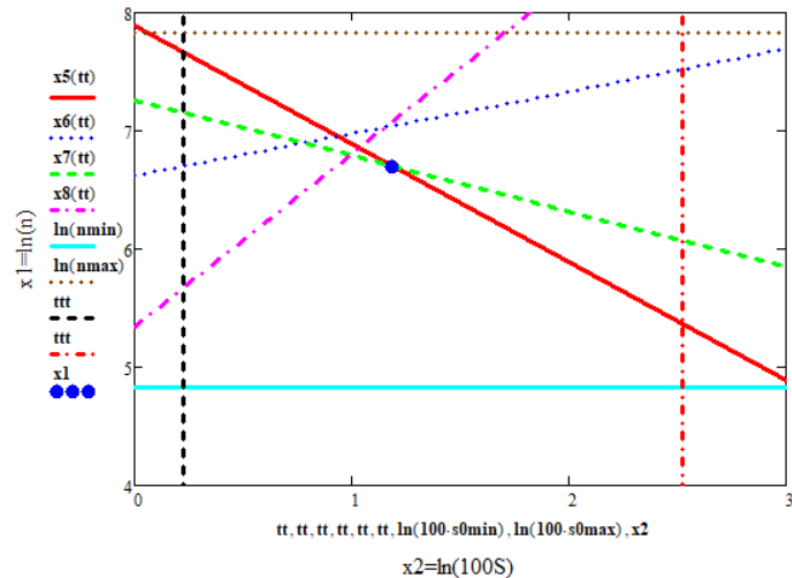
$$x6(tt) := 0.357 \cdot tt + b3$$

$$x7(tt) := \frac{-(0.35 \cdot tt) + b4}{0.75}$$

$$x8(tt) := 1.455 \cdot tt + b2$$

$$ttt := 0..10$$

Графічне вирішення задачі



$$Q := 0.8 \cdot d0^{1.8} \cdot s^{0.44}$$

$$Q = 39.086$$

Витрата ЗОР, л/хв

$$P := 0.53 \cdot s^{0.68} \cdot \left(\frac{L0 \cdot 10^3}{d0} \right)^{1.1} \cdot d0^{-0.5}$$

$$P = 0.187$$

Тиск, МПа

Додаток Б

Код керуючої програми

%	N95 G0 Z15.	N190 G53 X0.
O10152	N100 M9	N195 G53 Z0.
N10 G98 G18	N105 G53 X0.	N200 M5
N15 G21	N110 G53 Z0.	(Утворення уступу)
N20 G50 S4000	(Нарізання різьби)	N205 M1
N25 G53 G0 X0.	N115 M1	N210 T707
N30 G53 Z0.	N120 T1111	N215 G99
(Свердління центрального отвору)	N125 G99	N220 G97
N35 T404	N130 G97	N225 S514 M3
N40 G99	N135 S500	N230 G54
N45 G97	N140 G54	N235 M8
N50 S647 M3	N145 M8	N240 G18
N55 G54	N150 G18	N245 G0 Z15.
N60 M8	N155 G0 Z15.	N250 X0.
N65 G18	N160 X0.	N255 Z5.
N70 G0 Z15.	N165 Z5.	N260 G81 X0. Z-10. R- 0.2 F0.255
N75 X0.	N170 G84 X0. Z-34. R- 5. F2.	N265 G80
N80 Z5.	N175 G80	N270 G0 Z15.
N85 G81 X0. Z-38.213 R-29. F0.202	N180 G0 Z15.	N275 M9
N90 G80	N185 M9	N280 G53 X0.

N285 G53 Z0.	N390 G97	N500 G18
(60 утворення фаски)	N395 S397 M3	N505 G0 Z10.
N290 M1	N400 G54	N510 X165.
N295 T808	N405 M8	N515 G50 S4000
N300 G99	N410 G18	N520 G96
N305 G97	N415 G0 Z15.	N525 S91 M3
N310 S437 M3	N420 X0.	N530 Z-0.586
N315 G54	N425 Z5.	N535 X45.
N320 M8	N430 G81 X0. Z-8.434 R3. F0.33	N540 G1 X38.828 F0.127
N325 G18	N435 G80	N545 X36. Z-2.
N330 G0 Z15.	N440 G0 Z15.	N550 X-1.6
N335 X0.	N445 M9	N555 X1.228 Z-0.586
N340 Z5.	N450 G53 X0.	N560 G0 X165.
N345 G81 X0. Z- 19.922 R2.095 F0.3	N455 G53 Z0.	N565 Z10.
N350 G80	N460 M5	N570 G97
N355 G0 Z15.	(Торцювання)	N575 S176 M3
N360 M9	N465 M1	(Чорнове точіння)
N365 G53 X0.	N470 T101	N580 G99
N370 G53 Z0.	N475 G99	N585 G18
(120 утворення фаски)	N480 G97	N590 G0 Z10.
N375 M1	N485 S176 M3	N595 X55.
N380 T909	N490 G54	N600 G50 S4000
N385 G99	N495 M8	N605 G96

N610 S91 M3	N725 Z-57.9	N835 G18
N615 Z-1.4	N730 X27.8	N840 G0 Z10.
N620 X32.6	N735 X29.8 Z-56.9	N845 X55.
N625 G1 Z-58.427 F0.127	N740 G0 Z-1.4	N850 G50 S4000
N630 X33.6 Z-58.927	N745 X25.214	N855 G96
N635 Z-68.9	N750 G1 Z-2.234 F0.127	N860 S91 M3
N640 X35.	N755 X26.507 Z-2.881	N865 Z-0.059
N645 X37. Z-67.9	N760 X28.507 Z-1.881	N870 X31.831
N650 G0 Z-1.4	N765 G0 X55.	N875 G1 X24.866 F0.127
N655 X30.2	N770 Z10.	N880 Z-2.059
N660 G1 Z-57.9 F0.127	N775 G97	N885 X25.9 Z-2.576
N665 X31.546	N780 S529 M3	N890 Z-57.4
N670 X32.6 Z-58.427	N785 M9	N895 G2 X26.9 Z-57.9 I0.5 K0.
N675 X34.6 Z-57.427	N790 G53 X0.	N900 G1 X31.549
N680 G0 Z-1.4	N795 G53 Z0.	N905 X32.9 Z-58.576
N685 X27.8	(Чистове точіння)	N910 Z-68.9
N690 G1 Z-57.9 F0.127	N800 M1	N915 X35.
N695 X30.2	N805 T202	N920 X37.828 Z- 67.486
N700 X32.2 Z-56.9	N810 G99	N925 X42.968
N705 G0 Z-1.4	N815 G97	N930 G0 X55.
N710 X26.507	N820 S529 M3	N935 Z10.
N715 G1 Z-2.881 F0.127	N825 G54	N940 G97
N720 X26.6 Z-2.927	N830 M8	

N945 S529 M3	N10 G90 G94 G17	/ N70 G1 Y19.782
	N15 G21	/ N75 Y-19.782
N950 M9	/ N20 G53 G0 Z0.	/ N80 G17 G2 X19.125 I-10.531 J0.
N955 G53 X0.	(Фрезерування лиски)	/ N85 G1 Y19.782
N960 G53 Z0.	/ N25 T10 M6	/ N90 G19 G3 Y22.282 Z13. J0. K2.5
N965 M5	/ N30 S1940 M3	/ N95 G0 Z32.5
	/ N35 G54	
N970 M30	/ N40 M8	
%	/ N45 G1 X38.188 Y23.032 F650.	N100 M5
%	/ N50 G0 G43 Z32.5	N105 M9
O01001	H10	N110 G53 G0 Z0.
(Using high feed G1 F650. instead of G0.)	/ N55 G0 Z22.5	N115 G53 G0 X0. Y0.
(T10 D=25. CR=0. - ZMIN=10.5 - flat end mill)	/ N60 G1 Z13. F182.71	N120 M30
	/ N65 G19 G2 Y20.532 Z10.5 J-2.5 K0. F548.14	%

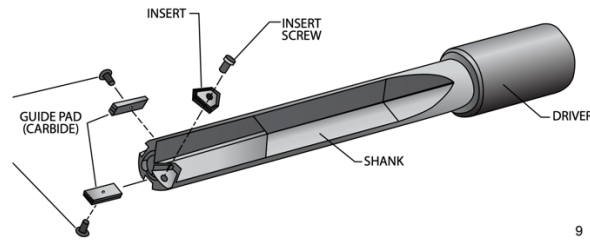
Додаток В

Конструкторська документація

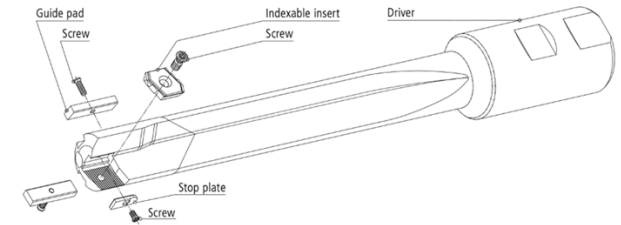
Аналіз конструкцій рушничних свердл

1) Вид стебла

1. Монолітне
2. Паяне

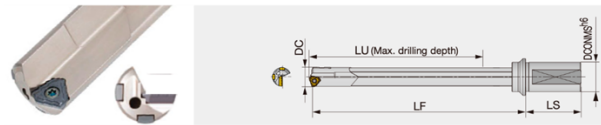


DMET (DME, США)

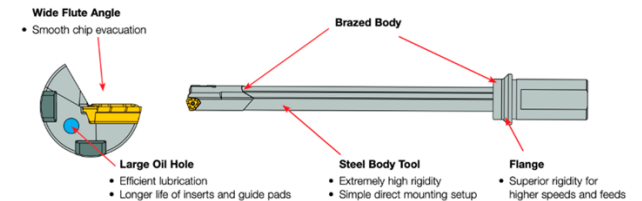


Type 01 (Botek, Німеччина)

- 1) Паяне;
- 2) двохстороння;
- 3) на гвинт, рифлення та упор;
- 4) однорядні;
- 5) осьове.



MCTR (Tungaloy, Японія)



GD-DH (ISCAR, Ізраїль)

- 1) Паяне;
- 2) трьохстороння;
- 3) на гвинт;
- 4) одно- або двохрядні;
- 5) осьове.

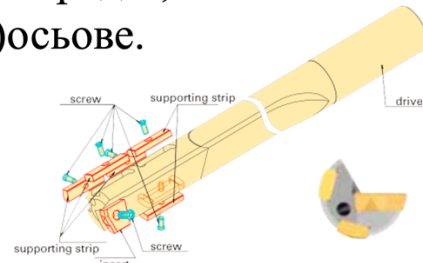


CoroDrill 805
(Sandvik Coromat, Швеція)

3) Спосіб кріплення пластини

1. На гвинт
2. На гвинт, рифлення та упор

- 1) Монолітне;
- 2) трьохстороння;
- 3) на гвинт;
- 4) одно- або двохрядні;
- 5) осьове.



EB800 (Gühring, Німеччина)

4) Кількість напрямних

1. Однорядні
2. Двохрядні
3. Багаторядні

5) Розташування напрямних

1. Осьове розташування
2. Розташування під кутом

- 1) Монолітне;
- 2) одностороння;
- 3) на гвинт;
- 4) багаторядні;
- 5) під кутом.

- 1) Монолітне;
- 2) двостороння;
- 3) на гвинт;
- 4) багаторядні;
- 5) під кутом.

Етапи побудови 3D моделі свердла у середовищі Fusion 360

1. Задання таблиці параметрів

2. Створення тіла обертання корпусу

3. Утворення командою «отвір» центрального та отвору для ЗОР

4. Видавлювання канавки

5. Утворення лиски

6. Створення пластини та направляючої

7. Задання куту в плані

8. Утворення пазу

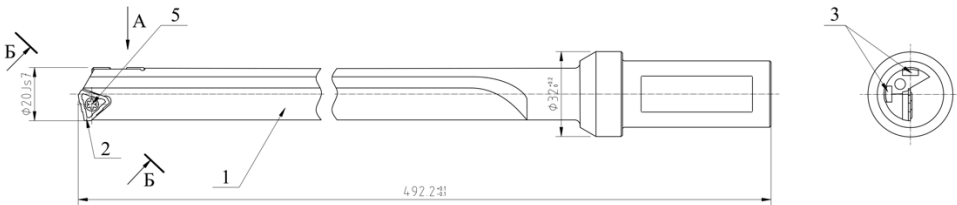
9. Спрощення пазу під пластину

10. Утворення пазу під направляючу

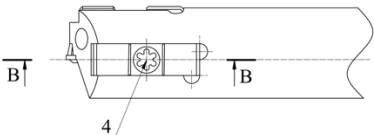
11. Утворення отвору під гвинт для пластини

12. Збірка свердла

ДПБ МІ81.02.000 СК

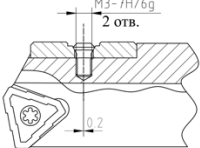
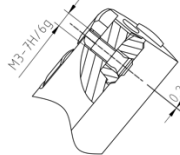


A (2:1)



Б-Б (2:1)

В-В (2:1)



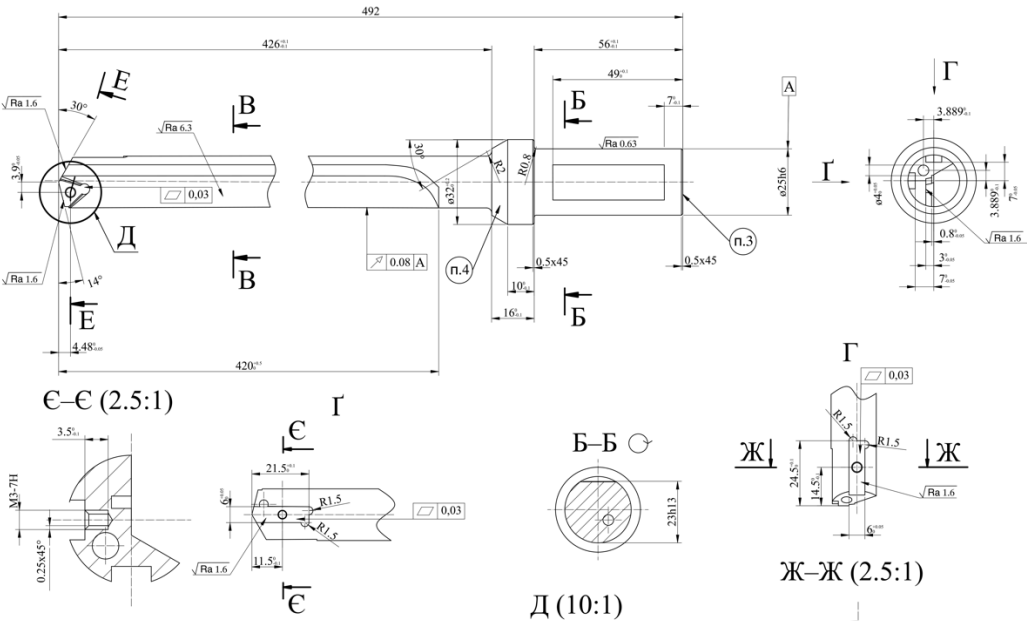
1. Радіальне биття різальної кромки до 0,08 мм
2. Торцеве биття різальної кромки до 0,08 мм
3. Зазор між опорними поверхнями не допускається
4. Різальна пластинка ТОНТ090305R-NDL
5. Направляюча GP06-85
6. Момент натяжки гвинтів 4 Н*м
7. ЗОР– МР–3, тиск 0,19 МПа, витрата 39 л/хв
8. Поворот та заміна пластини та направляючої дозволяється без знімання свердла із верстату

ДПБ МІ81.02.000 СК

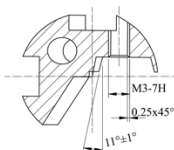
Свердло рушничне із змінною пластинкою				Лист	Маса	Рисунки
із змінною пластинкою				Лист	Маса	Рисунки
КПІ ім. Ігоря Сікорського				Лист	Маса	Рисунки

ДПБ МІ81.02.001

√Rz 25 (√)



E-E (2.5:1)



- 1.HRC 38...45
- 2.ДСТУ ISO 2768—mK
- 3.Центровий отвір M16 тип. Р по ДСТУ ГОСТ 14034-2008
- 4.Маркувати: D20 L250 ТОНТ09

ДПБ МІ81.02.001

Корпус рушничного свердла				Лист	Маса	Масштаб
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71				Лист	Маса	Масштаб

Оптимізація режимів різання рушничного свердла

ВИХІДНІ ДАНІ		
1	Діаметр отвору	do = 20 мм
2	Глибина свердління	Lo = 250 мм
3	Твердість матеріалу заготовки	HB = 200 МПа
4	Похибка заправки свердла	po = 0.2 мм

5	Ширина фаски зношування	h = 0.4 мм
6	Відстань до торця заготовки	Lmm = 0,4 м
7	Довжина робочого ходу	Lpx = 300 мм
8	Діапазон подач	0.0125-0.125 мм/об
9	Діапазон частот обертання	125-2500 об/хв

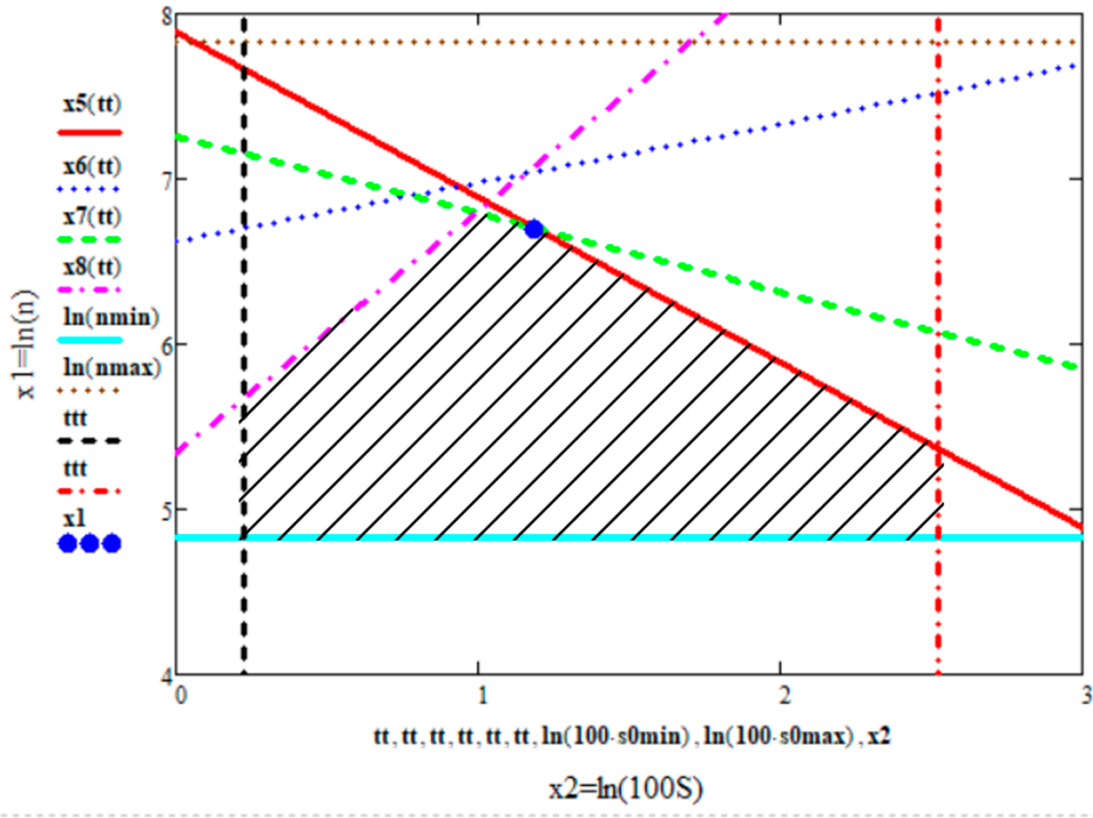
Графічне вирішення задачі

Постановка задачі

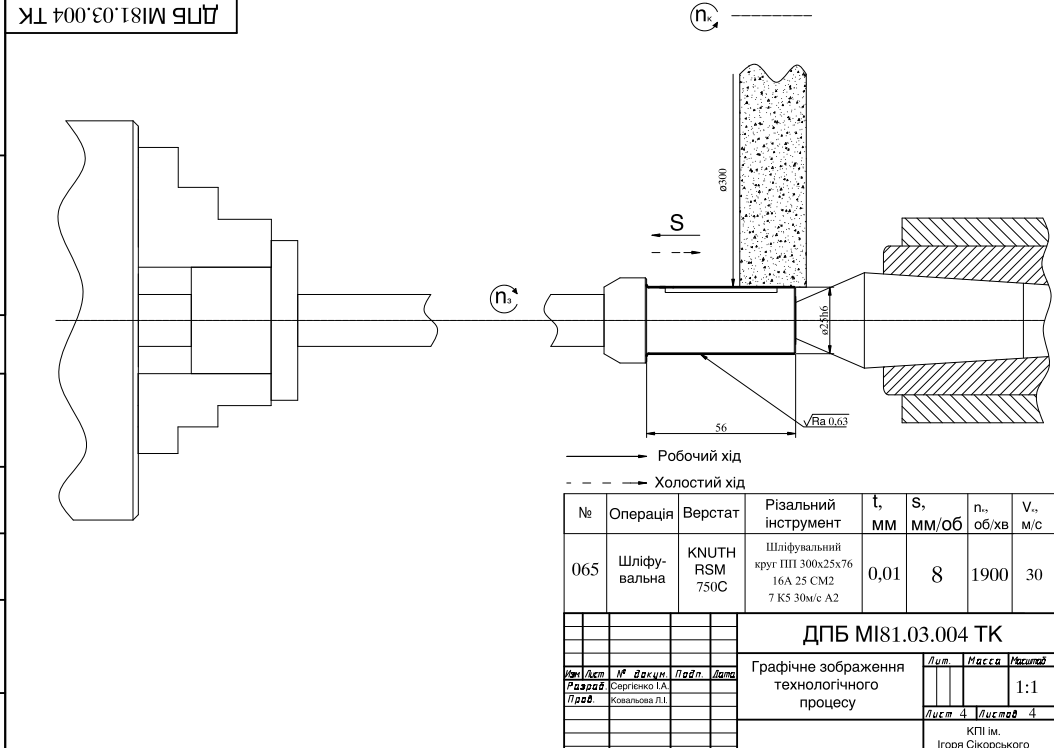
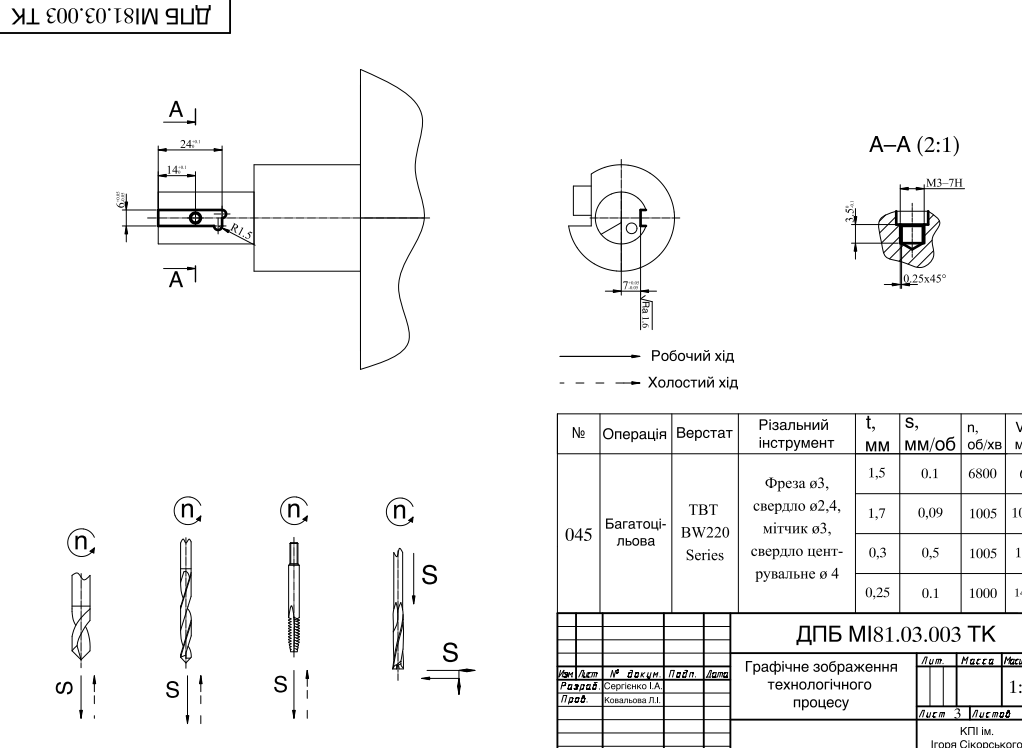
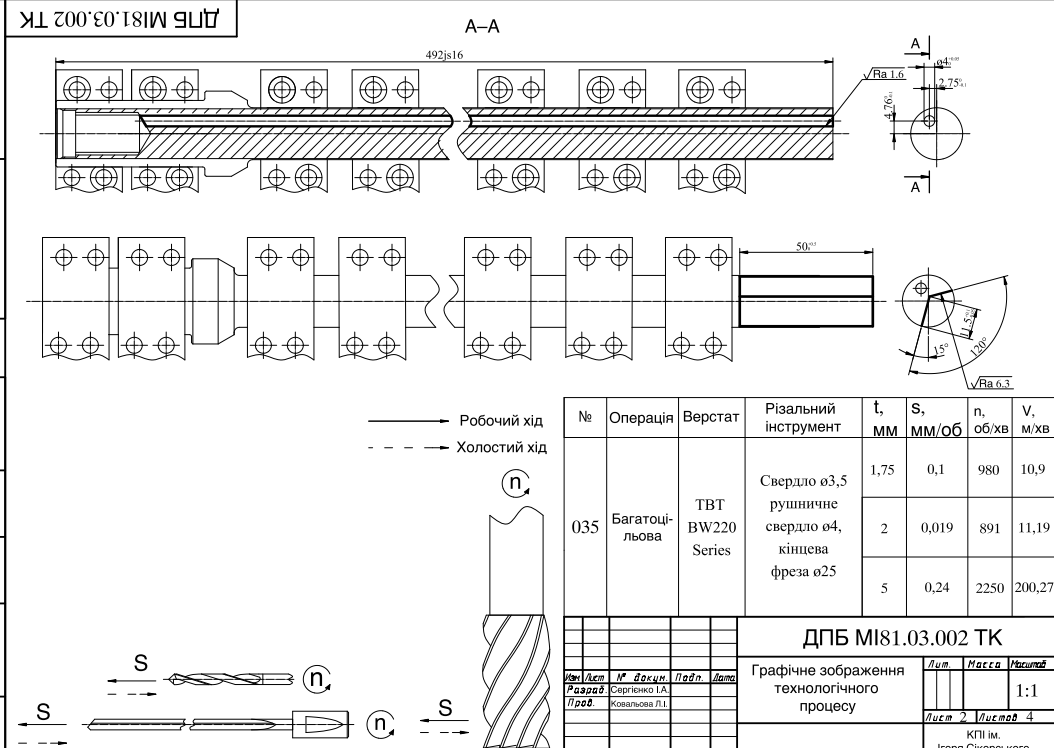
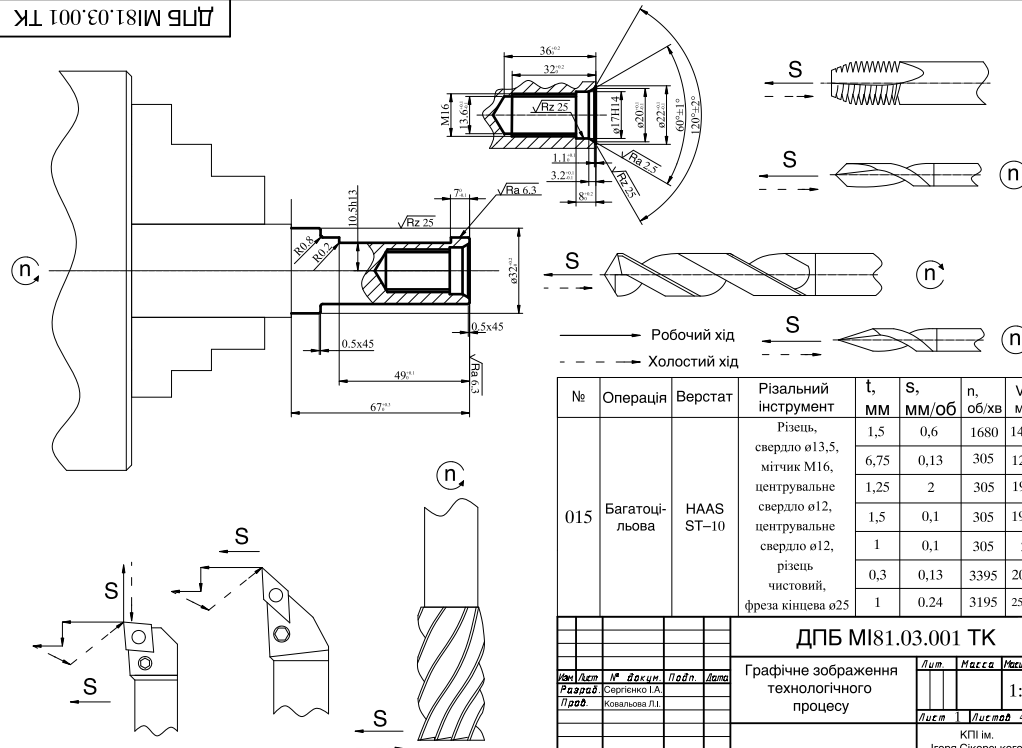
Критерії оптимальності - мінімізація
основного машинного часу

Цільова функція: $F(n, S_0)=n \cdot S_0 \rightarrow \max$

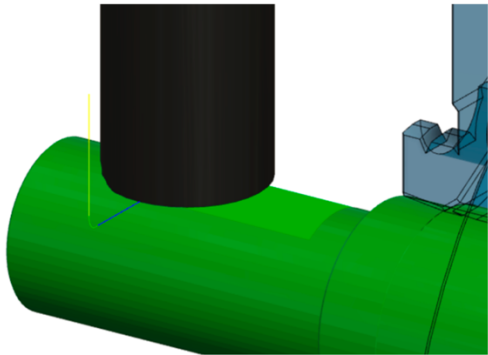
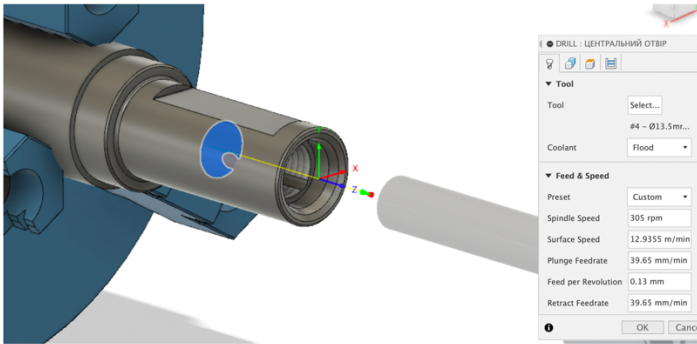
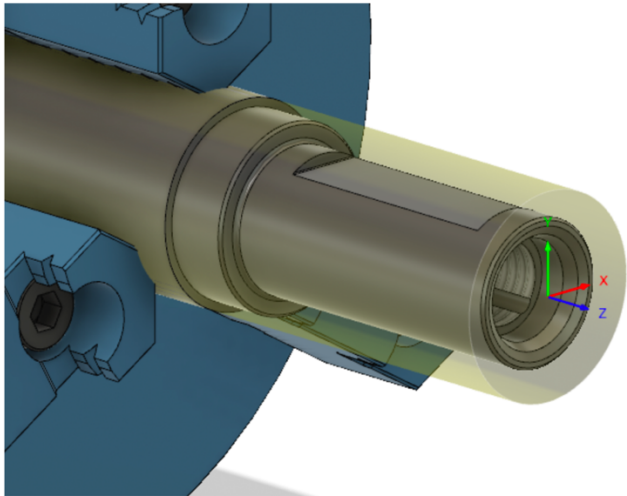
№	Обмеження	Види нерівностей-обмежень
1	$n \geq n_{\text{ст min}}$	$x_1 \geq c_1, c_1 = \ln n_{\text{ст min}}$
2	$n \leq n_{\text{ст max}}$	$x_1 \leq c_2, c_2 = \ln n_{\text{ст max}}$
3	$S_0 \geq S_{0\text{min}}$	$x_2 \geq c_3, c_3 = \ln(100 S_{0\text{min}})$
4	$S_0 \leq S_{0\text{max}}$	$x_2 \leq c_4, c_4 = \ln(100 S_{0\text{max}})$
5	$T_{\text{шт}} \leq T_{\text{шт}}^*$	$x_1 + x_2 \leq c_5, c_5 = \ln \frac{100 \cdot L_{\text{px}}}{T_{\text{шт}}^* / k_1 - T_B}$
6	$\Delta_y \leq \Delta_y^*$	$c_6 = \ln \frac{10^7 \cdot l_0^{2,07} \cdot \rho_0^{2,07} \cdot HB^{1,07} \cdot h_3^{3,1} \cdot l_M^{3,57}}{t^{0,286} \cdot d_0^{0,05} \cdot \Delta_y^{2,38}}$
7	$A_\varphi \leq A_\varphi^*$	$0,75x_1 + 0,35x_2 \leq c_7,$ $c_7 = \ln \frac{6 \cdot 10^4 \cdot A_\varphi^*}{d_0^{0,75} \cdot k_N}$
8	$h_3 \leq h_3^*$	$x_1 - 1,455x_2 \leq c_8,$ $c_8 = \ln \frac{9,55 \cdot 10^{11} \cdot h_3^{*1,538}}{d_0^{2,58} \cdot (10^3 \cdot l_0 \cdot m_d)^{1,538}}$



Результати розрахунку		
n, об/хв	s0, мм/об	V, м/хв
812,629	0,033	51,059



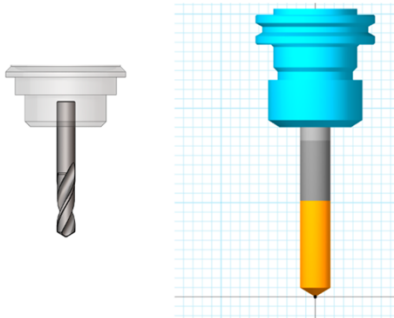
Розроблення керуючої програми для оброблення деталі на верстаті із ЧПКза допомогою САМ середовища Fusion 360



Налаштування режиму різання

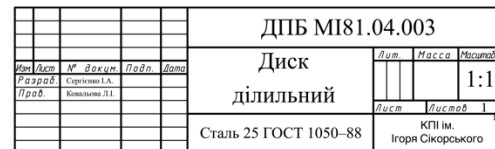
Симуляція та перевірка

Задання заготовки та закріплення

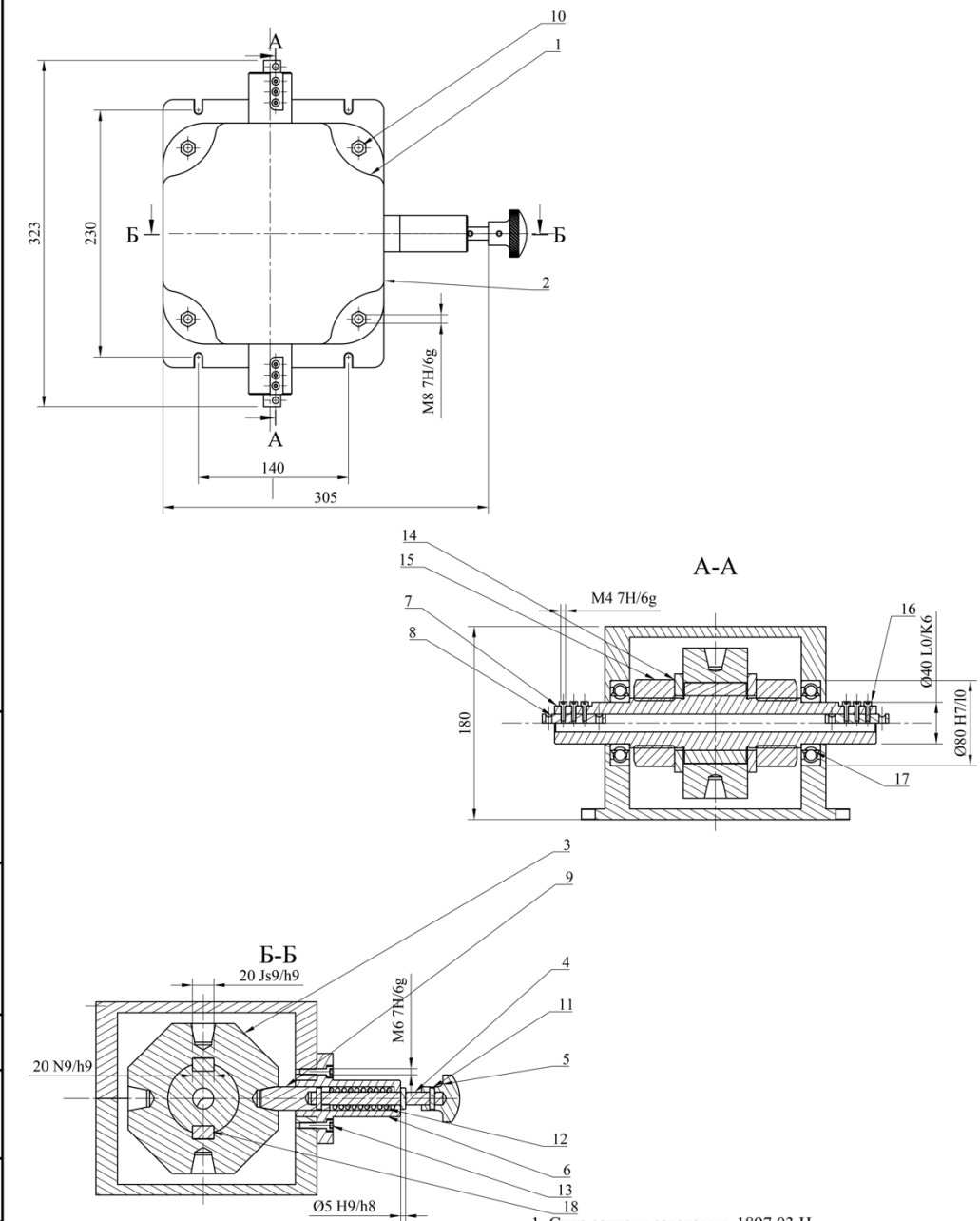


Задання параметрів різального інструменту

%	N95 G0 Z15.	N185 M9	N275 M9	N360 M9	N445 M9	N540 G1 X38.828 F0.127	N625 G1 Z- 58.427 F0.127	N705 G0 Z- 1.4
O10152	N100 M9	N190 G53 X0.	N280 G53 X0.	N365 G53 X0.	N450 G53 X0.	N545 X36. Z- 2.	N630 X33.6 Z-58.927	N710 X26.507
N10 G98 G18	N105 G53 X0.	N195 G53 Z0.	N285 G53 Z0.	N370 G53 Z0.	N455 G53 Z0.	N550 X-1.6	N635 Z-68.9	N715 G1 Z- 2.881 F0.127
N15 G21	N110 G53 Z0.	N200 M5 (60 утворення уступу)	N290 M1	N375 M1	N460 M5 (Торцювання)	N555 X1.228 Z-0.586	N640 X35.	N720 X26.6 Z-2.927
N20 G50 S4000	N115 M1	N205 M1	N295 T808	N380 T909	N465 M1	N560 G0 X165.	N645 X37. Z- 67.9	N725 Z-57.9
N25 G53 G0 X0.	N120 T1111	N210 T707	N300 G99	N385 G99	N470 T101	N565 Z10.	N650 G0 Z- 1.4	N730 X27.8
N30 G53 Z0.	N125 G99	N215 G99	N305 G97	N390 G97	N475 G99	N570 G97	N655 X30.2	N735 X29.8 Z-56.9
(Свердління центрального отвору)	N130 G97	N220 G97	N310 S437 M3	N395 S397 M3	N480 G97	N575 S176 M3	N660 G1 Z- 57.9 F0.127	N740 G0 Z- 1.4
N35 T404	N135 S500	N225 S514 M3	N315 G54	N400 G54	N485 S176 M3	(Чорнове точіння)	N665 X31.546	N745 X25.214
N40 G99	N140 G54	N230 G54	N320 M8	N405 M8	N490 G54	N580 G99	N670 X32.6 Z-58.427	N750 G1 Z- 2.234 F0.127
N45 G97	N145 M8	N235 M8	N325 G18	N410 G18	N495 M8	N585 G18	N675 X34.6 Z-57.427	N755 X26.507 Z- 2.881
N50 S647 M3	N150 G18	N240 G18	N330 G0 Z15.	N415 G0 Z15.	N500 G18	N590 G0 Z10.	N680 G0 Z- 1.4	N760 X28.507 Z- 1.881
N55 G54	N155 G0 Z15.	N245 G0 Z15.	N335 X0.	N420 X0.	N505 G0 Z10.	N595 X55.	N685 X27.8	N765 G0 X55.
N60 M8	N160 X0.	N250 X0.	N340 Z5.	N425 Z5.	N510 X165.	N600 G50 S4000	N690 G1 Z- 57.9 F0.127	N770 Z10.
N65 G18	N165 Z5.	N255 Z5.	N345 G81 X0. Z-19.922 R2.095 F0.3	N430 G81 X0. Z-8.434 R3. F0.33	N515 G50 S4000	N605 G96	N695 X30.2	N775 G97
N70 G0 Z15.	N170 G84 X0. Z-34. R- 5. F2.	N260 G81 X0. Z-10. R- 0.2 F0.255	N350 G80	N435 G80	N520 G96	N610 S91 M3	N700 X32.2 Z-56.9	N780 S529 M3
N75 X0.	N175 G80	N265 G80	N355 G0 Z15.	N440 G0 Z15.	N525 S91 M3	N615 Z-1.4		
N80 Z5.	N180 G0 Z15.	N270 G0 Z15.			N530 Z-0.586	N620 X32.6		
N85 G81 X0. Z-38.213 R- 29. F0.202					N535 X45.			
N90 G80								



ДІП МІ 81.04.000 СК



1. Сила затиску заготовки—1897,03 Н
2. Похибка закріплення заготовки в пристосуванні 0,208 мм
3. Вимоги безпеки пристосування за ГОСТ 12.2.029—88

						ДПБ МІ81.04.000 СК			
Вис.	Шир.	Жо. довжини	Повис.	Довж.	Пристосування поворотне	Лист	Масш.	Масштаб	
Розроб.	Сторінки 1.А.							1:2	
Прим.	Використання 1.1.					Лист	Листов	Ч	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського			

Додаток Г

Технологічна документація

[illegible]

Дубл.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

[illegible]

[illegible]

[illegible]

										ГОСТ 3.1406 – 86			Форма 3	
Дубл.														
Взам.														
Подп.														
Свердло рушничне					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
													1	4
Разрб.	Сергієнко				«КПІ» ім. Ігоря Сікорського		ДПБ ММІ.МІ81.03.001							
Пров.	Ковальова													
Утв.														
Н. контр.													015	

Technical drawing of a drill bit (left view) showing dimensions: 10.5h13, R0.8, R0.2, 7_{-0.1}⁰, $\sqrt{Ra 6.3}$, $\sqrt{Rz 25}$, $\phi 32_{+0.2}^{-0.0}$, 0.5x45, 49_{+0.1}⁰, 67_{+0.3}⁰, $\sqrt{Ra 6.3}$.

Technical drawing of a drill bit (right view) showing dimensions: 36_{+0.2}⁰, 32_{+0.2}⁰, M16, 13.6_{+0.1}^{-0.0}, $\sqrt{Rz 25}$, $\phi 17H14$, $\phi 20_{+0.1}^{-0.0}$, $\phi 22_{+0.1}^{-0.0}$, 60° ± 1°, 120° ± 2°, $\sqrt{Ra 2.5}$, $\sqrt{Rz 25}$, 1.1_{+0.1}⁰, 3.2_{+0.1}^{-0.1}, 8_{+0.2}⁰.

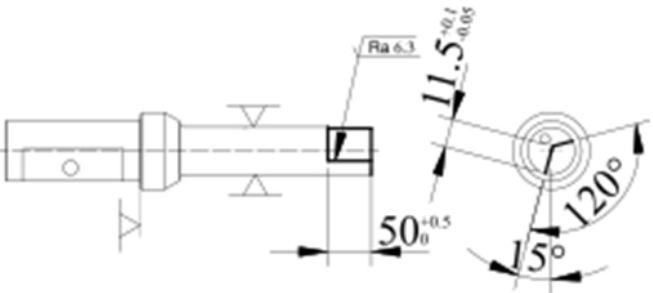
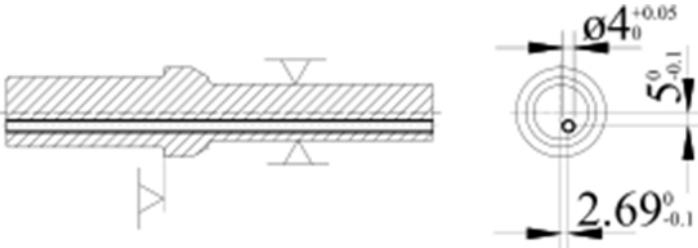
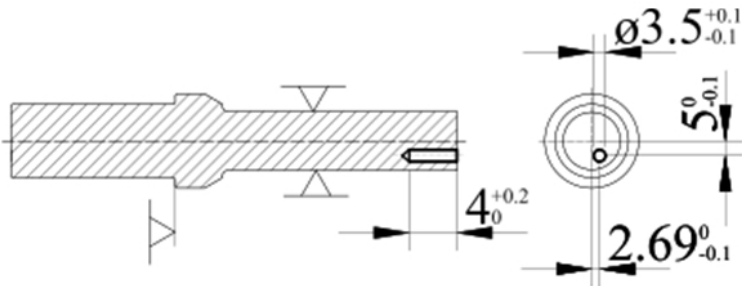
Подл.															
										1		1			
Розроб.	Сергієнко			«КП» ім. Ігоря Сікорського		ДПБ ММІ.МІ81.03.001									
Перевір.	Ковальова														
Затв.				Свердло рушничне								ДП			035
Н.контр.															
Найменування операції				Матеріал		Твердість		ЕВ	МД	Профіль й розміри			МЗ	КОВД	
Багатоцільова				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71		НВ 167...207		кг	3	Круг 35×510			3	1	
Устаткування, пристрій ЧПК				Позначення програми		То	Тд	Тпз		Тшт		СОЖ			
ТВТ BW220–Series				-		0,4	1	1,4		15		-			
Р					ПІ	D або B		L		i	So		n	v	
О 01	1. Встановити, закріпити та зняти заготовку після обробки														
02															
О 03	2. Свердління початкового отвору														
Т 04	Свердло ø3,5 мм Mitsubishi Materials MVS0350X03S160														
Р 05	— 3,5 4 1 0.1 980 10,9														
О 06	3. Свердління глибокого отвору														
Т 07	рушничне свердло ø4 мм DMET part №112787SK														
Р 08	— 4 492 1 0.019 891 11,19														
О 09	4. Фрезерування підтримки на стеблі														
Т 10	фреза кінцева ø25 мм Mitsubishi Materials MSMHZDD2500														
Р 11	— 12 50 5 0,24 2250 200,2														
О 12															
Т 13															
Р 14															
ОК	Обробка різанням														

Дубл.			
Взам.			
Подп.			

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
								2	4

Свердло рушничне

Разрб.	Сергієнко			«КПІ» ім. Ігоря Сікорського	ДПБ ММІ.МІ81.03.001						
Пров.	Ковальова										
Утв.											
Н. контр.											035



Подл.																		
											1			1				
Розроб.	Сергієнко			«КПІ» ім. Ігоря Сікорського			ДПБ ММІ.МІ81.03.001											
Перевір.	Ковальова																	
Затв.				Свердло рушничне											ДП			045
Н.контр.																		
Найменування операції				Матеріал			Твердість		ЕВ	МД	Профіль й розміри			МЗ		КОВД		
Багатоцільова				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71			НВ 167...207		кг	3	Круг 35×510			3		1		
Устаткування, пристрій ЧПК				Позначення програми			То	Тд		Тпз		Тшт		СОЖ				
ТВТ BW220–Series				-			0,2	1		3		7		-				
Р						ПІ	D або B		L		i		So		n		v	
О 01	1. Встановити, закріпити та зняти заготовку після обробки																	
02																		
О 03	2. Фрезерування пазу																	
Т 04	Фреза кінцева ø3 мм Mitsubishi Materials MS2JSD0300																	
Р 05	—					1,5		24		2		0.1		6800		64		
О 06	3. Свердління																	
Т 07	свердло ø2,4 мм Mitsubishi Materials MVS0240X02S040PL																	
Р 08	—					1,7		3,5		1		0.09		1005		11,19		
О 09	4. Нарізання отвору																	
Т 10	мітчик ø3 мм ESCO SGSP 3M0.5R																	
Р 11	—					0,3		0,5		1		0,5		1005		12,6		
О 12	5. Утворення фаски																	
Т 13	центрувальне свердло ø4 мм 90° Mitsubishi Materials DLE0040S120P090																	
Р 14	—					0,25		0.25		1		0,1		100		14,13		
ОК	Обробка різанням																	

ГОСТ 3.1406 – 86

Форма 3

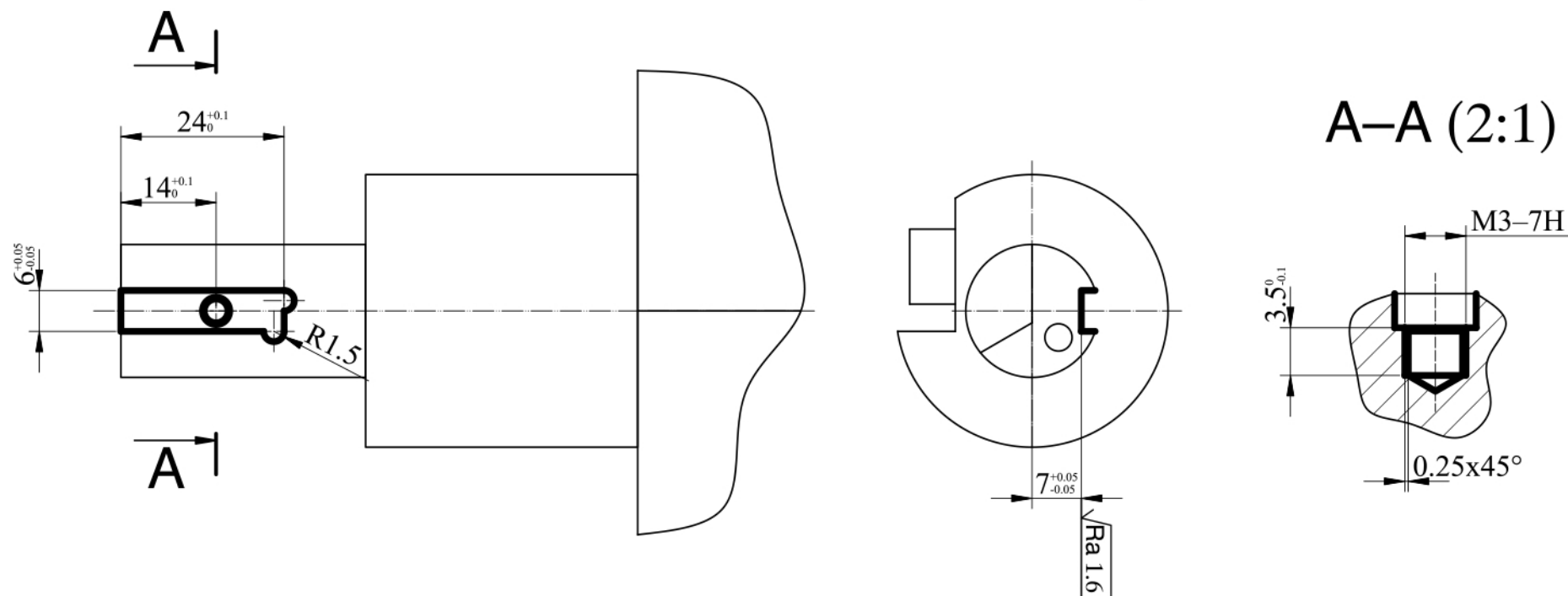
Дубл.			
Взам.			
Подп.			

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------	------	------	----------	-------	------

Свердло рушничне

3 4

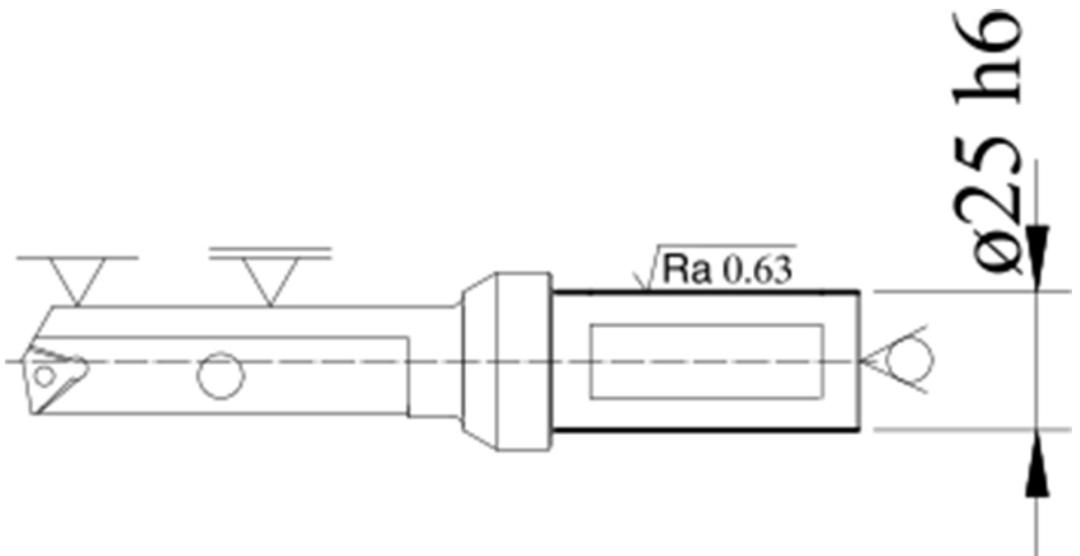
Разрб.	Сергієнко			«КПІ» ім. Ігоря Сікорського	ДПБ ММІ.МІ81.03.001				
Пров.	Ковальова								
Утв.									045
Н. контр.									



KE

Обробка різанням

Подл.																			
														1	1				
Розроб.	Сергієнко			«КПІ» ім. Ігоря Сікорського		ДПБ ММІ.МІ81.03.001													
Перевір.	Ковальова																		
Затв.				Свердло рушничне										ДП			070		
Н.контр.																			
Найменування операції				Матеріал		Твердість		ЕВ	МД	Профіль й розміри				МЗ		КОВД			
Шліфування				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71		HB 167...207		кг	3	Круг 35×510				3		1			
Устаткування, пристрій ЧПК				Позначення програми		To	Tд	Tпз		Tшт		СОЖ							
KNUTH RSM 750C				-		0,4	0,8	2		12		-							
Р					Π	D або B		L		i		So		n		v			
О 01	1. Встановити, закріпити та зняти заготовку після обробки																		
02																			
О 03	2. Шліфування																		
Т 04	Фреза кінцева ø3 мм Mitsubishi Materials MS2JSD0300																		
Р 05	— 25 56 20 8 1900 30																		
О 06																			
Т 07																			
Р 08																			
О 09																			
Т 10																			
Р 11																			
О 12																			
Т 13																			
Р 14																			
ОК	Обробка різанням																		

										ГОСТ 3.1406-86			Форма 3		
Дубл.															
Взам.															
Подп.															
Свердло рушничне					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
													4	4	
Разрб.	Сергієнко			«КПІ» ім.	ДПБ ММІ.МІ81.03.001										
Пров.	Ковальова			Ігоря											
				Сікорського											
Утв.															070
Н. контр.															
															
KE		Обробка різанням													

Додаток Д

Специфікації

[illegible]

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A2			ДПБ МІ81.04.000 СК	Пристосування поворотне ЗК	1	
				<u>Збірні одиниці</u>		
A3		1	ДПБ МІ81.04.001	Корпус	1	
A3		2	ДПБ МІ81.04.002	Кришка	1	
A3		3	ДПБ МІ81.04.003	Диск ділильний	1	
A4		4	ДПБ МІ81.04.004	Направляюча	1	
A4		5	ДПБ МІ81.04.005	Головка фіксатора	1	
A4		6	ДПБ МІ81.04.006	Корпус фіксатора	1	
A3		7	ДПБ МІ81.04.007	Вісь	1	
A4		8	ДПБ МІ81.04.008	Зажим	2	
A4		9	ДПБ МІ81.04.009	Конусна головка		
				<u>Стандартні вироби</u>		
		10		Гвинт М8-6gx35.58	4	
				ГОСТ 7798-70		
		11		Штифт 5x20	3	
				ГОСТ 3128-70		
		12		Пружина 1086-0822	1	
				ГОСТ 18793-80		
		13		Гвинт М6-6gx25.68	2	
				ГОСТ 11738-84		
		14		Шайба А.48.01.08кп.016	2	
Изм	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата	ДПБ МІ81.04 СП Пристосування поворотне	
Разраб.	Сергієнко І.А.					
Пров.	Ковальова Л.І.					
Н.контр.						
Утв.						
					Лит.	Лист
						1
						2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського	

[illegible]