

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

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Свердло триступінчасте»

Виконав (-ла):
студент (-ка) VI курсу, групи МІ-91мп
Колупаєв Дмитро Вікторович _____

Науковий керівник:
К.т.н., доц. Бесарабець Юрій Йосипович _____

Консультант з _____:

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Інструментальні системи інженерного дизайну»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Колупасєву Дмитру Вікторовичу

1. Тема дисертації «Свердло триступінчасте», науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Бесарабець Юрій Йосипович, затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. №3205-С.

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження

Утворення ступінчатого отвору в алюмінієвому профілі.

4. Вихідні дані

Ескіз отвору, використовуваний на підприємстві інструмент.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1) Аналіз обробки отворів в алюмінієвих профілях;

2) Конструювання комбінованого свердла;

3) Технологічне забезпечення виготовлення інструменту;

4) Порівняльні випробовування спроектованого інструменту та інструменту, що використовується на підприємстві;

5) Start-up проект.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Робоче креслення свердла триступінчастого

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Аналіз обробки отворів в алюмінієвих профілях	14.09.2020	
	Конструювання комбінованого свердла	1.10.2020	
	Технологічне забезпечення виготовлення інструменту	21.10.2020	
	Порівняльні випробовування спроектованого інструменту та інструменту, що використовується на підприємстві	2.12.2020	
	Start-up проект	5.12.2020	

Студент

Дмитро КОЛУПАЄВ

Науковий керівник

Юрій БЕСАРАБЕЦЬ

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

на тему: Сverdло триступінчаcте _____

АНОТАЦІЯ

Об'єктом проектування та випробувань при виконанні дипломного проекту є свердло триступінчате, що свердлить ступінчаті отвори в стандартних алюмінієвих профілях. Тут спроектована конструкція інструменту, яка б забезпечила свердління ступінчатого отвору, розроблений технологічний процес та виконані розрахунки всіх потрібних значень для створення свердла триступінчатого. До дисертації входить аналіз обробки отворів в алюмінієвих деталях, конструювання комбінованого свердла для обробки алюмінієвого профілю, технологічне забезпечення виготовлення свердла триступінчатого, порівняльні випробовування двох та триступінчатих сверدل, start-up проект.

Ключові слова – свердло, ступінчате свердло, свердління, алюмінієві профілі, свердління ступінчатих отворів, порівняння зразків

Мова – uk

Автор: ст. гр. МІ-91мп Колупаєв Д.В., під керівництвом к.т.н, доц. Бесарабець Ю.Й.

ANNOTATION

The object of design and testing in the diploma project is a three-step drill that drills stepped holes in standard aluminum profiles. Here the design of the tool which would provide drilling of a step opening is designed, the technological process is developed and calculations of all necessary values for creation of a drill of three step are executed. The dissertation includes the analysis of processing of holes in aluminum details, designing of the combined drill for processing of an aluminum shape, technological maintenance of manufacturing of a drill of three step, comparative tests of two and three step drills, start-up project.

Keywords - drill, step drill, drilling, aluminum profiles, drilling of step holes, comparison of samples

Language - en

Author: St. gr. MI-91mp Kolupaev D.V., Ph.D., docent Besarabec J.J.

ЗМІСТ

1	АНАЛІЗ ОБРОБКИ ОТВОРІВ В АЛЮМІНІЄВИХ ДЕТАЛЯХ	5
1.1	Аналіз технічного завдання	5
1.2	Алюміній та його властивості.....	7
1.3	Використання алюмінієвих профілів	9
1.4	Обробка алюмінієвих сплавів різанням.....	10
1.5	Програмне забезпечення магістерської дисертації	13
1.7	Висновки	13
2.	КОНСТРУЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО СВЕРДЛА ДЛЯ ОБРОБКИ АЛЮМІНІЄВОГО ПРОФІЛЮ	15
2.1	Параметри отвору, що необхідно обробити.....	15
2.2	Характеристика та аналіз інструменту, що використовується на виробництві.....	15
2.3	Проектування комбінованого свердла	17
2.3.1	Вихідні дані	17
2.3.2	Конструкція інструменту	18
2.3.3	Геометричні параметри різальної частини свердла	18
2.3.4	Визначення розмірів поперечного перерізу свердла.....	19
2.3.5	Визначення зусилля різання	22
2.3.5.1	Зусилля різання, що виникають при обробці меншого діаметру	22
2.3.5.2	Зусилля різання, що виникають при обробці більшого діаметру	25
2.3.6	Проектування хвостовика свердла	27
2.3.7	Загальна довжина свердла.....	29
2.4	Побудова 3D моделі комбінованого свердла	31
2.5	Перевірка свердла на стійкість	35
2.5.1	Аналітичний метод перевірки свердла на стійкість	35
2.5.2	Симуляція навантаження на свердло.....	37
3	ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВЕРДЛА ТРИСТУПІНЧАТОГО	39
3.1	Аналіз технічних вимог на виготовлення інструменту	39
3.2	Вибір заготовки для інструменту	40

3.3	Маршрут обробки поверхонь інструменту	41
3.4	Розрахунок припусків на обробку	42
3.5	Розробка маршрутно-операційної технології виготовлення свердла.....	47
3.6	Розрахунок режимів різання	54
3.6.1	Операція 010 Токарна – Перехід «Підрізати торець»	54
3.6.2	Операція 035 Токарна – Перехід «Центрувати отвір»	56
3.6.3	Операція 085 Шліфувальна.....	57
3.6.4	Режими різання для решти операцій.....	58
4	ПОРІВНЯЛЬНІ ВИПРОБОВУВАННЯ	59
4.1	Інструментарій порівняльних випробувань	59
4.2	Технологічні умови порівняльних випробувань	63
4.3	Візуальний аналіз результатів випробувань	64
4.4	Аналіз результатів вимірювання шорсткості поверхонь	66
4.5	Аналіз результатів вимірювання співвісності отворів.....	70
4.6	Висновки після проведення випробувань	73
5	РОЗРОБКА START-UP ПРОЕКТУ	75
5.1	Опис ідеї проекту	75
5.2	Технологічний аудит ідеї проекту.....	76
5.3	Аналіз ринкових можливостей запуску start-up проекту.....	76
	ЛІТЕРАТУРА	85
	ДОДАТОК №1 – КРЕСЛЕННЯ СВЕРДЛА 3-ЬОХ СТУПІНЧАТОГО	90
	ДОДАТОК №2 – ЗВІТ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНЬ.....	91
	Напруження по Мізесу	91
	1-е основне напруження	91
	3-є основне напруження	92
	Зміщення	92
	Коефіцієнт запасу міцності	93
	ДОДАТОК №3 – ПРОФІЛОГРАМИ ШОРСТКОСТІ ОТРИМАНИХ ЗРАЗКІВ	94

1 АНАЛІЗ ОБРОБКИ ОТВОРІВ В АЛЮМІНІЄВИХ ДЕТАЛЯХ

1.1 Аналіз технічного завдання

Дане підприємство, яке потребує інженерно-конструкторських послуг інструментального виробництва, зіткнулося з проблемою виготовлення отворів для кріплення профілів між собою.

На рис. 1.1 зображений стелаж, на якому необхідно забезпечити швидке з'єднання профілів між собою



Рисунок 1.1 – Стелаж, що виготовляється підприємством

Як видно з рис. 1.1, даний стелаж має великий корисний об'єм для зберігання різноманітної продукції, отже з'єднання профілів між собою,

утворюючи силову конструкцію системи, повинно мати велику жорсткість та витривалість.

До силовій конструкції такого стелажу входять алюмінієві профілі з поперечним перерізом, що зображений на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Алюмінієвий профіль стелажу

Дані профілі кріпляться та базуються при установці між собою завдяки спеціальній кріпильній системі, що зображена на рис. 1.3.

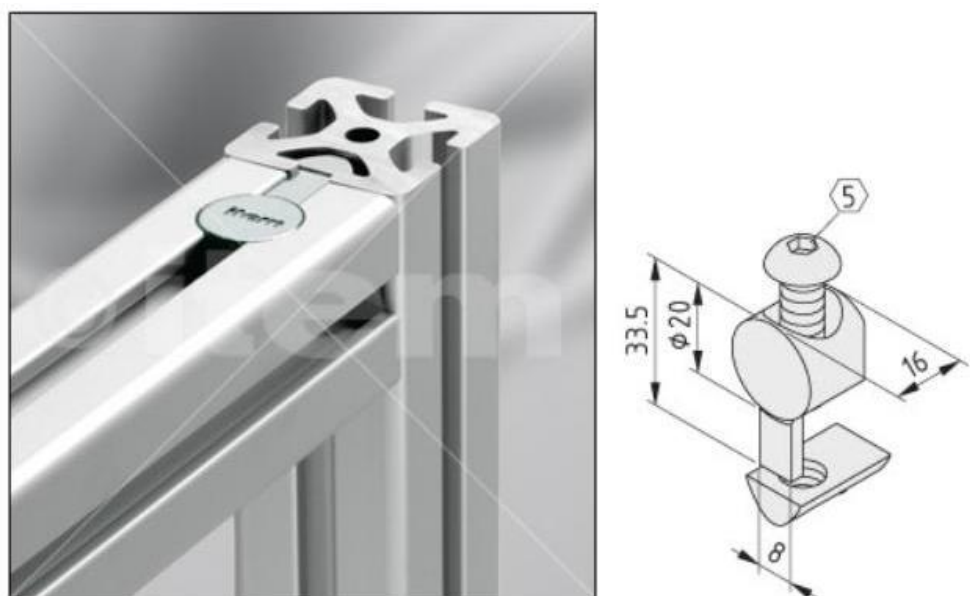


Рисунок 1.3 – Базування профілів між собою

Дана система включає в себе спеціальну перехідну втулку з отвором, фіксуючий елемент з різьбовим отвором під кріпильний гвинт. Система дозволяє швидко та без додаткових зусиль здійснити механічне з'єднання профілів між собою.

Але виникає проблема утворення отворів в профілі для фіксації даної системи в її тілі. На рис. 1.4 зображено типові отвори в профілі, які необхідно підготувати до процесу складання стелажу.



Рисунок 1.4 – Отвори в профілі

Отже, задачею оптимізації виробничого процесу обробки профілів та їх складання являється розробка інструменту для утворення вище зазначених отворів.

1.2 Алюміній та його властивості

Коли мова заходить про основний конструкційний матеріал сучасності, перше, що спадає на думку, це, звичайно ж, алюміній. У цьому металі успішно

поєднуються всі найважливіші характеристики, які ідеально підходять для створення різних конструкцій: машин, поїздів, літаків. Алюміній присутній навіть у комп'ютерах або мобільних, незамінний при створенні інтер'єру в будинку або офісі. Про це функціональному, міцному, стійкому до корозії, і при цьому, легкому матеріалі, дізналися порівняно недавно, і ще два століття тому його практично не використовували. [1]

На основі алюмінію виробляється велика кількість різноманітних сплавів, що відрізняються малою щільністю (до $3000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$), високою корозійною стійкістю, теплопровідністю, електропровідністю, жароміцністю, міцністю і пластичністю при низьких температурах, хорошою світловідбивною здатністю. На вироби з алюмінієвих сплавів легко наносяться захисні і декоративні покриття, вони легко обробляються різанням і зварюються контактним зварюванням. [4]

За способом переробки у вироби алюмінієві сплави поділяють на:

- Деформівні — призначені для пластичного деформування при виготовленні напівфабрикатів та деталей, до яких відносяться:
 - деформівні алюмінієві сплави, що не піддаються зміцненню при термообробці;
 - деформівні алюмінієві сплави, що зміцнюються термообробкою.
- Ливарні — призначені для переробки методом литва.
- Спеціальні сплави, що отримують за технологіями порошкової металургії, до яких відносяться:
 - спечені алюмінієві порошки (САП);
 - спечені алюмінієві сплави (САС). [6]

Деформовані алюмінієві сплави спочатку розливають в злитки (круглі або прямокутні), а потім обробляють за різними технологіями обробки тиском - гарячої і холодної - до додання їм потрібної форми:

- прокаткою - для отримання листів і фольги;
- пресуванням - для отримання профілів, труб і прутків;

- формуванням - для отримання більш складних форм з катаних або пресованих напівфабрикатів;
- куванням для отримання складних форм з підвищеними механічними властивостями,
- волочінням, штампуванням, висадкою, витяжкою, розкочуванням, гнуттям і т. п. [7]

Міжнародна система позначень деформованих сплавів заснована на американській системі кваліфікацій, яка була розроблена ще в 1950-ті роки. Ця система застосовує позначення, які складаються з чотирьох цифр. Цифри на місці знаків «х» застосовують для підрозділу сплавів всередині серії.

1.3 Використання алюмінієвих профілів

Алюмінієвий профіль - досить легкий матеріал, за допомогою якого створюються різні інженерні та будівельні конструкції та системи. Він виготовляється шляхом гарячого екструзії (при дотриманні температури в 500 градусів за Цельсієм і вище). Під час цього процесу заготовка простягається через спеціальне профільоване отвір в матриці. Сировиною для виготовлення такого профілю можуть виступати абсолютно будь-які сплави на основі алюмінію. [15]



Рисунок 1.5 – Транспортний алюмінієвий профіль

Завдяки унікальним характеристикам сплавів алюмінієві профілі мають ряд незаперечних переваг:

- довговічність профільних систем з алюмінію складає більше 80 років;
- можливість комбінування віконних, дверних і фасадних систем забезпечує їх багатофункціональність і практичність при виготовленні конструкцій;
- алюмінієвий профіль є екологічно чистим матеріалом, тому що не містить шкідливих для здоров'я домішок;
- алюміній - негорючий матеріал, і саме ця його характеристика обумовлює пріоритетний застосування конструкцій з алюмінію при склінні лікарень, дитячих садків, шкіл;
- алюмінієвий профіль при своєму незначному вазі витримує великі навантаження протягом довгого часу
- системи алюмінієвого профілю дозволяють реалізовувати найсміливіші дизайнерські рішення по склінню великих площ і виготовлення конструкцій складної конфігурації. [18]

Виконавши аналіз всіх переваг та недоліків алюмінієвих профілів можна зробити висновок, що їх застосування обумовлене фізичними, хімічними та механічними властивостями, економічною складовою та екологічністю, що в наші часи є достатньо перспективним та сучасним рішенням при проектуванні та виготовленні несучих конструкцій та систем різноманітних механізмів та деталей.

1.4 Обробка алюмінієвих сплавів різанням

Алюмінієві сплави в цілому добре піддаються обробці різанням. На відміну від чистого алюмінію алюмінієві сплави мають складну металургійну структуру. Саме це дає їм переваги при механічній обробці в порівнянні з нелегованою алюмінієм. [19]

До механічній обробці зазвичай відносять всі процеси обробки різанням: токарна обробка, фрезерування, стругання, свердління, пиляння і т. д.

Оскільки різних алюмінієвих сплавів досить багато, то вони можуть мати різні характеристики механічної оброблюваності. Термін оброблюваність включає всі властивості, які мають відношення до процесу механічної обробки, а саме знос різального інструменту, необхідна сила різання, форма стружки, точність поверхні після механічної обробки. [20]

Обробка алюмінієвих сплавів характеризується наступними особливостями:

- високі швидкості різання;
- низькі зусилля;
- мінімальний знос різального інструменту;
- порівняно низька температура різання.

Для обробки найкраще використовувати різальні інструменти із спеціально розробленою геометрією. Також можна використовувати звичайні різальні інструменти, але в цьому випадку складно досягти необхідної якості поверхні і уникнути утворення на різальній кромці наросту. [21]

Через малі зусилля різання при обробці алюмінію (30% від зусиль при обробці сталі) і його сплавів, вони легше піддаються лезвійній обробці, ніж сталі, чавуни, латуні або бронзи. Так при однакових параметрів різання швидкість різання алюмінію перевищує в три рази швидкість різання бронзи і в п'ять разів швидкість різання сталей. Це означає, що алюміній і його сплави можна обробляти швидше ніж, дані матеріали. [22]

Вплив конструкції різального інструменту на точність поверхні полягає в його здатності утворювати «правильну» стружку. Важливо, щоб стружка могла гладко проходити різальну поверхню інструменту. Це означає, що передній кут зуба повинен бути досить великий, мастило повинна бути достатньою, а поверхню різального інструменту досить гладкою. Хорошу гладку поверхню можна отримати при роботі з зношеним різальним інструментом. [23]

Зовнішній вигляд стружки характеризує механообробку алюмінію якнайкраще. Еталоном вважається свита стружка циліндричної форми

невеликої довжини. Різновидів алюмінієвої стружки, насправді, дуже багато, що пояснюється наявністю великої різноманітності сплавів, в основі яких лежить алюміній. При цьому спостерігається наступна закономірність: з поліпшенням характеристик міцності властивостей металу довжина стружки коротшає. Загальні правила стружкоутворення:

- алюміній в чистому вигляді і його сплави, що відрізняються м'якістю і простотою деформування, при механічній обробці дає довгу стружку. Через це потрібно виконувати певні дії, наприклад, використовувати пристосування, основне призначення яких - подрібнення стружки;
- з алюмінієвими сплавами, що характеризуються високою міцністю, не виникає проблем в плані стружкоутворення;
- сплави з алюмінію, що називаються евтектичними, утворюють довгу стружку;
- стружка доевтектичних алюмінієвих сплавів, як правило, має форму спіралі або кільця. Її характерною особливістю є простота кільця;
- проблеми нерідко виникають зі стружкоутворенням в заевтектичних сплавах алюмінію, про що свідчить стружка, що має невелику довжину і розділена на фрагменти. [24]

Відома компанія, що виготовляє різальний інструмент Sandvik Coromant зазначає, що проблемами свердління отвору, згідно технічного завдання може стати утворення заусенців та евакуація стружки від зони обробки. Також можливе погіршення стійкості інструменту по причині адгезії. Компанія рекомендує для оптимального утворення стружки використовувати високу швидкість різання та низьку подачу. [25]

Отже, необхідно враховувати всі вище зазначені переваги та недоліки при проектуванні та виготовленні інструменту для вирішення технічного завдання замовника.

1.5 Програмне забезпечення магістерської дисертації

Для здійснення проектування інструменту було задіяно систему автоматизованого проектування КОМПАС-3D [30]. Даний програмний продукт дозволяє виконати проектування 3D моделі свердла та виконати його робоче креслення.

Здійснити симуляцію навантаження на різальну кромку та безпосередньо на саме тіло свердла можна завдяки системи автоматизованого проектування «Autodesk Inventor» [31].

Також є можливість розробити керуючу програму на токарний верстат з ЧПК, використовуючи дані програмним продуктом функції завдяки застосунку «ADEM CAM» [32].

Для представлення проекту підприємству-замовнику необхідне, окрім виготовленого прототипу інструменту, розробити фотореалістичні зображення всіх складових компонентів та безпосередньо свердла. Для цього було використано програмний продукт «Artisan Rendering», що входить в пакет програми КОМПАС-3D.

Все програмне забезпечення, що зазначено вище надає навчальну ліцензію для можливого виконання магістерської дисертації та ознайомлення з функціональними можливостями програмних продуктів.

1.7 Висновки

В даному розділі було проаналізовано алюміній та його сплави як матеріал, що піддається обробці. Його застосування в різних галузях промисловості. Алюміній та його сплави – достатньо поширені матеріали та сплави, що мають достатньо широке застосування в різноманітних галузях виробничих процесів.

Визначили актуальність та поширеність застосування алюмінієвих профілів в промисловості. Переваги їх застосування.

Також в розділі було проаналізовано основні проблеми, що можуть виникнути при обробці алюмінієвих сплавів різанням, а саме утворення

«правильної» для поверхні сплаву стружки. Було визначено основні параметри обробки таких сплавів, щоб забезпечити точну та якісну готову поверхню.

В розділі розглянуто основні інструменти, для обробки ступінчатого отвору в алюмінієвому профілі. Переваги кожного та недоліку.

Визначили програмне забезпечення, яке необхідне для виконання магістерської дисертації та представлення проекту замовнику.

Проаналізувавши технічне завдання підприємства-замовника, виконаємо проектування спеціального інструменту для обробки ступінчатого отвору в алюмінієвому профілі. Даний інструмент врахує всі необхідні вимоги до інструменту, що здійснює обробку алюмінієвого сплаву. Також майбутній інструмент повинен включати основні переваги вище розглянутих інструментів.

До пакету, що необхідно представити компанії-замовнику повинні входити наступні розділи:

- Проектування конструкції інструменту;
- Профілювання різальної частини інструменту;
- Розробка технології виготовлення інструменту в умовах середньо серійного типу виробництва;
- Розрахунок режимів різання, припуску обробки;
- Проведення дослідних випробовувань.

2. КОНСТРУЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО СВЕРДЛА ДЛЯ ОБРОБКИ АЛЮМІНІЄВОГО ПРОФІЛЮ

2.1 Параметри отвору, що необхідно обробити

Ескіз отвору зображений на рис. 2.1.

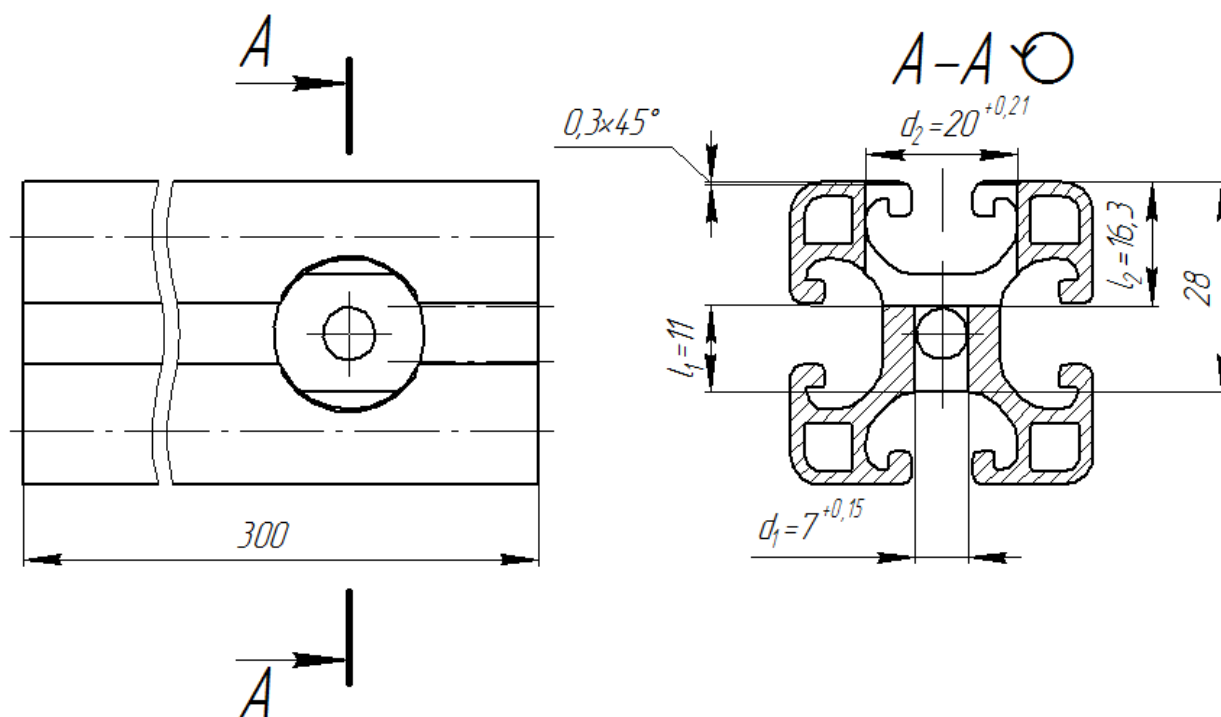


Рисунок 2.1 – Ескіз отвору, який необхідно обробити

Технічним завданням являється отвір, утворений в профілі, що виконаний з алюмінієвого сплаву 2024. Даний отвір має діаметр $\varnothing 7$ мм з довжиною 11 мм. Цековка має діаметр $\varnothing 20$ мм з довжиною 16,3 мм. На цековці виконана фаска $0,3 \times 45^\circ$.

2.2 Характеристика та аналіз інструменту, що використовується на виробництві

Для отримання ступінчатого отвору в заготовці алюмінієвого профілю на виробництві використовувався комплект із двох інструментів.

1-ий інструмент – свердло спіральне ступінчате (рис. 2.1).



Рисунок 2.2 – Свердло двоступінчате з $d_1 = 7$ мм та $d_2 = 20$ мм

Свердло ступінчате виконує першу операцію свердління меншого отвору $\varnothing 7$ мм у внутрішній частині профіля наскрізь (довжина обробки 15,5 мм) та другу операцію розсвердлювання отвору $\varnothing 7$ мм до $\varnothing 20$ мм на глибину 16,3 мм.

За технічними характеристиками, дане свердло має наступні геометричні та конструктивні параметри:

- Матеріал різальної частини – швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73;
- Матеріал хвостовика - Сталь 40Х ГОСТ 1050-88;
- Головний кут в плані $2\varphi = 140^\circ$;
- Задній кут $\alpha = 15^\circ$;
- Кут нахилу стружкової канавки $\omega = 30^\circ$;

- Кут нахилу поперечного леза $\psi = 60^\circ$.

2-ий інструмент – зенківка 2353-0125 по ГОСТ 14953-80.

Для утворення внутрішньої фаски на виробництві використовується другий інструмент - зенківка 2353-0125 по ГОСТ 14953-80 [39]. Інструмент зображений на рис. 2.3



Рисунок 2.3 – Зенківка 2353-0125 по [39]

Дана зенківка має наступні геометричні та конструктивні параметри:

- Менший діаметр $d = 12,5$ мм;
- Більший діаметр $D = 40$ мм;
- Кут зенківки $\alpha = 45^\circ \pm 2^\circ$;
- Хвостовик – Конус Морзе №2 по [38].

2.3 Проектування комбінованого свердла

2.3.1 Вихідні дані

Визначимо основні параметри отвору, що необхідні для розрахунку комбінованого свердла:

- діаметр меншого отвору $D_1 = 7^{+0,15}$ мм;
- діаметр більшого отвору $D_2 = 20^{+0,21}$ мм;
- довжина меншого отвору $l_1 = 11$ мм;
- довжина більшого отвору $l_2 = 16,3$ мм;
- фаска $0,3 \times 45^\circ$;

- шорсткість оброблених поверхонь $R_a = 2,5$ мкм;
- квалітет оброблених отворів H12;
- матеріал, що обробляється – алюмінієвий сплав 2024.

Ескіз отвору зображений на рис. 2.1.

2.3.2 Конструкція інструменту

Триступінчатє свердло буде виготовлятися зварним. Матеріал різальної частини – швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73, твердість за Роквелом 62 ... 65 HRC. Хвостовик виготовлятиметься з конструкційної легованої сталі 40Х ГОСТ 1050-88, твердість за Роквелом 40 ... 50 HRC.

2.3.3 Геометричні параметри різальної частини свердла

Головний кут в плані φ вибираємо в залежності від властивостей матеріалу, що обробляється (обробка алюмінієвого сплаву) за [33, с.2, табл.1]:

$$2\varphi = 125^\circ \pm 2^\circ$$

Задній кут α являється важливим елементом конструкції свердла. Його величина в значній мірі впливає на стійкість інструменту. Задні кути являються змінними, мінімальне значення вони приймають на периферії свердла. За рекомендаціями [33, с.3] при обробці алюмінієвих сплавів свердлами, різальна частина котрих виконана зі швидкорізальної сталі найбільш доцільно приймати значення заднього кута рівним $\alpha = 20^\circ$.

Кут нахилу стружкової канавки ω впливає на міцність та жорсткість свердла, а також на відвід стружки. Кут нахилу стружкової канавки ω задається для зовнішнього діаметра свердла. За рекомендаціями [33, с.3] при обробці алюмінієвих сплавів значення кута нахилу стружкової канавки доцільно приймати $\omega = 20 \dots 30^\circ$. Отже, приймаємо кут нахилу стружкової канавки для інструменту $\omega = 20^\circ \pm 2^\circ$.

При цьому, крок гвинтових канавок буде визначатись за формуло:

$$H_i = \frac{\pi D_i}{\tan \omega} \quad (2.1)$$

Отже, для свердла з діаметром більшої ступені $D_2 = 20$ мм:

$$H_2 = \frac{\pi \times 20}{\tan 35^\circ} = 89,73 \text{ мм}$$

Поперечна різальна кромка з проекціями головних різальних кромek утворює кут ψ – кут нахилу поперечного леза. За рекомендаціями [33, с.3] даний кут доцільно приймати $\psi = 50 \dots 55^\circ$. Приймаємо кут нахилу поперечного леза рівним $\psi = 50^\circ$.

2.3.4 Визначення розмірів поперечного перерізу свердла

Зовнішній діаметр ланки свердла D_i приймаються рівним діаметру відповідної ланки оброблюваного отвору і виконується з допуском по $h8$ для свердл якості B .

З ціллю зниження тертя свердла об поверхню оброблюваного отвору робочу частину виконується зі зворотною конусністю (зменшення діаметру в напрямку до хвостовика). За рекомендаціями [33, с.4] на довжині 100 мм величина зворотної конусності для ланки меншого діаметру $\varnothing 7$ мм приймається рівною 0.04 ... 0.10 мм та для ланки більшого діаметру $\varnothing 20$ мм величина зворотної конусності рівна 0.05 ... 0.12 мм.

Для зменшення тертя свердла об поверхню отвору на його зубцях по всій довжині зрізається спинка з невеликою шліфованою стрічкою f_0 (рис. 2.2).

Стрічка служить для направлення свердла в процесі роботи. На величині приблизно рівній половині подачі кромки стрічки, що дотикається до головної різальної кромки, виконує роль допоміжної кромки і формує поверхню отвору. На даній ділянці напрямна стрічка слугує допоміжною задньою поверхнею з задніми кутами, що рівні нулю.

Ширина напрямної стрічки значно впливає на роботу свердла. Зі збільшенням ширини стрічки покращується напрямок свердла, що добре впливає на його роботу. Але в такому випадку збільшується тертя стрічки об стінку отвору, що підвищує інтенсивність зношення свердл і знижує їх стійкість.

Ширина стрічки визначається за наступною формулою:

$$f = 0,5\sqrt[3]{D} \quad (2.2)$$

Отже, для свердла з діаметром більшої ступені $D_2 = 20$ мм:

$$f_2 = 0,5\sqrt[3]{20} = 1,36 \text{ мм}$$

Висота стрічки визначається за наступною формулою:

$$q = 0,025D \quad (2.3)$$

Отже, для свердла з діаметром більшої ступені $D_2 = 20$ мм:

$$q_2 = 0,025 \times 20 = 0,5 \text{ мм}$$

Для свердла величина висоти стрічки повинна відповідати технологічним вимогам:

$$0,1 < 2q_2 = 2 \times 0,5 = 1 < 2,5 \text{ мм}$$

Як видно, значення висоти стрічки відповідає технологічним вимогам до виготовлення свердла.

Діаметр серцевини для свердл зі швидкорізальної сталі приймається рівною за рекомендаціями [33, с.5]:

$$d_2 = (0,145 \dots 0,125)D_1 = (0,145 \dots 0,125) \times 20 = 2,9 \dots 2,5 \text{ мм}$$

Приймаємо наступні значення діаметрів серцевини свердла:

$$d_2 = 2,6 \text{ мм}$$

Значення d_2 зазвичай змінна і збільшуються по напрямку до хвостовика на 1,4 ... 1,7 мм на 100 мм довжини з ціллю підвищення міцності та жорсткості свердла.

Форма стружкової канавки повинна забезпечити достатню міцність свердла, достатньо місця для розміщення стружки і її легке відведення. Основними параметрами форми канавки являється ширина канавки і тангенціальні криві.

Для свердл, що призначені для обробки алюмінієвих сплавів за рекомендаціями [33, с.5] приймаємо центральний кут становить $\theta = 116^\circ$.

Ширина канавки рівна:

$$B = 0,785D \quad (2.4)$$

Отже, для свердла з діаметром більшої ступені $D_2 = 20$ мм:

$$B_2 = 0,785 \times 20 = 15,7 \text{ мм}$$

Тангенціальні криві канавки розглядаються в нормальному перерізі каліброваної частини свердла і визначають профіль фрези для обробки канавок. При аналітичному способі розрахунку профіль канавки представляють двома дотичними радіусами R_k та r_k й визначається за наступними залежностями:

$$R_k = C_R C_K D \quad (2.5)$$

$$r_k = 0,015 \omega^{0,75} D \quad (2.6)$$

Де, C_R – поправочний коефіцієнт, котрий враховує вплив головного кута в плані φ та кута нахилу стружкової канавки ω ;

C_K – поправочний коефіцієнт, котрий враховує діаметр серцевини свердла;

Поправочний коефіцієнт C_K , котрий враховує діаметр серцевини свердла визначимо за [33, табл.4, с.6] для більшого ступеня свердла $D_2 = 20$ мм при діаметру серцевини $d_2 = 2,6$ мм визначимо коефіцієнт за допомогою методу інтерполяції - $C_{K_2} = 0,9874$.

Поправочний коефіцієнт C_R , котрий враховує вплив головного кута в плані φ та кута нахилу стружкової канавки ω розраховується за наступною формулою:

$$C_R = 0,026 \times \frac{2\varphi \sqrt[3]{2\varphi}}{\omega} \quad (2.7)$$

Отже, при головному куті в плані $2\varphi = 125^\circ$ та при куті нахилу стружкової канавки $\omega = 20^\circ$ поправочний коефіцієнт рівний:

$$C_R = 0,026 \times \frac{125 \sqrt[3]{125}}{20} = 0,46$$

Тоді, дотичні радіуси R_k та r_k для більшого ступеня свердла $D_2 = 20$ мм будуть рівні:

$$R_{k_2} = 0,46 \times 0,9874 \times 20 = 9,08 \text{ мм}$$

$$r_{k_2} = 0,015 \times 35^{0,75} \times 20 = 4,32 \text{ мм}$$

Побудуємо торцевий переріз ступенів свердла з відображенням всіх розрахованих вище розмірів (рис. 2.4).

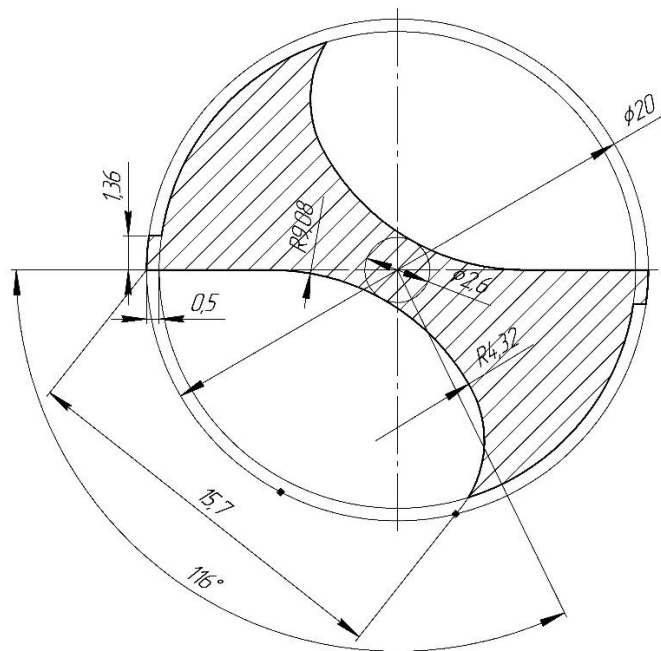


Рисунок 2.4 – Торцевий переріз більшого ступеня свердла

2.3.5 Визначення зусилля різання

Для подальшого проектування конструкції ступінчатого свердла необхідно виконати розрахунок осьового зусилля різання, що виникне внаслідок процесу обробки спроектованим інструментом. Виконаємо даний розрахунок для двоступенів свердла.

2.3.5.1 Зусилля різання, що виникають при обробці меншого діаметру

Схема процесу свердління меншого отвору зображена на рис. 2.5.

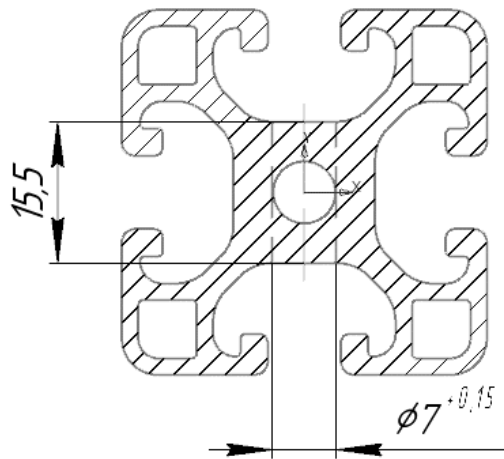


Рисунок 2.5 – Схема процесу свердління меншого отвору

При свердлінні $\phi 7$ мм глибина різання за [35, с.276]:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{7}{2} = 3,5 \text{ мм} \quad (2.8)$$

Де, $D = 7$ мм – діаметр оброблюваного отвору

Подача при свердлінні вибирається в залежності від міцності оброблюваного матеріалу. За [36] для алюмінієвого сплаву 2024 границя міцності становить $\sigma_B = 450$ МПа.

За рекомендаціями [37] для алюмінієвих сплавів, твердість по Брінелю становить:

$$HB = 0,3\sigma_B = 0,3 \times 450 = 135 \quad (2.9)$$

Отже, подача при свердлінні інструментом з діаметром $D = 7$ мм, при обробці алюмінієвих сплавів з твердістю $HB = 135$ за [35, табл.25, с.277] $S_{\text{табл}} = 0,27 \dots 0,36$ мм/об.

Враховуючи поправочний коефіцієнт, котрий враховує глибину отвору при $l < 5D \rightarrow 16 < 5 \times 7 = 35 - K_{ls} = 0,9$.

Отже, розрахована подача при свердлінні становитиме:

$$S = S_{\text{табл}} K_{ls} = (0,27 \dots 0,36) \times 0,9 = 0,24 \dots 0,32 \text{ мм/об} \quad (2.10)$$

Приймаємо подачу рівною $S = 0,28$ мм/об.

Осьове зусилля різання визначається за наступною формулою:

$$P_0 = 10C_p D^q S^y K_p \quad (2.11)$$

Де, C_p, q, y – коефіцієнт та показники степенів при визначенні осьового зусилля різання.

K_p – поправочний коефіцієнт, котрий враховує умови обробки

За [35, табл.32, с.281] при свердлінні алюмінієвих сплавів та при матеріалі різальної частини швидкорізальна сталь - $C_p = 9,8, q = 1, y = 0,7$.

Поправочний коефіцієнт K_p , котрий враховує фактичні умови обробки, в даному випадку залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки і визначається залежністю:

$$K_p = K_{Mp} \quad (2.12)$$

Поправочний коефіцієнт K_{Mp} , котрий враховує вплив якості алюмінієвих сплавів на зусилля різання при границі міцності $\sigma_B = 450$ МПа за [35, табл.10, с.265] - $K_{Mp} = 2,75$.

Тоді, поправочний коефіцієнт рівний:

$$K_p = 2,75$$

Отже, осьове зусилля різання при свердлінні становитиме:

$$P_0 = 10 \times 9,8 \times 7^1 \times 0,28^{0,7} \times 2,75 = 773,87 \text{ Н}$$

Крутний момент, що виникає в процесі свердління $\varnothing 7$ мм визначається за наступною формулою:

$$M_{кр} = 10 C_M D^q S^y K_p \quad (2.13)$$

Де, C_M, q, y – коефіцієнт та показники степенів при визначенні крутного моменту, що виникає в процесі різання.

K_p – поправочний коефіцієнт, котрий враховує умови обробки

За [35, табл.32, с.281] при свердлінні алюмінієвих сплавів та при матеріалі різальної частини швидкорізальна сталь - $C_M = 0,005, q = 2, y = 0,8$.

Поправочний коефіцієнт K_p , котрий враховує фактичні умови обробки, в даному випадку залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки та визначений вище рівний $K_p = 2,75$.

Отже, крутний момент, що виникає в процесі свердління $\varnothing 7$ мм буде рівний:

$$M_{кр} = 10 \times 0,005 \times 7^2 \times 0,28^{0,8} \times 2,75 = 2,43 \text{ Нм}$$

2.3.5.2 Зусилля різання, що виникають при обробці більшого діаметру

Процес обробки більшого діаметру складніший по своїй суті. Його схема зображена на рис. 2.6.

На першому етапі проходить процес розсвердлювання поздовжнього пазу шириною 8 мм до отвору $\varnothing 20$ мм на глибину 4,5 мм. Після цього, свердло проходить певну ділянку без здійснення обробки. Другий етап обробки являє собою складне розсвердлювання криволінійної форми заготовки, що зводиться до розсвердлювання попередньо утвореного отвору $\varnothing 7$ мм до отвору $\varnothing 20$ мм на глибину 4,05 мм.

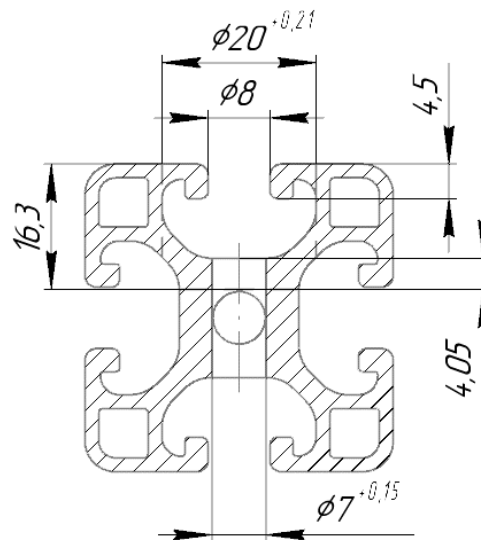


Рисунок 2.6 – Схема процесу свердління більшого отвору

Оскільки, виходячи із логічних міркувань, найбільше зусилля виникне при другому етапі обробки, розрахуємо зусилля різання, що виникне при розсвердлюванні попередньо утвореного отвору $\varnothing 7$ мм до отвору $\varnothing 20$ мм на глибину 4,05 мм.

При розсвердлюванні попередньо утвореного отвору $\varnothing 7$ мм до отвору $\varnothing 20$ мм глибина різання за [35, с.276]:

$$t = \frac{D-d}{2} = \frac{20-7}{2} = 6,5 \text{ мм} \quad (2.14)$$

Де, $D = 20$ мм – діаметр оброблюваного отвору;

$d = 7$ мм – діаметр існуючого отвору.

Подача при розсвердлюванні інструментом з діаметром $D = 20$ мм, при обробці алюмінієвих сплавів з твердістю $HB = 135$ (п.2.4.5.1) за [35, табл.25, с.277] $S_{\text{табл}} = 0,66 \dots 0,76$ мм/об.

Враховуючи поправочний коефіцієнт, котрий враховує глибину отвору при $l < 5D \rightarrow 16,3 < 5 \times 20 = 100 - K_{ls} = 0,9$.

Отже, розрахована подача при розсвердлюванні за (2.10) становитиме:

$$S = S_{\text{табл}} K_{ls} = (0,66 \dots 0,76) \times 0,9 = 0,59 \dots 0,68 \text{ мм/об}$$

Приймаємо подачу рівною $S = 0,68$ мм/об.

Осьове зусилля різання визначимо за наступною формулою:

$$P_0 = 10 C_p t^x S^y K_p \quad (2.15)$$

Де, C_p, x, y – коефіцієнт та показники степенів при визначенні осьового зусилля різання.

За [35, табл.32, с.281] при розсвердлюванні алюмінієвих сплавів та при матеріалі різальної частини швидкорізальна сталь - $C_p = 9,8, x = 0, y = 0,7$.

Поправочний коефіцієнт K_p , котрий враховує фактичні умови обробки, в даному випадку залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки та визначений в п.2.4.5.1 рівний $K_p = 2,75$.

Отже, осьове зусилля різання при розсвердлюванні становитиме:

$$P_0 = 10 \times 9,8 \times 20^0 \times 0,68^{0,7} \times 2,75 = 205,74 \text{ Н}$$

Крутний момент, що виникає в процесі розсвердлювання отвору з $\varnothing 7$ мм до $\varnothing 20$ мм визначається за наступною формулою:

$$M_{\text{кр}} = 10 C_M D^q t^x S^y K_p \quad (2.16)$$

Де, C_M, q, x, y – коефіцієнт та показники степенів при визначенні крутного моменту, що виникає в процесі різання.

За [35, табл.32, с.281] при розсвердлюванні алюмінієвих сплавів та при матеріалі різальної частини швидкорізальна сталь - $C_M = 0,005, q = 2, y = 0,8, x = 0$.

Поправочний коефіцієнт K_p , котрий враховує фактичні умови обробки, в даному випадку залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки та визначений вище рівний $K_p = 2,75$.

Отже, крутний момент, що виникає в процесі розсвердлювання отвору з $\varnothing 7$ мм до $\varnothing 20$ мм буде рівний:

$$M_{кр} = 10 \times 0,005 \times 20^2 \times 6,5^0 \times 0,68^{0,8} \times 2,75 = 40,4 \text{ Нм}$$

2.3.6 Проектування хвостовика свердла

Свердла з діаметром більше 10 ... 12 мм виготовляють з хвостовиками у вигляді конуса Морзе. Конус Морзе являється самогальмівним, тобто крутний момент від шпинделя верстату до інструменту передається за рахунок сил тертя. Для інструментів з такими хвостовиками відпадає необхідність в додатковому закріпленні в шпинделі.

Діаметр хвостовика визначається із умови забезпечення самогальмування. Розрахункова схема для визначення діаметру хвостовика приведена на рис. 2.7.

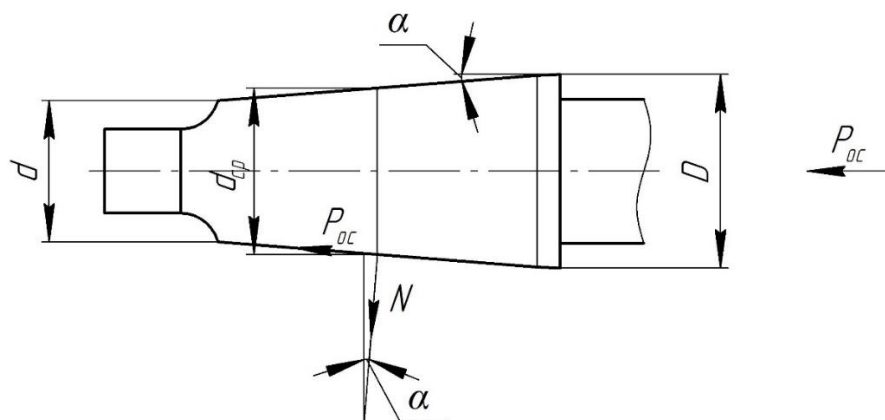


Рисунок 2.7 – Система сил, що діє на конічний хвостовик

Для конусів Морзе по [38], в котрих кут нахилу приблизно становить $\alpha = 1^{\circ}26'$ вибір розмірів конусу здійснюється з використанням наступного рівняння:

$$\frac{d + D}{2} = \frac{4M_{\text{кр}}}{P_0} \quad (2.17)$$

Де, d – менший діаметр конусу Морзе;

D – більший діаметр конусу Морзе;

$M_{\text{кр}}$ – сумарний крутний момент, що виникає в процесі обробки;

P_0 – сумарне осьове зусилля різання.

Сумарний крутний момент $M_{\text{кр}}$ визначимо як суму моментів, що виникатимуть при свердлінні отвору $\varnothing 7$ мм та розсвердлюванні отвору з $\varnothing 7$ мм до $\varnothing 20$ мм:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{кр}_1} + M_{\text{кр}_2} \quad (2.18)$$

Де, $M_{\text{кр}_1} = 2,43$ Нм – крутний момент, що виникає в процесі свердління отвору $\varnothing 7$ мм;

$M_{\text{кр}_2} = 40,4$ Нм – крутний момент, що виникає в процесі розсвердлювання отвору з $\varnothing 7$ мм до $\varnothing 20$ мм.

Тоді, сумарний крутний момент $M_{\text{кр}}$ рівний:

$$M_{\text{кр}} = 2,43 + 40,4 = 42,83 \text{ Нм}$$

Сумарний осьове зусилля різання P_0 визначимо як суму сил різання, що виникатимуть при свердлінні отвору $\varnothing 7$ мм та розсвердлюванні отвору з $\varnothing 7$ мм до $\varnothing 20$ мм:

$$P_0 = P_{0_1} + P_{0_2} \quad (2.20)$$

Де, $P_{0_1} = 773,87$ Н – осьове зусилля різання, що виникає в процесі свердління отвору $\varnothing 7$ мм;

$P_{0_2} = 205,74$ Нм – осьове зусилля різання, що виникає в процесі розсвердлювання отвору з $\varnothing 7$ мм до $\varnothing 20$ мм.

Тоді, сумарне осьове зусилля різання P_0 рівне:

$$P_0 = 773,87 + 205,74 = 979,61 \text{ Н}$$

Отже, середнє значення суми більшого та меншого діаметрів конусу хвостовика D та d відповідно становитиме:

$$\frac{d+D}{2} = \frac{4 \times 42,83}{979,61} = 17,49 \text{ мм}$$

Приймаємо попередньо для розрахунків хвостовик з конусом Морзе №2 по ГОСТ 25557-82 [38]. Його конструкція зображена на рис. 2.8.

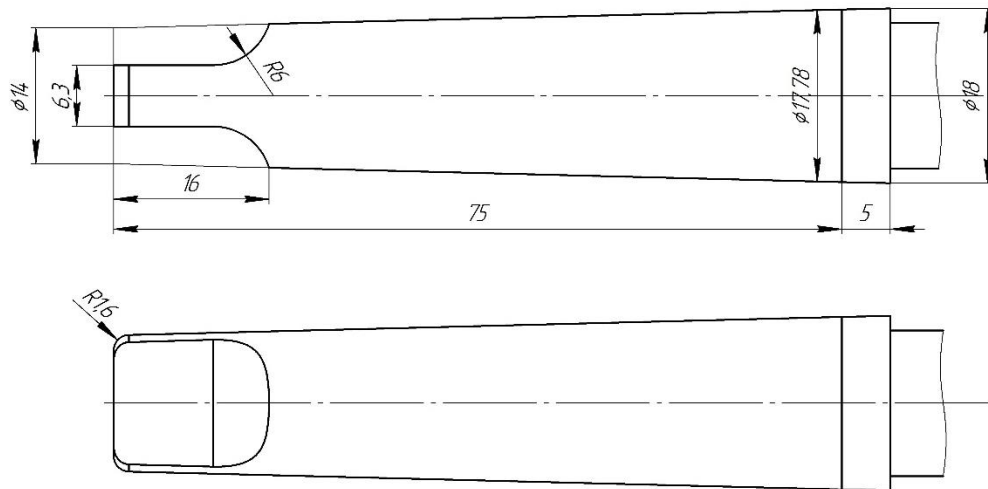


Рисунок 2.8 – Конус Морзе №2 за [38]

Для даного хвостовика значення $d = 14,81$ мм та $D = 18$ мм. Для конусу Морзе №2 середнє значення суми становить:

$$\frac{d+D}{2} = \frac{14,81+18}{2} = 16,41 \text{ мм}$$

Похибка розрахованого значення становить:

$$\Delta = \frac{17,49-16,41}{16,41} \times 100^\circ = 6,58^\circ$$

Дана похибка є допустимою, отже, приймаємо для конструкції комбінованого свердла хвостовик, що виконаний на основі конуса Морзе №2 за [38].

2.3.7 Загальна довжина свердла

Загальна довжина комбінованого свердла рівна сумі довжин всіх його ступенів та довжини хвостовика й визначається за формулою:

$$L = L_1 + L_2 + L_{\phi} + l_{\text{хв}} + l_{\text{пш}} + l_{\text{стр}} + l_{\text{ш}} + 2(L_1 + L_2) + 20 \quad (2.21)$$

Де, L_1 – довжина першої ступені;

L_2 – довжина другої ступені;

L_{ϕ} – довжина фаски;

$l_{\text{хв}}$ – довжина хвостовика;

$l_{\text{пш}}$ – довжина перехідної шийки;

$l_{\text{ш}}$ – довжина шийки між різальною та хвостовою частинами.

Перехідна шийка згідно конструкції ступінчатого отвору (рис. 2.1) буде відсутня, тому її довжина $l_{\text{пш}} = 0$.

За рис. 2.8 довжина хвостовика становить $l_{\text{хв}} = 80$ мм.

Довжину шийки між різальною та хвостовою частинами приймаємо рівною $l_{\text{ш}} = 10$ мм.

Довжина фаски за рис. 2.1 становить $L_{\phi} = 0,3$ мм.

Довжина першої ступені інструменту визначається за наступною формулою:

$$L_1 = l_p + l_{\text{пер}} + l_{\text{зап}} \quad (2.22)$$

Де, l_p – відстань до початку свердління;

$l_{\text{пер}}$ – величина перебігу свердла;

$l_{\text{зап}}$ – запас на переточку інструменту.

Глибина обробки першої ступені отвору, що зображений на рис. 2.6 буде рівною $l_p = 12$ мм.

Величина перебігу свердла за рекомендаціями [33, с.7] буде рівною $l_{\text{пер}} = 2 \dots 3$ мм. Приймаємо для розрахунків $l_{\text{пер}} = 2$ мм.

Запас на переточку інструменту визначається за наступною формулою:

$$l_{\text{зап}} = 0,55D_1 \quad (2.23)$$

Де, $D_1 = 7$ мм – діаметр першої ступені отвору.

Тоді, запас на переточку рівний:

$$l_{\text{зап}} = 0,55 \times 7 = 3,85 \text{ мм} \approx 4 \text{ мм}$$

Отже, довжина першої ступені інструменту становить:

$$L_1 = 12 + 2 + 4 = 18 \text{ мм}$$

Довжина другої ступені інструменту є рівною глибині обробки другої ступені отвору без врахування фаски та становить $L_2 = 16 \text{ мм}$.

Отже, загальна довжина свердла буде рівною:

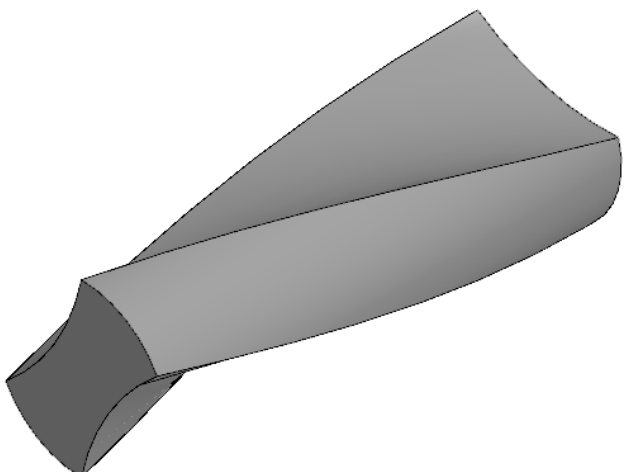
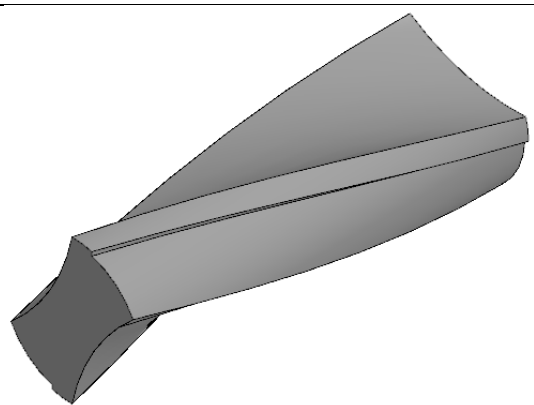
$$L = 18 + 16 + 0,3 + 80 + 0 + 10 + 2 \times (18 + 16) + 20 = 212,3 \text{ мм}$$

2.4 Побудова 3D моделі комбінованого свердла

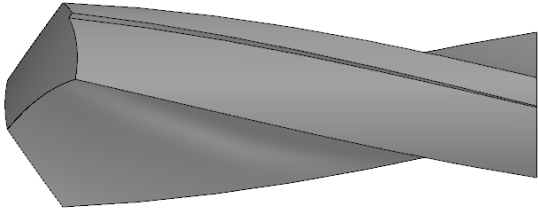
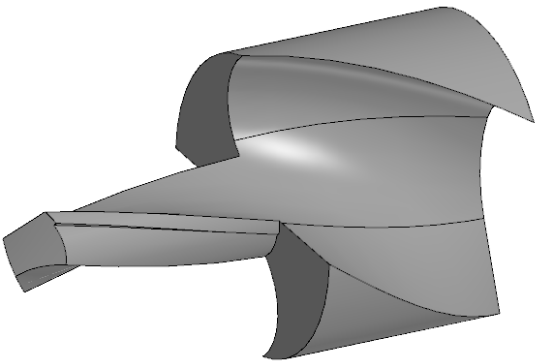
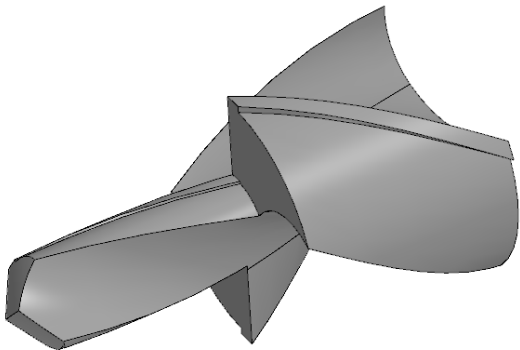
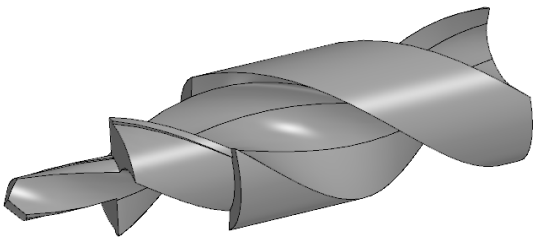
Виконаємо побудову 3D моделі комбінованого 3-ьох ступінчатого свердла в системі автоматизованого проектування КОМПАС-3D.

Всі операції та етапи зобразимо в табл. 2.1.

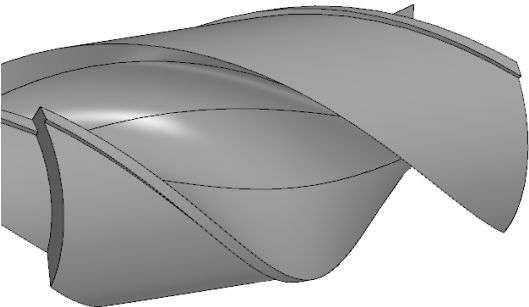
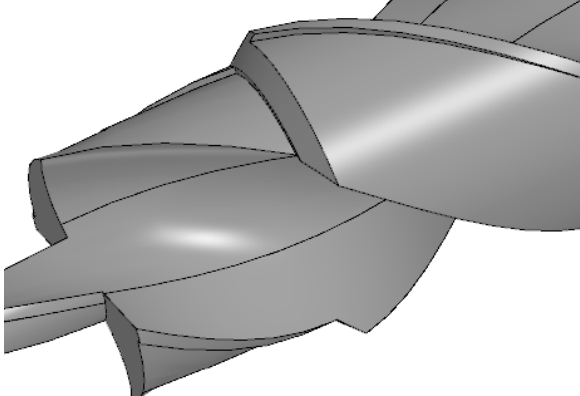
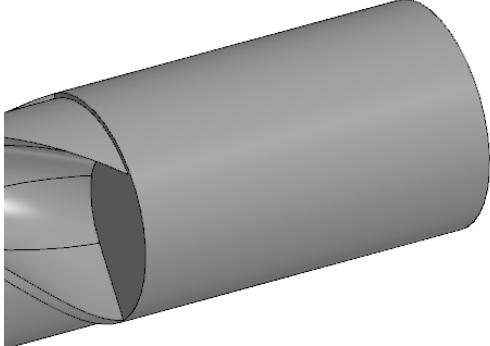
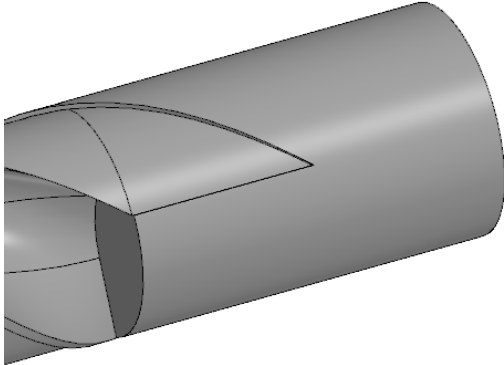
Таблиця 2.1 – Етапи побудови 3D-моделі свердла 3-ьох ступінчатого

№	Опис етапу побудови	Відображення операції
1	2	3
1	Побудуємо торцевий переріз меншого діаметру свердла та виконаємо за допомогою операції «Елемент по траєкторії» побудову частини свердла для обробки меншого діаметру.	
2	За допомогою операції «Елемент по траєкторії» побудуємо стрічку свердла. За допомогою операції «Масив по концентричній сітці» побудуємо стрічку з протилежної сторони свердла.	

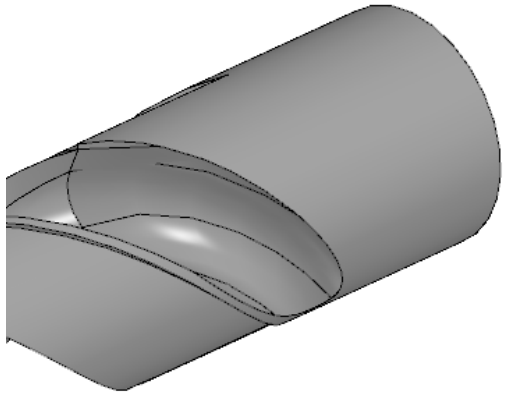
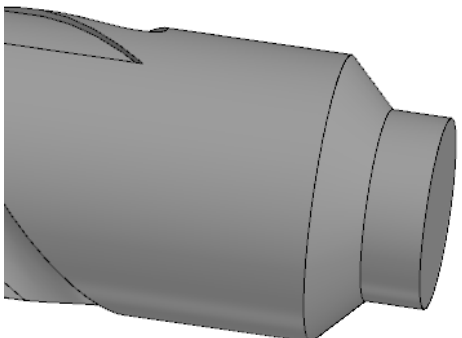
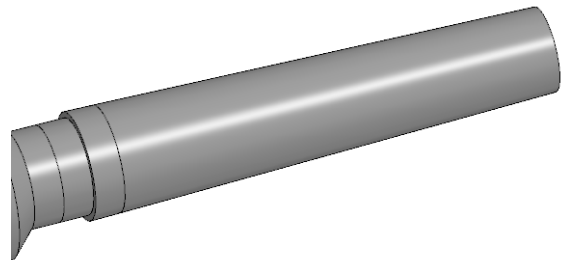
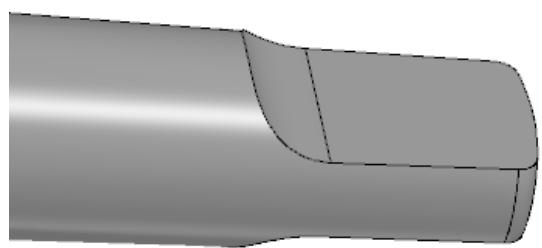
Продовження таблиці 2.1

1	2	3
3	Побудуємо на зміщеній площині відносно базових ескіз, який за допомогою операції «Елемент обертання» та «Масив по концентрованій вісі» утворить головний кут в плані 2φ та задній кут свердла α.	
4	Побудуємо торцевий переріз більшого діаметру свердла та виконаємо за допомогою операції «Елемент по траєкторії» побудову частини свердла для обробки більшого діаметру.	
5	За допомогою операції «Елемент по траєкторії» побудуємо стрічку свердла. За допомогою операції «Масив по концентричній сітці» побудуємо стрічку з протилежної сторони свердла.	
6	Побудуємо торцевий переріз частини свердла для виведення стружки після обробки та виконаємо за допомогою операції «Елемент по траєкторії» побудову частини свердла для виведення стружки після обробки.	

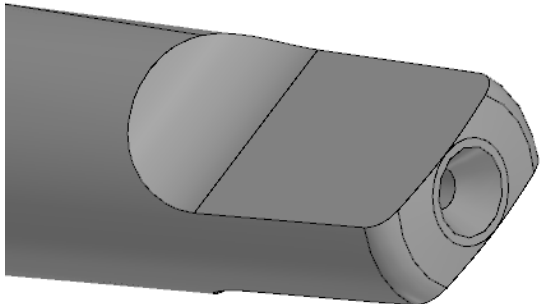
Продовження таблиці 2.1

1	2	3
7	За допомогою операції «Елемент по траєкторії» побудуємо стрічку свердла. За допомогою операції «Масив по концентричній сітці» побудуємо стрічку з протилежної сторони свердла.	
8	За допомогою операції «Елемент обертання» вирізаємо фаску на різальній частині при переході більшого діаметру до частини свердла, що призначена для виведення стружки.	
9	За допомогою операції «Елемент видавлювання» побудуємо частину каліброваної частини свердла.	
10	За допомогою операції «Елемент по траєкторії» та операції «Елемент видавлювання» побудуємо вихід інструменту при обробці стрічки. За допомогою операції «Масив по концентричній сітці» побудуємо вихід інструменту при обробці стрічки з протилежної сторони.	

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
11	За допомогою операції «Елемент по траєкторії» та операції «Елемент видавлювання» побудуємо вихід інструменту при обробці канавки. За допомогою операції «Масив по концентричній сітці» побудуємо вихід інструменту при обробці канавки з протилежної сторони.	
12	За допомогою операції «Елемент обертання» побудуємо шийку частини свердла, що виготовлена зі швидкорізальної сталі та фаску переходу діаметрів.	
13	За допомогою операції «Елемент обертання» побудуємо хвостовик з конусом Морзе.	
14	За допомогою операції «Елемент видавлювання» та «Масив по концентричній сітці» побудуємо лапку хвостовика. Виконаємо за допомогою операції «Округлення» округлення кромки лапки хвостовика.	

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
15	За допомогою операції «Елемент обертання» побудуємо центровий отвір на лапі хвостовика.	

Побудована 3D-модель свердла зображена на рис. 2.9.

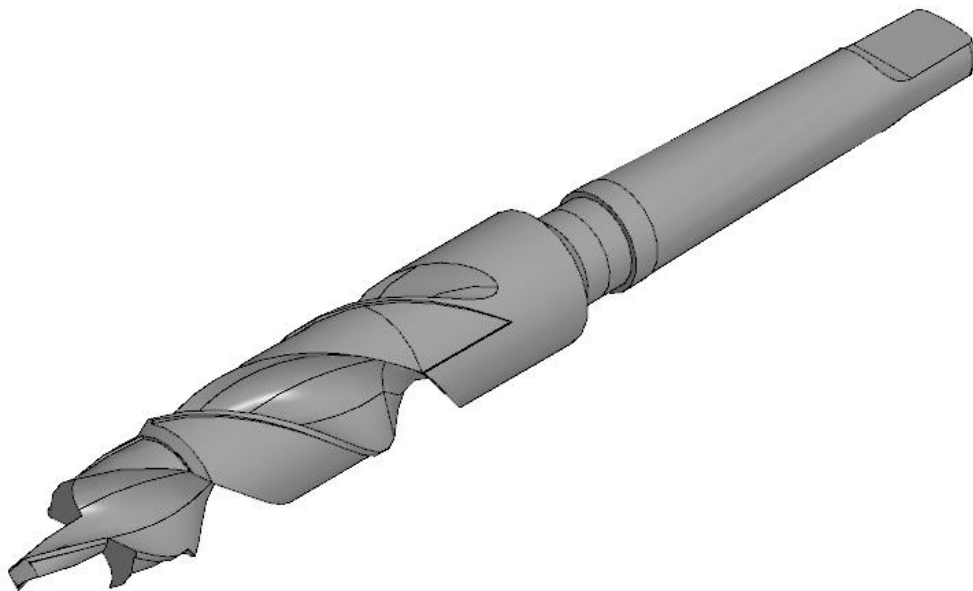


Рисунок 2.9 – 3D-модель комбінованого свердла

2.5 Перевірка свердла на стійкість

2.5.1 Аналітичний метод перевірки свердла на стійкість

В процесі роботи свердло можна розглядати як вертикальний стержень, на котрий діє осьова сила. Під дією цієї сили свердло може втратити стійкість, тобто вісь свердла відхилиться від вертикалі. Втрата стійкості свердла приводить до погіршення точності обробки отвору або до поломки

інструменту. Осьова сила, котру витримує свердло без втрати стійкості, називають критичною стискною силою $P_{кр}$.

Повинна виконуватись умова:

$$P_{кр} > kP_0 \quad (2.24)$$

Де, $P_0 = 979,61$ Н – сумарне осьове зусилля різання;

k – коефіцієнт форми переточки.

Коефіцієнт форми переточки k за рекомендаціями [33, с.8] при відсутності підточки перемички $k = 1,3$.

Критична стискна сила залежить від площі поперечного перерізу свердла і його вильоту та визначається за наступною формулою:

$$P_{кр} = \mu \frac{EI_{min}}{(L_1 + L_2 + L_\phi)^2} \quad (2.25)$$

Де, E – модуль пружності матеріалу свердла;

I_{min} – мінімальний момент інерції перерізу свердла;

L_1, L_2, L_ϕ – довжини ступенів свердла та фаски;

μ – коефіцієнт критичного навантаження.

За [40] модуль пружності матеріалу свердла, а саме швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 становить $E = 2,2 \cdot 10^5$ МПа.

Мінімальний момент інерції перерізу свердла I_{min} для круглого перерізу свердла визначається за наступною формулою:

$$I_{min} = 0,039D_1^4 = 0,039 \times 7^4 = 93,64 \text{ мм}^4 \quad (2.26)$$

Значення коефіцієнту критичного навантаження залежить від осьових зусиль, що виникають на різних ступенях свердла.

$$\text{При } \frac{P_{01}+P_{02}}{P_{01}} = \frac{773,87+205,74}{773,87} = 1,27 \text{ за [33, табл.5, с.8]} \mu = 9,77.$$

Отже, критична стискна сила буде рівною:

$$P_{кр} = 9,77 \times \frac{2,2 \cdot 10^5 \times 93,64}{(18+16+0,3)^2} = 171076,5 \text{ Н}$$

Визначимо, чи виконується умова стійкості свердла:

$$171076,5 > 1,3 \times 979,61 \rightarrow 171076,5 > 1273,5$$

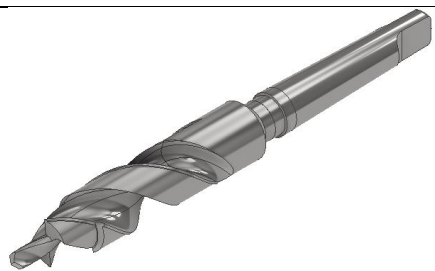
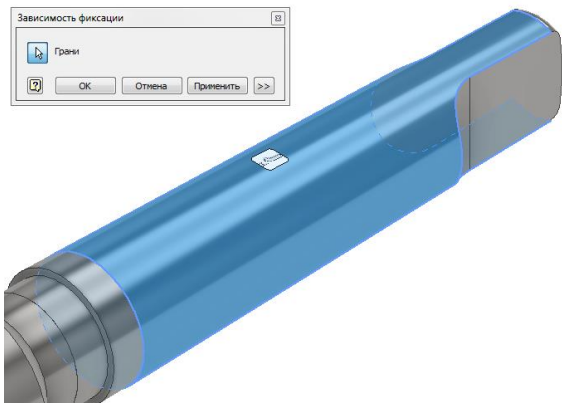
Умова стійкості свердла при виконанні свердління ступінчатого отвору з фаскою виконується, а отже виникає аналітичне підтвердження можливості виконання даної операції, оскільки інструмент не втратить своїх властивостей під час обробки.

2.5.2 Симуляція навантаження на свердло

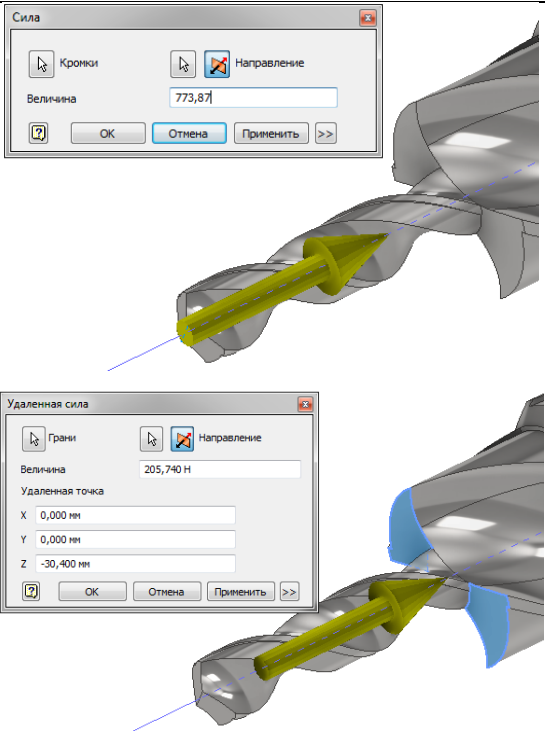

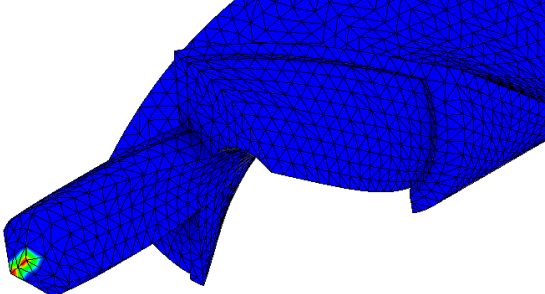
Здійснимо симуляцію навантаження на різальну кромку та безпосередньо на саме тіло свердла, як зазначено в п.1.6, в системі автоматизованого проектування «Autodesk Inventor».

Всі етапи симуляції зобразимо в табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Етапи виконання симуляції навантаження

№	Опис етапу побудови	Відображення етапу
1	2	3
1	Призначаємо матеріал інструменту в системі як «Сталь легована».	
2	Зафіксуємо положення інструменту при навантаженні в хвостовику.	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
3	Прикладемо осьове зусилля $P_{0_1} = 773,87$ Н в центр поперечної кромки вздовж вісі інструменту та $P_{0_2} = 205,74$ Н в центр інструменту при зміні діаметру свердла	
4	Генеруємо сітку кінцевих елементів з середнім розміром 0,01 мм.	
5	Виконаємо моделювання заданого навантаження (зображено тип напруження по Мізесу)	

Аналізуючи карту навантажень, інструмент витримує задане навантаження. Звіт системи автоматизованого проектування «Autodesk Inventor» зображений в Додатку №2.

3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВЕРЛА 3-ЬОХ СТУПІНЧАТОГО

Одним із найважливіших етапів проектування різального інструменту являється розробка технологічного процесу його виготовлення. В даному розділі виконаємо наступні кроки:

- Аналіз технічних вимог на виготовлення свердла 3-ьох ступінчатого для обробки алюмінієвих профілів;
- Вибір заготовки для інструменту;
- Маршрут обробки поверхонь інструменту;
- Розрахунок припусків на обробку;
- Розробка маршрутно-операційної технології виготовлення свердла;
- Розрахунки режимів різання на операції.

3.1 Аналіз технічних вимог на виготовлення інструменту

Аналізуючи креслення свердла 3-ьох ступінчатого для обробки алюмінієвих профілів, можна прийти до висновку, що до технічних вимог можна віднести:

- Точність та шорсткість різальної геометрії;
- Точність та шорсткість хвостовика;
- Точність пайки різальної та хвостової частин;
- Твердість різальної та хвостової частини.

Точність та шорсткість різальної геометрії (задня поверхня трьох різальних ступенів свердла, гвинтова канавка) забезпечується завдяки операції шліфування вище зазначених поверхонь.

Точність та шорсткість хвостовика (виконання конусу Морзе №2 ГОСТ 25557-82 забезпечується шляхом подвійного шліфування (попереднього та остаточного).

Згідно робочого креслення інструменту, різальна та хвостова частина свердла повинна піддаватись термічній обробці для забезпечення необхідної твердості елементів свердла.

3.2 Вибір заготовки для інструменту

Заготовкою в машинобудуванні називають предмет праці, з якого шляхом зміни форми, розмірів, властивостей поверхонь та (або) матеріалу виготовляють деталь. Заготівельне виробництво являється невід'ємною початковою фазою будь якого машинобудівного виробництва. [41]

Заготовку прийнято розрізняти по виду, що відображає характерні особливості базового технологічного методу їх виготовлення. Розділяють наступні види заготовок:

- Заготовки, котрі отримуються ливарним шляхом (відливки);
- Заготовки, що отримуються шляхом впливу тиску на неї (ковані та штамповані заготовки);
- Заготовки із прокату;
- Зварні та комбіновані заготовки;
- Заготовки, що отримуються методом порошкової металургії. [41]

В основу вибору заготовок для подальшої механічної обробки вкладаються наступні міркування:

- Забезпечення найменшої витрати металу при виготовленні заготовок та при наступній її механічній обробці;
- Забезпечення найменших затрат праці та коштів на виготовлення заготовок та на при наступній її механічній обробці. [42]

Так як свердло 3-ьох ступінчате для обробки алюмінієвих профілів являється стержневим інструментом, отже, за рекомендаціями найбільш доцільно використовувати в якості заготовки для різальної та хвостової частини сортовий прокат попередньо розрахованого та стандартизованого розміру.

Як зазначено в п. 2.4.2 триступінчатє свердло буде виготовлятись зварним. Матеріал різальної частини – швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73, твердість за Роквелом 62 ... 65 HRC. Хвостовик виготовлятиметься з конструкційної легованої сталі 40Х ГОСТ 1050-88, твердість за Роквелом 40 ... 50 HRC.

3.3 Маршрут обробки поверхонь інструменту

Для подальшого проектування маршрутно-операційної технології виготовлення свердла необхідно визначитись, які саме поверхні та як вони можуть бути оброблені для досягнення результату, що зображений на робочому кресленні інструменту.

Зобразимо маршрут обробки поверхонь свердла 3-ьох ступінчатого для обробки алюмінієвих профілів в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Маршрут обробки поверхонь свердла

#	Поверхня	Маршрут обробки
1	2	3
1	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 7h9$	1. Точіння попереднє; 2. Точіння остаточне; 3. Шліфування по діаметру зі зворотнім конусом
2	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 20h9$	1. Точіння попереднє; 2. Точіння остаточне; 3. Шліфування по діаметру зі зворотнім конусом
3	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 24h9$	1. Точіння попереднє; 2. Точіння остаточне; 3. Шліфування по діаметру зі зворотнім конусом.

Продовження Таблиці 3.1

1	2	3
4	Лапка хвостовика	1. Фрезерування однократне.
5	Хвостовик (конус Морзе №2 ГОСТ 25557-82)	1. Точіння попереднє; 2. Точіння остаточне; 3. Шліфування однократне.
6	Шийка	1. Точіння попереднє; 2. Точіння після пайки.
7	Гвинтова канавка	1. Фрезерування однократне; 2. Шліфування однократне.
8	Шийка зі сторони хвостовика (місце зварювання різальної та хвостової частин)	1. Точити однократно.
9	Центровий отвір з хвостовика	1. Центрувати отвір.
10	Центровий виступ різальної частини	1. Точити виступ.
11	Стрічка поверхні $\varnothing 7h9$	1. Шліфувати однократно.
12	Стрічка поверхні $\varnothing 20h9$	1. Шліфувати однократно.
13	Стрічка поверхні $\varnothing 24h9$	1. Шліфувати однократно.
14	Задня поверхня різальної частини	1. Заточити по задній поверхні

3.4 Розрахунок припусків на обробку

Для визначення розмірів сортового прокату, з якої буде виготовлятися заготовка, необхідно визначити припуски на обробку.

Загальний припуск на обробку – це шар матеріалу (товщина шару), що видаляється з вихідної поверхні заготовки в процесі виконання технологічного процесу з ціллю отримання готової деталі. Встановлення правильної товщини

припусків на обробку є відповідальним техніко-економічним завданням. Призначення надмірно великих припусків призводить до втрат матеріалу, що перетворюється в стружку; до збільшення пружної деформації технологічної системи верстат-притосування-інструмент-заготовка внаслідок збільшення сили різання, а значить і до зменшення точності обробки; до збільшення трудомісткості механічної обробки (якщо припуск більше максимально допустимої глибини різання і доводиться його видаляти за кілька проходів); ускладнюється застосування пристосувань внаслідок збільшення сили різання; до підвищення витрати різального інструменту і електричної енергії; до збільшення потреби в обладнанні і робочій силі. [43]

Визначимо припуски на механічну обробку для однієї із точних поверхонь користуючись розрахунковим аналітичним методом.

Виконаємо розрахунки припусків для обробки зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 24h10$ та з шорсткістю $Ra = 1,25$ мкм.

Визначення припуску на механічну обробку зовнішньої циліндричної поверхні здійснюється при використанні ряду залежностей.

Максимальний припуск на механічну обробку $2Z_{max}$ визначається як:

$$2Z_{i_{max}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_1^2}) \quad (3.1)$$

Де, Rz_{i-1} – висота мікронерівностей профілю;

Δ_{i-1} – сумарне значення просторових відхилень для елементарної поверхні на попередньому переході обробки деталі;

ε_1 – похибка установки заготовки при виконуваному переході обробки деталі;

h_{i-1} – глибина дефектного шару поверхні деталі.

Мінімальний припуск на механічну обробку $2Z_{i_{min}}$ визначається як:

$$2Z_{i_{min}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_1^2}) \quad (3.2)$$

Де, Rz_{i-1} – висота мікронерівностей профілю;

Δ_{i-1} – сумарне значення просторових відхилень для елементарної поверхні на попередньому переході обробки деталі;

ε_1 – похибка установки заготовки при виконуваному переході обробки деталі;

h_{i-1} – глибина дефектного шару поверхні деталі.

Похибка установки оброблюваної заготовки ε визначається як:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_\delta^2 + \varepsilon_3^2} = 0 \quad (3.3)$$

Де, ε_δ – похибка, що виникає внаслідок розбіжності установочної та вимірювальної баз заготовки;

ε_3 – похибка закріплення.

При встановленні заготовки в 3-ьох кулачковий самоцентрувальний патрон, похибка закріплення становить $\varepsilon_3 = 0$. Також, в такому випадку установочна та вимірювальна база співпадають, тому похибка внаслідок розбіжності цих баз становить $\varepsilon_\delta = 0$.

Просторове відхилення Δ визначається як:

$$\Delta_{\text{заг}} = \Delta_K \times L = 130 \times 0,4 = 52 \text{ мкм} \quad (3.4)$$

Де, Δ_K – загальна кривизна заготовки;

L – довжина заготовки.

За [44] табл. 4 с.180 при характеристиці прокату як без правки при підвищеній точності прокату та при його довжині 120 ... 180 мм кривизна профілю сортового прокату становить $\Delta_K = 0,4$.

Приймаємо довжину заготовки різальної частини, аналізуючи робоче креслення свердла, рівною $L = 130$ мм.

Величина остаточного просторового відхилення визначається за наступною формулою:

$$\Delta_{\text{ост}} = K_y \times \Delta_{\text{заг}} \quad (3.6)$$

Де, K_y – коефіцієнт уточнення на операції.

За [44] табл. 294 с.190 коефіцієнти уточнення становлять:

- Для попереднього точіння – $K_y = 0,06$;

- Для остаточного точіння – $K_y = 0,04$;
- Для однократного шліфування – $K_y = 0,03$.

Тоді, остаточне просторове відхилення для різних операцій становлять:

- Для попереднього точіння – $\Delta_{\text{ост}} = 0,06 \times 52 = 3,12$ мкм;
- Для остаточного точіння – $\Delta_{\text{ост}} = 0,04 \times 52 = 2,08$ мкм;
- Для однократного шліфування – $\Delta_{\text{ост}} = 0,03 \times 52 = 1,56$ мкм.

За [44] табл. 4 с.180 висота мікронерівностей профілю R_a та глибина поверхневого дефектного шару h для всіх операцій становлять:

- Прокат підвищеної точності – $R_a = 125$ мкм, $h = 150$ мкм;
- Для попереднього точіння – $R_a = 63$ мкм, $h = 60$ мкм, IT14;
- Для остаточного точіння – $R_a = 32$ мкм, $h = 30$ мкм, IT12;
- Для однократного шліфування – $R_a = 10$ мкм, $h = 20$ мкм, IT10.

Тоді, мінімальний проміжний припуск $2Z_{i_{\min}}$ за (3.1) буде рівний:

- Попереднє точіння:

$$2Z_{\min} = 2 \times (125 + 150 + \sqrt{52^2 + 0^2}) = 2 \times 327 \text{ мкм} = 654 \text{ мкм}$$

- Остаточне точіння:

$$2Z_{\min} = 2 \times (63 + 60 + \sqrt{3,12^2 + 0^2}) = 2 \times 126,12 \text{ мкм} = 252,24 \text{ мкм}$$

- Однократне шліфування:

$$2Z_{\min} = 2 \times (32 + 30 + \sqrt{2,08^2 + 0^2}) = 2 \times 64,08 \text{ мкм} = 128,16 \text{ мкм}$$

Отже, розрахункові розміри за операціями механічної обробки будуть складати:

- Однократне шліфування – $\varnothing 24$ мм;
- Остаточне точіння – $\varnothing 24,128$ мм;
- Попереднє точіння – $\varnothing 24,38$ мм;
- Заготовка – $\varnothing 25,034$ мм.

Результати розрахунків зведемо до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Розрахункові значення припусків обробки

Етап обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск Z_{min} , мкм	Розрахунковий \min розмір, мм	Допуск δ , мкм	Граничні (округлені) розміри, мм		Граничні значення припусків, мм	
	R_a	h	Δ	ε				min	max	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 24_{-0,084}$											
Заготовка	125	150	52	-	-	25,1	700	25,1	25,8	-	-
Точіння попереднє	63	60	3,12	-	654	24,38	520	24,4	24,9	0,7	0,9
Точіння остаточне	32	30	2,08	-	252,24	24,13	210	24,13	24,34	0,27	0,56
Шліфу- вання попереднє	10	20	1,56	-	128,46	24	84	23,92	24	0,21	0,14
										1,08	1,6

Визначимо значення номінального припуску за наступною формулою:

$$Z_{O \text{ ном}} = Z_{O \text{ min}} + H_z - H_d = 1,08 + 0,5 - 0,084 = 1,496 \text{ мм} \quad (3.7)$$

Де, H_z і H_d – нижнє відхилення по розмірам відповідно заготовки і деталі.

За [45] для прокату $\varnothing 26$ мм підвищеної точності допуски становлять $+0,2/-0,5$ мм. Тоді, $H_z = 0,5$ мм

Номінальний розмір заготовки рівний:

$$d_{z \text{ ном}} = d_{d \text{ ном}} + Z_{O \text{ ном}} = 24 + 1,496 = 25,496 \text{ мм} \quad (3.8)$$

Тому необхідно прийняти в якості заготовки сортовий прокат підвищеної точності $\varnothing 25,496$ мм. Але за [45] такого діаметру прокату не існує. Тоді приймаємо в якості заготовки прокат $\varnothing 26$ мм враховуючи різницю 0,504 мм. Ця різниця буде врахована при точінні попередньому для того, щоб зберегти припуски на подальші операції, що розраховані вище.

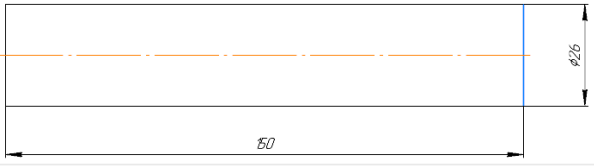
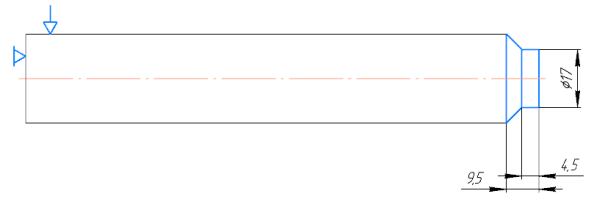
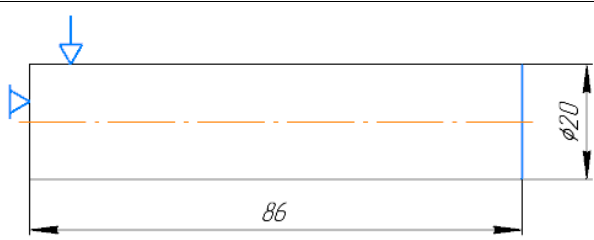
Отже, приймаємо в якості заготовки прокат підвищеної точності з Ø26 мм.

3.5 Розробка маршрутно-операційної технології виготовлення свердла



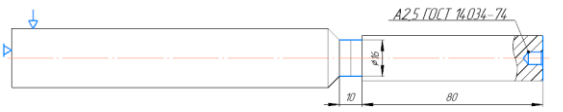

Виконаємо розробку маршрутно-операційної технології виготовлення свердла 3-ьох ступінчатого для обробки алюмінієвих сплавів.

Маршрутно-операційна технологія зобразимо в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Маршрутно-операційна технологія

Назва операції, порядок та зміст операції (переходів)	Ескіз операції	Режими різання			Верстатне обладнання, різальний та вимірювальний інструмент
		S	n	V	
1	2	3	4	5	6
<u>005 Відрізна</u> Відрізати заготовку робочої частини		0,02 мм/об	-	20 м/хв	Верстат відрізний 1104ИР.01, відрізний дисковий круг, лінійка
<u>010 Токарна</u> Точити шийку та підрізати торець під зварювання тертям		0,4 мм/об	1200 об/хв	91,26 м/хв	Токарний верстат 16К20, різець підрізний, різець прохідний, штангенциркуль
<u>015 Відрізна</u> Відрізати заготовку хвостової частини		0,02 мм/об	-	20 м/хв	Верстат відрізний 1104ИР.01, відрізний дисковий круг, лінійка

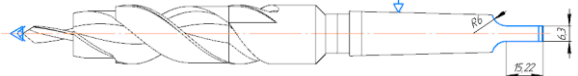
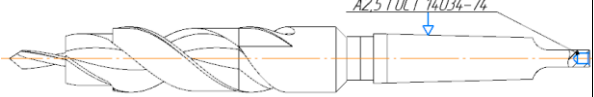
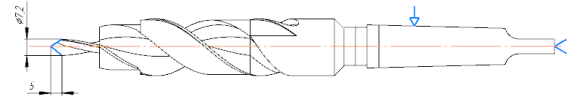
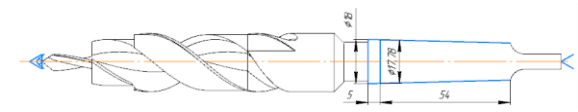
Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6
<u>020 Токарна</u> Точити шийку та підрізати торець під зварювання тертям		0,1 мм/об	1000 об/хв	81,68 м/хв	Токарний верстат 16К20, різець підрізний, різець прохідний, штангенциркуль
<u>025 Зварна</u> Зварювати робочу та хвостову частини тертям		-	-	-	Зварювальний автомат ВНИИ С-2, штангенциркуль
<u>030 Термічна</u> Відпал отриманої заготовки після зварювання	-	-	-	-	Піч з нейтральною атмосферою
<u>035 Токарна</u> Точити шийку після зварювання, підрізати торець хвостової частини, центрувати хвостову частину		0,3 мм/об	1250 об/хв	62,83 м/хв	Токарний верстат 16К20, різець підрізний, різець прохідний, центрове свердло, штангенциркуль
<u>040 Токарна</u> Точити зворотній конус робочої частини		0,26 мм/об	800 об/хв	65,35 м/хв	Токарний верстат 16К20, різець прохідний, штангенциркуль

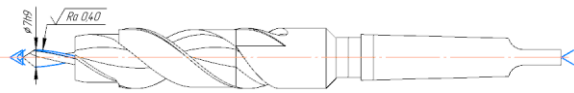

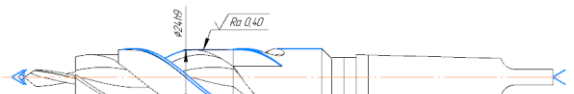
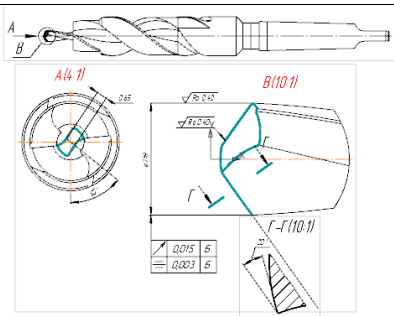
Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6
<p><u>045 Токарна з ЧПК</u></p> <p>Точити робочу частину, хвостову частину під конус Морзе</p>		0,1 мм/об	1000 об/хв	78,54 м/хв	Токарний верстат з ЧПК 16К20Ф3, різець контурний, штангенциркуль
<p><u>050 Фрезерна</u></p> <p>Фрезерувати стружкові канавку та спинку свердла</p>		0,125 мм/об	130 об/хв	34,3 м/хв-	Горизонтально-фрезерний верстат 6Р82, фреза дискова профільна, калібр
<p><u>055 Токарна</u></p> <p>Точити ступінь Ø7,2 мм та Ø20,2 мм на робочій частині свердла</p>		0,22 мм/об	1000 об/хв	62,83 м/хв	Токарний верстат 16К20, різець прохідний, штангенциркуль
<p><u>060 Шліфувальна</u></p> <p>Шліфувати спинку свердла</p>		0,005 мм/об	1600 об/хв	35 м/с	Різьбо-шліфувальний верстат 5822, шліфувальний круг, мікрометр

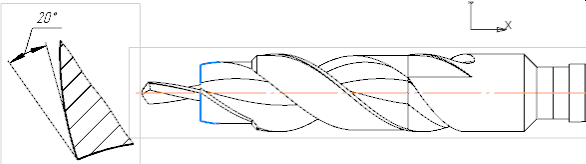
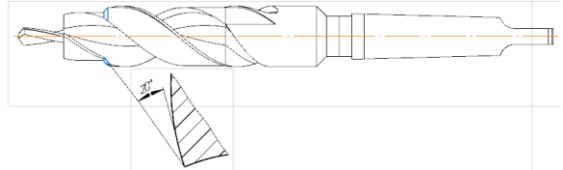
Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6
<u>065 Фрезерна</u> Фрезерувати хвостовика лапку		0,2 мм/об	800 об/хв	22,46 м/хв	Горизонтально-фрезерний верстат 6Р82, фреза циліндрична, штангенциркуль
<u>070 Термічна</u> Гартувати деталь	-	-	-	-	Піч з нейтральною атмосферою
<u>075 Токарна</u> Поновлення центра хвостової частини		0,08 мм/об	2000 об/хв	21 м/хв	Токарний верстат 16К20, зенківка
<u>080 Токарна</u> Поновлення центра робочої частини		0,26 мм/об	800 об/хв	65,35 м/хв	Токарний верстат 16К20, прохідний різець
<u>085 Шліфувальна</u> Шліфувати хвостову частину		0,024 мм/об	2500 об/хв	35 м/с	Круглошліфувальний верстат 3Б12, шліфувальний круг, мікрометр

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6
<u>090 Шліфувальна</u> Шліфувати робочу частину $\varnothing 7h9$ зі зворотною конусністю		0,034 мм/об	2200 об/хв	35 м/с	Круглошліфувальний верстат 3Б12, шліфувальний круг, мікрометр
<u>095 Шліфувальна</u> Шліфувати робочу частину $\varnothing 20h9$ зі зворотною конусністю		0,2 мм/об	2200 об/хв	35 м/с	Круглошліфувальний верстат 3Б12, шліфувальний круг, мікрометр
<u>100 Шліфувальна</u> Шліфувати робочу частину $\varnothing 24h9$ зі зворотною конусністю		0,018 мм/об	2200 об/хв	35 м/с	Круглошліфувальний верстат 3Б12, шліфувальний круг, мікрометр
<u>105 Заточувальна</u> Заточити робочу частину $\varnothing 7h9$ по задній площині		2 мм/хв 0,03 мм/по дв.хів	-	30 м/хв	Універсально- заточувальний верстат 3Е642, Круг алмазний чашковий

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6
<u>110 Заточувальна</u> Заточити робочу частину $\varnothing 20h9$ по задній площині		2 мм/хв 0,03 мм/по дв.хів	-	30 м/хв	Універсально- заточувальний верстат 3Е642, Круг алмазний чашковий
<u>115 Заточувальна</u> Заточити перехід між робочою частиною $\varnothing 20h9$ та $\varnothing 24h9$ по задній площині		-	-	-	Універсально- заточувальний верстат 3Е642, Круг алмазний чашковий
<u>120 Маркувальна</u> Маркувати свердло згідно робочого креслення	-	-	-	-	Гравіювальний верстат Foton HH30
<u>125 Контрольна</u> Контролювати розміри згідно робочого креслення	-	-	-	-	Набір вимірювальних інструментів

3.6 Розрахунок режимів різання

Виконаємо розрахунок режимів різання для 3-ьох операцій/переходів, що вказані в технологічному виготовленні свердла триступінчатого для обробки отвору в алюмінієвих профілях.

3.6.1 Операція 010 Токарна – Перехід «Підрізати торець»

В якості різального інструменту виступає різець прохідний з механічним кріпленням пластинки 2102-1321 ГОСТ 24996-81 тип 9.

Під час даного переходу здійснюється підрізка торця на довжину 1 мм. Отже, глибина різання при виконанні даного переходу становитиме $t = 1$ мм.

Подача за [34], табл. 15, с. 268 при діаметрі обробки 20 ... 40 мм та обробці швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73, $S^* = 0,1 \dots 0,12$ мм/об. Приймаємо остаточно подачу при підрізанні торця рівною $S = 0,1$ мм/об.

Швидкість різання при виконанні переходу визначається:

$$V = \frac{C_V}{T^m t^x S_o^y} K_V = \frac{47}{60^{0,2} \times 0,5^0 \times 0,1^{0,8}} \times 0,66 = 86,24 \text{ м/хв} \quad (3.9)$$

Де, T – стійкість різального інструменту;

C_V, m, x, y – табличні коефіцієнт та показники степенів при визначенні швидкості різання;

K_V – поправочний табличний коефіцієнт при визначенні швидкості різання.

За [34], с. 268 при обробці одним інструментом $T = 60$ хв.

Табличні коефіцієнт та показники степенів при визначенні швидкості різання при обробці різцем за [34], табл. 17, с. 269 при підрізанні торця швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 - $C_V = 47, m = 0,2, x = 0, y = 0,8$.

Поправочний табличний коефіцієнт при визначення швидкості різання визначається:

$$K_V = K_{MV} K_{PV} K_{IV} K_{\varphi} = 0,86 \times 0,9 \times 0,95 \times 0,8 = 0,66 \quad (3.10)$$

Де, K_{MV} – табличний коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки;
 K_{PV} – табличний коефіцієнт, що враховує стан поверхні;
 K_{IV} – табличний коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;
 K_{φ} – табличний коефіцієнт, що враховує кут в плані різця;

Табличний коефіцієнт, котрий враховує матеріал заготовки, а саме швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73, визначаємо за [34], табл. 1, с. 261 за формулою:

$$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V} = 0,9 \times \left(\frac{750}{900} \right)^{0,3} = 0,86 \quad (3.11)$$

Де, K_r – табличний коефіцієнт, що характеризує групу сталі по можливості оброблювати;
 n_V – табличний показник степені;
 σ_B – границя міцності при розтязі.

За [47] границя міцності при розтязі для сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 - $\sigma_B = 900$ МПа.

При обробці швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 різцем із різальної частини, що виконана із твердого сплаву Т5К10 ГОСТ 18879-73 за [34], табл. 2, с. 262 - $K_r = 0,9$, $n_V = 0,3$.

Враховуючи стан поверхні заготовки прокат за [34], табл. 5, с. 263 - $K_{PV} = 0,9$.

При обробці швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 та марки інструментального матеріалу твердий сплав Т5К10 ГОСТ 18879-73 за [34], табл. 5, с. 263 - $K_{IV} = 0,95$.

При головному куті в плані за $\varphi = 75^\circ$ за [34], табл. 18, с. 271 - $K_{\varphi} = 0,9$.

Визначимо частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \times 86,24}{\pi \times 26} = 1055,81 \text{ об/хв} \quad (3.12)$$

За паспортними даними верстату приймаємо дійсну частоту обертання шпинделя рівною $n = 1000$ об/хв.

Тоді дійсна швидкість різання становить:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi \times 26 \times 1000}{1000} = 81,68 \text{ м/хв} \quad (3.13)$$

3.6.2 Операція 035 Токарна – Перехід «Центрувати отвір»

В якості різального інструменту виступає свердло центрове комбіноване АЗ,15 ГОСТ 14952-75.

Глибина різання при свердлінні визначається як:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{3,15}{2} = 1,575 \text{ мм} \quad (3.14)$$

Де, D – діаметр обробленого отвору, $D = 3,15$ мм.

Подача інструменту за [34], табл. 25, с. 277 при діаметрі свердла $D = 2 \dots 4$ мм та при обробці швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 - $S^* = 0,06 \dots 0,07$ мм/об. Приймаємо остаточне значення подачі рівним $S = 0,06$ мм/об.

Швидкість різання визначається за наступною формулою:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v = \frac{7 \times 3,15^{0,4}}{8^{0,2} \times 0,06^{0,7}} \times 0,58 = 12,05 \text{ м/хв} \quad (3.15)$$

Де, C_v, q, m, y – табличні коефіцієнт та величини степенів при визначенні швидкості різання для свердління.

T – період стійкості різального інструменту.

K_v – поправочний коефіцієнт при швидкості різання.

За [34] при обробці швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 та подачею $S < 0,2$ мм/об - $C_v = 7, q = 0,4, m = 0,2, y = 0,7$.

За [34], табл. 30, с. 279 при свердлінні швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 свердлом з матеріалом різальної частини – твердий сплав та при діаметрі отвору $D < 5$ мм – період стійкості свердла становить $T = 8$ хв.

Поправочний коефіцієнт при швидкості різання K_v визначається за формулою:

$$K_v = K_{MV} K_{PV} K_{IV} = 0,58 \times 0,9 \times 1 = 0,53 \quad (3.16)$$

Де, K_{MV} – коефіцієнт, що враховує точність оброблюваного матеріалу.

$K_{ПV}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання.

K_{IV} – поправочний коефіцієнт на швидкість різання при свердлінні, що враховує глибину оброблюваного отвору.

Коефіцієнт, що враховує точність оброблюваного матеріалу визначається за формулою (4.11). При обробці швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 свердлом із різальної частини, що виконана із твердого сплаву Т5К10 ГОСТ 18879-73 за [34], табл. 2, с. 262 - $K_r = 0,7$, $n_v = 1$.

Тоді, цей коефіцієнт буде рівним:

$$K_{MV} = 0,7 \times \left(\frac{750}{900}\right)^1 = 0,58$$

Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання вибраний раніше та становить $K_{ПV} = 0,9$.

Поправочний коефіцієнт на швидкість різання при свердлінні, що враховує глибину оброблюваного отвору при довжині отвору $l = 5 \text{ мм} < 3D = 3 \times 3,15 = 9,45 \text{ мм}$ становить $K_{IV} = 1$.

Частоту обертання шпинделя буде становити:

$$n = \frac{1000 \times 12,05}{\pi \times 3,15} = 1217,21 \text{ об/хв}$$

За паспортними даними верстату приймаємо дійсну частоту обертання шпинделя рівною $n = 1250 \text{ об/хв}$.

Тоді дійсна швидкість різання становить:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi \times 3,15 \times 1250}{1000} = 12,37 \text{ м/хв}$$

3.6.3 Операція 085 Шліфувальна

Під час даної операції здійснюється шліфування хвостовика.

В якості різального інструменту виступає шліфувальний круг ПП 200×30×105 5А 50 СМ2 К5 35м/с.

Розрахунок режимів різання для шліфування аналітичним методом включає в собі визначення ефективної потужності, котра виникає при різанні. Ефективна потужність визначається за наступною формулою:

$$N_e = C_N V_3^r S^y d^q t^x = 2,65 \times 35^{0,5} \times 0,024^{0,55} \times 18^0 \times 0,2^{0,5} = 0,8 \text{ кВт} \quad (3.17)$$

Де, C_N, r, y, q, z – табличний коефіцієнт і показники степенів. За [34] вони становлять $C_N = 2,65, r = 0,5, x = 0,5, y = 0,55, q = 0,$

d – діаметр шліфування, $d = 18$ мм;

t – глибина шліфування, $t = 0,2$ мм;

S – поздовжня подача.

За [34] с. 301 при глибині шліфування $t = 0,2$ мм, поздовжня подача становить $S = 0,5B = 0,5 \times 30 = 15 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \approx 0,024$ мм/об.

3.6.4 Режими різання для решти операцій

Для решти операцій призначаємо режими різання табличним методом. Вкажемо значення режимів в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Режими різання, визначені табличним методом

4 ПОРІВНЯЛЬНІ ВИПРОБОВУВАННЯ

Вибір режимів різання та технологічних умов при обробці різанням значно впливає на шорсткість та точність поверхні, безпосередньо на період стійкості інструменту та час до його повного зношення.

Отже, виконаємо ряд дослідів, в яких визначимо, як на шорсткість оброблюваного отвору впливає інструмент, що використовувався на виробництві раніше, а саме двоступінчате свердло (рис. 2.2) та спроектоване вище тріступінчате свердло (Додаток 1). Також визначимо як на шорсткість та співвісність утворюваних отворів впливає частота обертання шпинделя (швидкість різання) та використання змащувально-охолоджуючого технологічного середовища.

4.1 Інструментарій порівняльних випробувань

Визначимо, яке саме технологічне обладнання необхідне для виконання порівняльних випробувань.

Верстатне обладнання

Свердління ступінчатого отвору для порівняльних випробувань було здійснено на свердлильному верстаті Knuth KGB 30 (рис. 4.1). Його технічні характеристики вказані в табл. 4.1.



Рисунок 4.1 – Свердлильний верстат Knuth KGB 30

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики свердлильного верстату Knuth KGB 30

Діаметр свердління (сталь)	25 мм
Можлива нарізувана різьба (сталь)	M16
Затискна поверхня столу	335 × 385 мм
Хід пінолі	140 мм
Хід столу	460 мм
Діапазон повороту столу	±45°
Хід головки верстату	240 мм
Відстань торець шпинделю - стіл	30 ... 600 мм
Відстань торець шпинделю - основа	1075 мм
Виліт	225 мм
Частота обертання шпинделю	100 ... 2900 $\frac{\text{об}}{\text{хв}}$ – 8 ступенів
Затиск шпинделю	МКЗ / МТЗ
Потужність двигуна головного приводу	0,55 / 0,75 kW / 0,75/1 Hp
Напругення в мережі	400 В
Габарити верстату	470 × 640 × 1670 мм
Маса верстату	270 кг

Різальні інструменти

Як зазначалося вище, в якості різальних інструментів для порівняльних випробовувань використаємо двоступінчате свердло (рис. 2.2) та спроектоване вище триступінчате свердло (Додаток 1).

Порівняльні параметри цих різальних інструментів зведемо в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Параметри різальних інструментів

Інструмент Параметр	Двоступінчате свердло	Триступінчате свердло
1	2	3
Матеріал різальної частини	Швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73	Швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73
Матеріал хвостової частини	Сталь 40Х ГОСТ 1050-88	Сталь 40Х ГОСТ 1050-88
Головний кут в плані	140°	125° ± 2°
Задній кут	15°	20° ± 2°
Кут нахилу стружкової канавки	30°	20°
Кут нахилу поперечного леза	60°	50°

Змащувально-охолоджуюче технологічне середовище

В якості змащувально-охолоджуючого технологічного середовища (ЗОТС) було використана макроемульсія, що виготовлена для застосування при обробці алюмінієвих сплавів LACTUCA MSF 5200 (рис. 4.2) за ISO 6743/7 компанії-виробника «Total Lubrifiants SA» (Франція). Для випробовувань використовувався 20-відсотковий розчин даної макроемульсії.



Рисунок 4.2 – Макроемульсія LACTUCA MSF 5200

Вимірювальний інструмент

В якості вимірювального інструменту для вимірювання шорсткості утворених поверхонь було використано портативний профілометр Mar Surf PS1 з межею вимірювання до 350 мкм (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 - Портативний профілометр Mar Surf PS1

В якості вимірювального інструменту для визначення співвісності двох отворів, що отримали при випробуванні використовувався спеціальне вимірювальне обладнання (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Спеціальне вимірювальне обладнання

4.2 Технологічні умови порівняльних випробовувань

Визначимо режими різання, при котрих будуть проводити випробування, а саме швидкість різання, що визначається за формулою:

$$V_i = \frac{\pi D n_i}{1000} \quad (4.1)$$

Де, n_i – частота обертання шпинделя;

D – діаметр оброблюваного отвору.

Діаметр оброблюваного отвору для дослідження приймаємо рівним більшій ступені отвору, а саме $D = 20$ мм.

Частоти обертання шпинделя для випробувань приймаємо $n_1 = 690$ об/хв та $n_2 = 885$ об/хв.

Тоді швидкості різання становитимуть:

$$V_1 = \frac{\pi D n_1}{1000} = \frac{\pi \times 20 \times 690}{1000} = 43,35 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = \frac{\pi D n_2}{1000} = \frac{\pi \times 20 \times 885}{1000} = 55,61 \text{ м/хв}$$

Для випробовувань подача інструменту здійснювалася в ручну.

Отже, для дослідів, зобразимо дані технологічних умов в табл. 4.3. Основними змінними являються різальний інструмент, швидкість різання V та застосування змащувально-охолоджуючого технологічного середовища.

Таблиця 4.3 – Дані технологічних умови випробувань




Інструмент	№ досліду	Режими оброблення		Наявність ЗОТС
		V , м/хв	S , мм/об	
Двоступінчате свердло	1	43,35	Ручна подача	+
	2			-
	3	55,61		+
	4			-
Триступінчате свердло	1	43,35	Ручна подача	+
	2			-
	3	55,61		+
	4			-

Для кожного досліду виконаємо 3 операцій свердління для отримання більш точних узагальнених результатів.



4.3 Візуальний аналіз результатів випробувань

Виконаємо візуальний аналізу порівняльних випробувань для кожного з дослідів. Дані зведемо до табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Аналіз порівняльних випробовувань

№№ дослідів		Фото зразку	Висновки по дослідах
1	2	3	4
Свердло двоступінчатє	1		Візуальна точність найкраща при використанні даного свердла, помірний шумовий супровід в процесі різання. Найменша температура оброблюваної поверхні. Наявність задирок.
	2		Низька візуальна точність отриманого отвору, процес різання супроводжувався підвищеним шумом. Дуже висока температура оброблювальної деталі. Значний час на обробку. Наявність задирок.
	3		Візуальна точність різа набагато краща. Зменшився шумовий супровід в процесі різання. Знизилась температура оброблювальної деталі. Наявність задирок.
	4		Візуальна точність обробленої поверхні в неналежному стані. Процес різання супроводжувався підвищеним шумом. Дуже висока температура оброблювальної деталі. Наявність задирок.
Свердло триступінчатє	1		Візуальна точність отвору в належному стані, процес різання не супроводжувався значним шумом. Температура деталі відносно низька. Пришвидшений процес різання. Відсутні задирки.
	2		Найкраща візуальна точність поверхні. Відповідає вимогам технологічного виробництва. Шумовий супровід не змінився. Температура деталі залишилась як і на попередньому досліді. Пришвидшений процес різання. Відсутні задирки.

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
Свердло триступінчатє	3		Візуально погана точність. Більший шумовий супровід відносно досліді №2 для даного інструменту. Температура деталі підвищилась. Відсутні задирки.
	4		Візуально краща точність за попередній аналіз. Більший шумовий супровід відносно досліді №2 для даного інструменту. Температура деталі підвищилась. Відсутні задирки.

Проаналізувавши візуальний результат отриманого отвору можна прийти до висновку, що використання триступінчатого свердла при обробці з режимами при частоті обертання шпинделя 690 об/хв та при використанні ЗОТС дає візуально найкращу точність та шорсткість поверхні. А також підвищує продуктивність за рахунок пришвидшення виконання операції свердління при можливості та виключає можливість отримання задирок, внаслідок використання третьої ступені під час обробки, а саме зняття внутрішньої фаски.

4.4 Аналіз результатів вимірювання шорсткості поверхонь

Виконавши вимірювання шорсткості для всіх досліджуваних зразків, фотографії котрих зображені в табл. 4.4, зведемо всі отримані дані до табл. 4.5 та табл. 4.6.

Значення шорсткості для виконання отвору триступінчатим свердлом при режимах різання з частотою обертання шпинделя 885 об/хв й 690 об/хв, та з використанням або без використання ЗОТС внесені до табл. 5.5.

Таблиця 4.5 – Результати вимірювань шорсткості отворів оброблених триступінчатим свердлом

Дослідження №1 (триступінчатє свердло)								
№		885 об/хв	690 об/хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Вибраний отвір для дослідження при $l = 0,8$ мм		
I	1	+		+		0,82	1,028	0,977
	2	+		+		0,571	0,611	0,574
	3	+		+		0,653	0,626	0,666
II	4		+	+		0,435	0,431	0,38
	5		+	+		1,241	1,198	0,997
	6		+	+		0,701	0,506	0,55
III	7	+			+	1,44	1,352	1,426
	8	+			+	2,27	2,081	2,42
	9	+			+	1,946	1,899	1,957
IV	10		+		+	1,475	1,438	1,796
	11		+		+	3,275	2,075	1,764
	12		+		+	0,909	0,914	0,926

Проаналізувавши табл. 4.5 можна прийти до висновку, що найкращу шорсткість після свердління триступінчатим свердлом показує застосування наступних режимів різання – частота обертання шпинделя 690 об/хв та використання ЗОТС. Найгірші результати показуються режими різання - частота обертання шпинделя 885 об/хв та відмова від використання ЗОТС.

Таблиця 4.6 – Результати вимірювань шорсткості отворів оброблених двоступінчатим свердлом

Дослідження №2 (двоступінчате свердло)								
№		885 об/хв	690 об/хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Вибраний отвір для дослідження при $l = 0,8$ мм		
I	1	+		+		0,545	0,569	0,502
	2	+		+		1,006	0,926	1,061
	3	+		+		0,845	0,63	0,703
II	4		+	+		1,236	1,158	1,313
	5		+	+		1,202	0,986	1,537
	6		+	+		1,736	1,322	1,668
III	7	+			+	3,271	3,234	3,288
	8	+			+	3,176	2,507	3,038
	9	+			+	2,284	1,646	1,346
IV	10		+		+	1,85	2,443	2,94
	11		+		+	2,059	1,912	2,175
	12		+		+	2,45	2,296	2,244

Проаналізувавши табл. 4.6 можна прийти до висновку, що найкращу шорсткість після свердління двоступінчатим свердлом показує застосування наступних режимів різання – частота обертання шпинделя 885 об/хв та використання ЗОТС. Найгірші результати показуються режими різання - частота обертання шпинделя 690 об/хв та відмова від використання ЗОТС.

Зобразимо порівняльну діаграму середніх значень шорсткості на рис. 4.5.

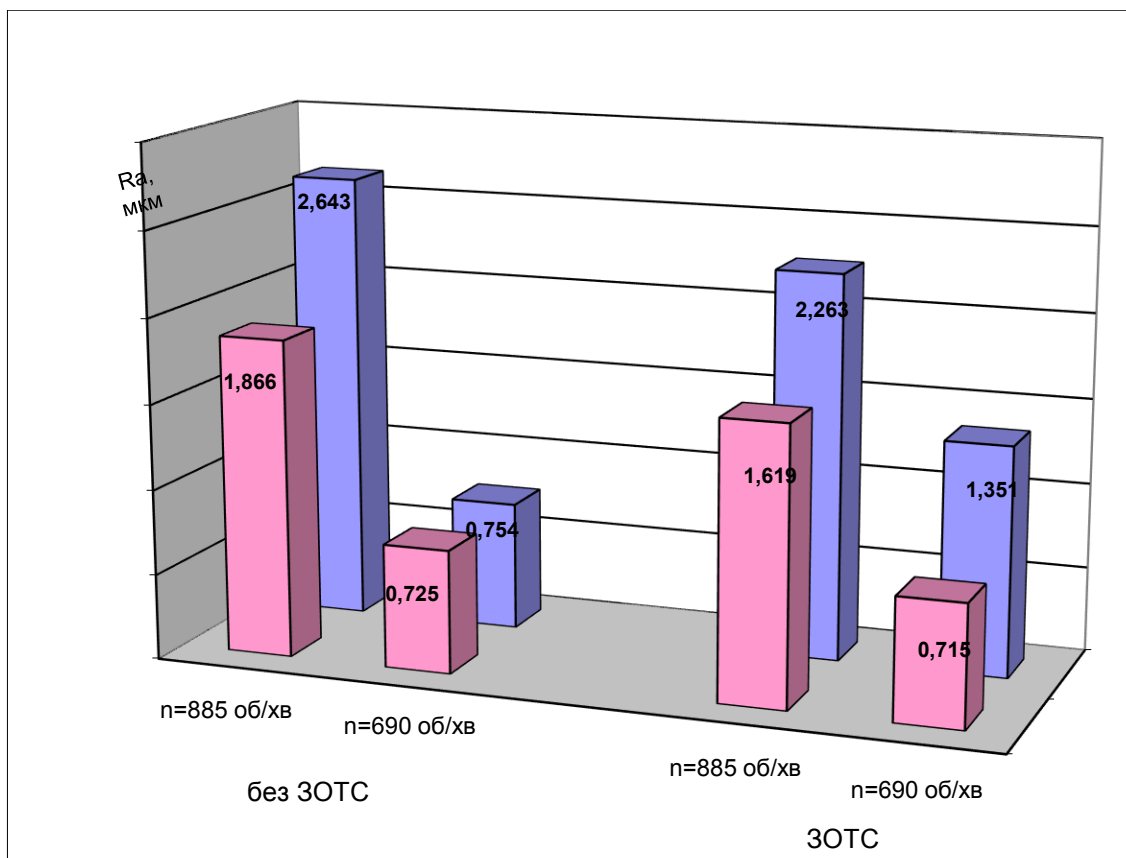


Рисунок 4.5 – Порівняльна діаграма отриманих результатів (рожевий – триступінчатє свердло, фіолетовий – двоступінчатє свердло)

Також було виконано профілограми для всіх досліджуваних зразків. Вони зображені в Додатку 3.

При аналізі отриманих отворів, були виявлені задирки після обробки двоступінчатим свердлом.

Задирки негативно впливають на шорсткість поверхонь, ускладнюють процес складання кріплення в оброблюваний отвір та підвищує шанси отримати поранення під час роботи з даним отвором.

Величини даних задирок в залежності від досліду зображені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Розміри задирок

№	885 об/хв	690 об/хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Розмір задирки при обробці двоступінчатим свердлом	Розмір задирки при обробці триступінчатим свердлом
I	+	-	+	-	0,51 мм	0
II	-	+	+	-	0,44 мм	0
III	+	-	-	+	0,05 мм	0
IV	-	+	-	+	0,05 мм	0

Проаналізувавши найкращі результати дослідів при обробці триступінчатим та двоступінчатим свердлами (табл. 4.5. та табл. 4.6), профілограми отриманих результатів шорсткості, величин утворюваних при обробці задирок, можна прийти до висновку, що використання спроектованого триступінчатого свердла має перевагу на вже використовуваним на підприємстві двоступінчатим свердлом.

4.5 Аналіз результатів вимірювання співвісності отворів

Виконавши вимірювання співвісності отворів для всіх досліджуваних зразків, фотографії котрих зображені в табл. 4.4, зведемо всі отримані дані до табл. 4.8 та табл. 4.9.

Таблиця 4.8 - Результати вимірювань співвісності отворів оброблених триступінчатим свердлом

Дослідження №1 (треступінчатє свердло)										
№		885 об /хв	690 об /хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Координати центру вісі отвору				Δ, мм
						Ø7 мм		Ø20 мм		
						Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	
I	1	+		+		36,54	76,08	36,73	75,40	0,7060
	2	+		+		76,22	76,16	76,89	75,48	0,9546
	3	+		+		116,23	76,38	115,64	75,59	0,9860
II	4		+	+		36,52	116,13	36,68	116,83	0,7181
	5		+	+		76,23	116,32	76,05	117,03	0,7325
	6		+	+		116,02	116,49	115,94	117,18	0,6946
III	7	+			+	38,19	114,84	37,99	115,59	0,7762
	8	+			+	77,86	115,21	77,46	115,94	0,8324
	9	+			+	117,86	115,45	117,89	116,32	0,8705
IV	10		+		+	38,91	74,87	39,62	74,03	1,0999
	11		+		+	78,63	75,13	79,06	74,43	0,8215
	12		+		+	118,38	75,52	119,45	74,88	1,2468

Виконаємо порівняння відхилень від співвісності за рахунок обрахунку середньо квадратичного відхилення, що визначається за формулою:

$$\Delta = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \quad (4.2)$$

Де, X_1, X_2 – координата X більшого та меншого отворів;

Y_1, Y_2 – координата Y більшого та меншого отворів.

Проаналізувавши табл. 4.8 можна прийти до висновку, що найкращу співвісність після свердління триступінчатим свердлом показує застосування наступних режимів різання – частота обертання шпинделя 690 об/хв та використання ЗОТС. Найгірші результати показуються режими різання - частота обертання шпинделя 690 об/хв та відмова від використання ЗОТС.

Таблиця 4.9 – Результати вимірювань співвісності отворів оброблених двоступінчатим свердлом

Дослідження №2 (двоступінчате свердло)										
№		885 об /хв	690 об /хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Координати центру вісі отвору				Δ, мм
						Ø7 мм		Ø20 мм		
						Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	
I	1	+		+		32,98	75,29	33,45	74,72	0,7388
	2	+		+		72,03	74,23	72,28	73,79	0,5061
	3	+		+		112,36	73,40	113,33	72,69	1,2021
II	4		+	+		33,98	115,25	32,97	115,88	1,1904
	5		+	+		74,19	114,49	73,54	114,98	0,8140
	6		+	+		113,05	113,32	112,22	114,04	1,0988
III	7	+			+	32,63	75,61	33,32	74,82	1,0489
	8	+			+	72,62	75,00	72,73	74,34	0,6691
	9	+			+	111,86	74,73	112,44	74,00	0,9324
IV	10		+		+	32,79	115,44	31,40	116,16	1,5654
	11		+		+	71,78	115,25	71,10	115,76	0,8500
	12		+		+	111,77	114,60	110,97	115,31	1,0696

Проаналізувавши табл. 4.9 можна прийти до висновку, що найкращу співвісність після свердління двоступінчатим свердлом показує застосування наступних режимів різання – частота обертання шпинделя 885 об/хв та використання ЗОТС. Найгірші результати показуються режими різання - частота обертання шпинделя 690 об/хв та відмова від використання ЗОТС.

Зобразимо порівняльну діаграму середніх значень шорсткості на рис. 4.6.

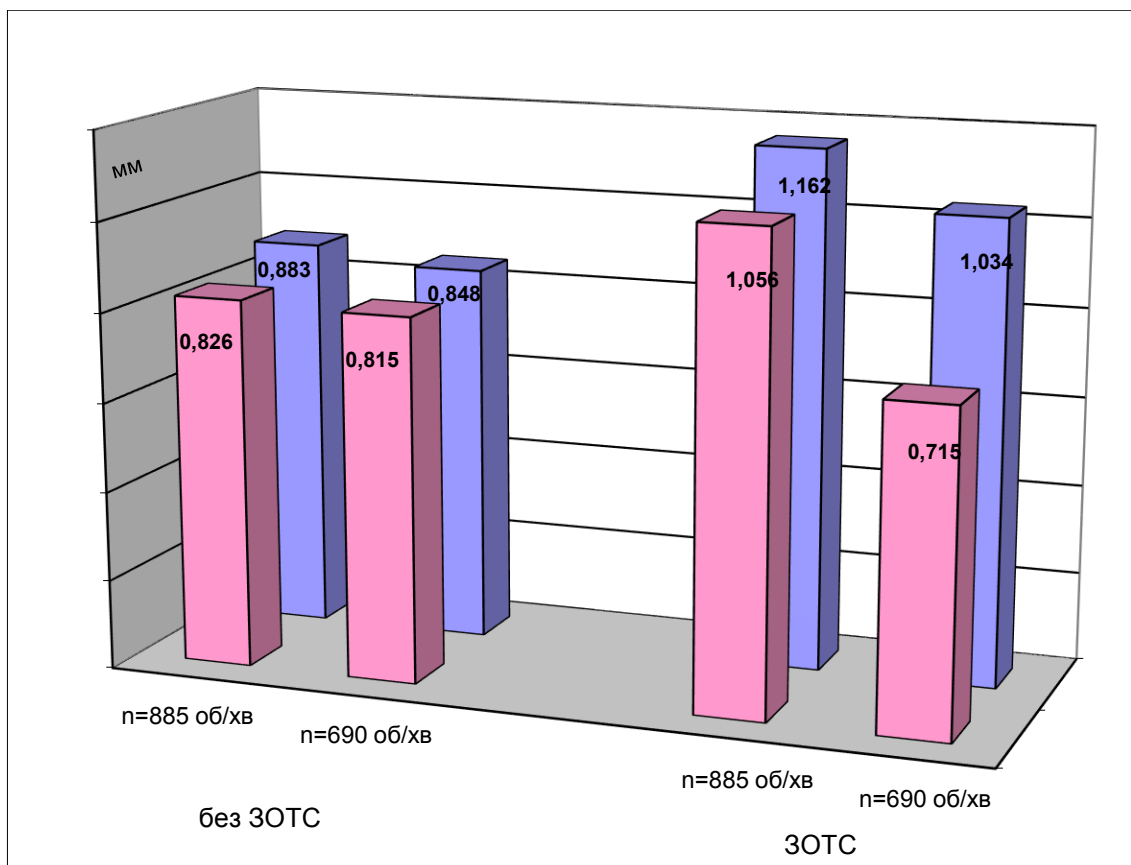


Рисунок 4.6 – Порівняльна діаграма отриманих результатів (рожевий – триступінчатє свердло, фіолетовий – двоступінчатє свердло)

Проаналізувавши найкращі результати дослідів при обробці триступінчатим та двоступінчатим свердлами (табл. 4.8. та табл. 4.9) та фінальну порівняльну діаграму (рис. 4.6) можна прийти до висновку, що використання спроектованого триступінчатого свердла має перевагу щодо співвідношенні отриманих отворів над вже використовуваним на підприємстві двоступінчатим свердлом.

4.6 Висновки після проведення випробувань

При виконанні експериментальних випробувань було встановлено наступні результати:

- Використання спроектованого триступінчатого свердла при свердлінні ступінчатого отвору на відміну при використанні

двоступінчатого свердла утворює отвори з меншим значенням середньоарифметичного відхилення профілю R_a , мкм, тобто фінальний результат (ступінчатий отвір) має кращу шорсткість.

- Використання спроектованого триступінчатого свердла при свердлінні ступінчатого отвору на відміну при використанні двоступінчатого свердла утворює ступінчатий отвір з меншим середньоквадратичним значенням відхилень отворів $\varnothing 7$ мм та $\varnothing 20$ мм від співвісності, тобто точність розташування отворів між собою вища.
- Використання спроектованого триступінчатого свердла при свердлінні ступінчатого отвору на відміну при використанні двоступінчатого свердла унеможливорює утворення задирок за рахунок обробки фаски отвору.

Виходячи з цих висновків, спроектоване триступінчате свердло доцільно запровадити у виробництво для підвищення шорсткості, співвісності отворів та унеможливлення утворювання задирок.

5 РОЗРОБКА START-UP ПРОЕКТУ

Виконаємо Start-up проект свердла триступінчатого для обробки алюмінієвих профілів.

5.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 5.1 – Опис ідеї start-up проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувачів
Основною ідеєю створення свердла триступінчатого полягає в тому, що за його допомогою покращується точність обробки отворів, швидкість обробки та заміна двох інструментів на один	При одиничному виробництві	Дане свердло дозволяє здійснювати обробку на верстатах з ручною подачею
	При серійному виробництві	Дане свердло дозволяє здійснювати обробку на верстатах з механічною подачею та забезпечує економію за рахунок використання одного інструменту замість двох

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту та конкурентів

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні концепції конкурентів					
		Свердло триступінчатое			Свердло двоступінчатое + зенківка		
		S	N	W	S	N	W
1	Функціональність	-	+	-	-	-	+
2	Вартість	+	-	-	+	-	-
3	Експлуатаційність	+	-	-	-	-	+

4	Точність	+	-	-	-	-	+
---	----------	---	---	---	---	---	---

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 5.3 – Технологічний аудит ідеї проекту

№	Технологічна вимога	Технологія реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Виготовлення інструменту	Закупівля заготовок зі Сталі 40Х ГОСТ 1050-88	+	+
2	Наявність верстату	Закупівля верстату для свердління	+	+
3	Наявність дискових профільних фрез для фрезерування гвинтових канавок	Замовлення або виготовлення дискових профільних фрез	+	+
4	Використання ЗОТС	Закупівля ЗОТС у постачальника	+	+
5	Пристосування для заточування	Закупівля пристосування для заточування свердла	+	+

Представлені вимоги та їх технологічні рішення є доступними та в наявності на ринку металорізального інструменту.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску start-up проекту

Таблиця 5.4 – Попередній аналіз потенційного ринку

№	Показники стану ринку	Аналіз
<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
1	Кількість підприємств-постачальників	2

2	Обсяг загальних продаж	Невідомий
3	Динаміка ринку	Стала необхідність

Продовження таблиці 5.4

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
4	Обмеження для входу в ринок	Конкуренція, економічний стан
5	Спеціальні вимоги до стандартизації та сертифікації	Сертифікація для виходу на міжнародний ринок, технічні умови, дотримання стандартів державного комітету по стандартизації
6	Середня норма рентабельності	40%

В Україні ринок свердл досить обширний, але дане свердло є специфічним, тому і має достатню перевагу. Країна виробник конкуренту – Німеччина.

Таблиця 5.5 – Характеристика клієнтів start-up проекту

№	Формуюча потреба ринку	Аудиторія	Відмінності у поведінці клієнтів	Вимоги споживачів
1	Висока точність обробки та стійкість інструменту	Дрібно-серійне виробництво на машинобудівних підприємствах, що здійснюються обробку алюмінієвих профілів	Ціна, технічні та геометричні характеристики, експлуатаційна навантаженість, попит в галузі	Точність продукції, довговічність, дотримання стандартів, цілодобова підтримка,
2	Можливість працювати в різних режимах різання			

3	Забезпечення точності та якості отвору			гарантія на товар
---	--	--	--	-------------------

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Рівень інфляції	Впливає на вартість всіх ресурсів, що використовуються на підприємстві	Збільшення затрат на виготовлення продукції
2	Конкурентність	Впливає на ефективність продажу продукції	Зменшення собівартості виготовлення шляхом вдосконалення виробництва
3	Податковість	Впливає на дохід від продажу продукції	Зменшення прибутку від продажу
4	Динаміка курсу національної валюти	Впливає на вартість комплектуючих, котрі закуповуються на кордоном	Прив'язка ціни вартості продукції до іноземної валюти

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№	Фактор	Можливість	Можлива реакція компанії
1	Інноваційний	Нове технологічне рішення може	Розробка нових технологічних рішень

		стимулювати створення більш новіших рішень	для стимулювання вдосконалення продукції
2	Ринок	Продаж продукції можна здійснювати по всьому світу	Створення надприбутку з подальшим розвитком компанії

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№	Особливості конкурентного середовища	Визначення даної характеристики	Вплив на підприємство
1	Тип конкуренції – монополістичний	Має місце на ринку з багатьма продавцями та покупцями	Важкість впровадження нового продукту на початку його виробництва
2	Рівень конкуренції – боротьби міжнародний	Основний ринок являється міжнародний, тому на це і робиться акцент	Розвиток на міжнародному ринку інструментів
3	Галузева ознака – міжгалузева	Профілі використовуються в різних галузях	Широке застосування збільшує прибуток підприємства
4	Товарна конкуренція – товарно родова	Конкуренція між видами товарів, що виконують подібні функції	Конкуренція зі сторони товарів, що можуть замінити продукт
5	Характер конкурентних переваг – нецінова	Збільшення точності обробки отвору, удосконалення конструкції	При дотриманні рівності ціна / точність позитивно впливатиме на підприємство

		інструменту, поєднання двох інструментів в одному	
6	Інтенсивність марочна -	Продукт широкого використання, тому марочна політика - доцільна	Збільшення попиту за рахунок підняття популярності продукції

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Функціональність	Збільшення можливостей за рахунок виконання операції одним інструментом замість двох
2	Експлуатаційність	Економія за рахунок зменшення підготовчого часу на встановлення та підвід інструменту
3	Вартість	Відповідність ціна-точність-функціональність на відміну від конкурентного товару
4	Точність	Покращена точність та шорсткість обробки (див. порівняльні випробовування)

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін інструменту

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали (1-20)	Рейтинг спроектованого товару						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Функціональність	15						+	
2	Експлуатаційність	17							+
3	Вартість	7			+				

4	Точність	13					+		
---	----------	----	--	--	--	--	---	--	--

Таблиця 5.12 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис цільової групи	Сприятливість продукту	Орієнтований попит	Інтенсивність конкуренції	Простота входу
1	Виробники складського обладнання	90%	150 шт/рік	50%	75%
2	Літакобудування	50%	50 шт/рік	90%	20%
3	Верстатобудування	75%	200 шт/рік	75%	70%

Таблиця 5.13 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Унікальність проекту	Пошук нових споживачів або залучення споживачів конкурентів	Копіювання характеристик компанії конкурента	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так	Ні	Пристосовницька

Таблиця 5.14 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові позиції власного проекту	Вибір асоціацій комплексності позиції проекту
1	Функціональність	Стратегія комбінування	+	+
2	Експлуатаційність		+	+
3	Вартість		+/-	+/-
4	Точність		+	+

Таблиця 5.15 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Необхідність	Вигода від концепції	Переваги перед конкурентами
1	Функціональність	Виконання однієї операції замість двох	Економія результату отримання готового отвору
2	Експлуатаційність	Відпадає необхідність додаткового налаштування інструменту	Можливість працювати робітникам з невеликою кваліфікацією з продуктом
3	Вартість	Вартість продукції	Серійність, що впливає на кінцеву вартість продукції
4	Точність	Більш якісний та точний отвір	Більш якісний та точний отвір

Таблиця 5.16 – Визначення меж встановлення цін

№	Ціни на товари замінники	Ціни на товари аналоги	Доходи цільової групи	Межі встановлення ціни на товар
1	800	260	-	260-800

Таблиця 5.17 – Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки клієнтів	Функція збуту постачальника	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Поступова	Продаж продукції, консультації, налагодження контактів щодо представлення сервісу обслуговування	Нульовий рівень каналу	Вертикальна корпоративна система

Таблиця 5.18 – Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки клієнтів	Канали комунікацій клієнтів	Ключові позиції для позиціону- вання	Завдання маркетингу	Концеп- ція маркети н-гу
---	------------------------------------	-----------------------------------	---	------------------------	-----------------------------------

1	Пред'явлення вимог щодо точності, функціональнос ті, забезпечення необхідного отвору від свердла	Консультації її в телефонном у режимі, демонстрації її, стенди на виробництва х	Вартість, легкість використанн я, точність	Інформатив но донести до аудиторії переваги використанн я продукту	Висока точність за розумну ціну
---	---	--	---	---	---

Отже, проаналізувавши стратегію, концепцію, переваги, недоліки, потенційних клієнтів та подібне, можна зробити висновки, що свердло триступінчате для обробки алюмінієвих сплавів є конкурентним на ринку металорізальних інструментів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алюминий - главный конструкционный материал нашего времени [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://xn--80aqaehgi7k.xn--j1amh/articles/главный-конструкционный-материал-нашего-времени/>.
2. Алюминий как атом и химический элемент [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.yaklass.ru/p/himiya/89-klass/khimiia-metallov-163805/aliuminii-i-ego-soedineniia-174793/re-b687bbe9-b52b-4815-9daf-17fef3df2910>.
3. Микроэлементы. Алюминий [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://agrostory.com/info-centre/agronomists/mikroelementy-alyuminiy/>.
4. Алюминиевые сплавы [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://libmetal.ru/al/al%20splav.htm>.
5. АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/1816702.
6. Алюмінієві сплави [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Алюмінієві_сплави#cite_note-GOST4784-1.
7. Сплавы алюминия: выбор и применение [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://aluminium-guide.com/aluminievye-splavy-klassifikacija-primenenie-svojstva-kharakteristik/>.
8. Алюминиевые сплавы: категории и классы [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://aluminium-guide.com/alyuminievye-splavy-kategorii-klassy-serii-sistemy-i-oboznacheniya/>.
9. Режущие диски алюминий 1050 алюминиевый круг для легкой крышки [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://russian.alibaba.com/product-detail/cutting-discs-aluminum-1050-aluminum-circle-for-light-cover-890797113.html>.

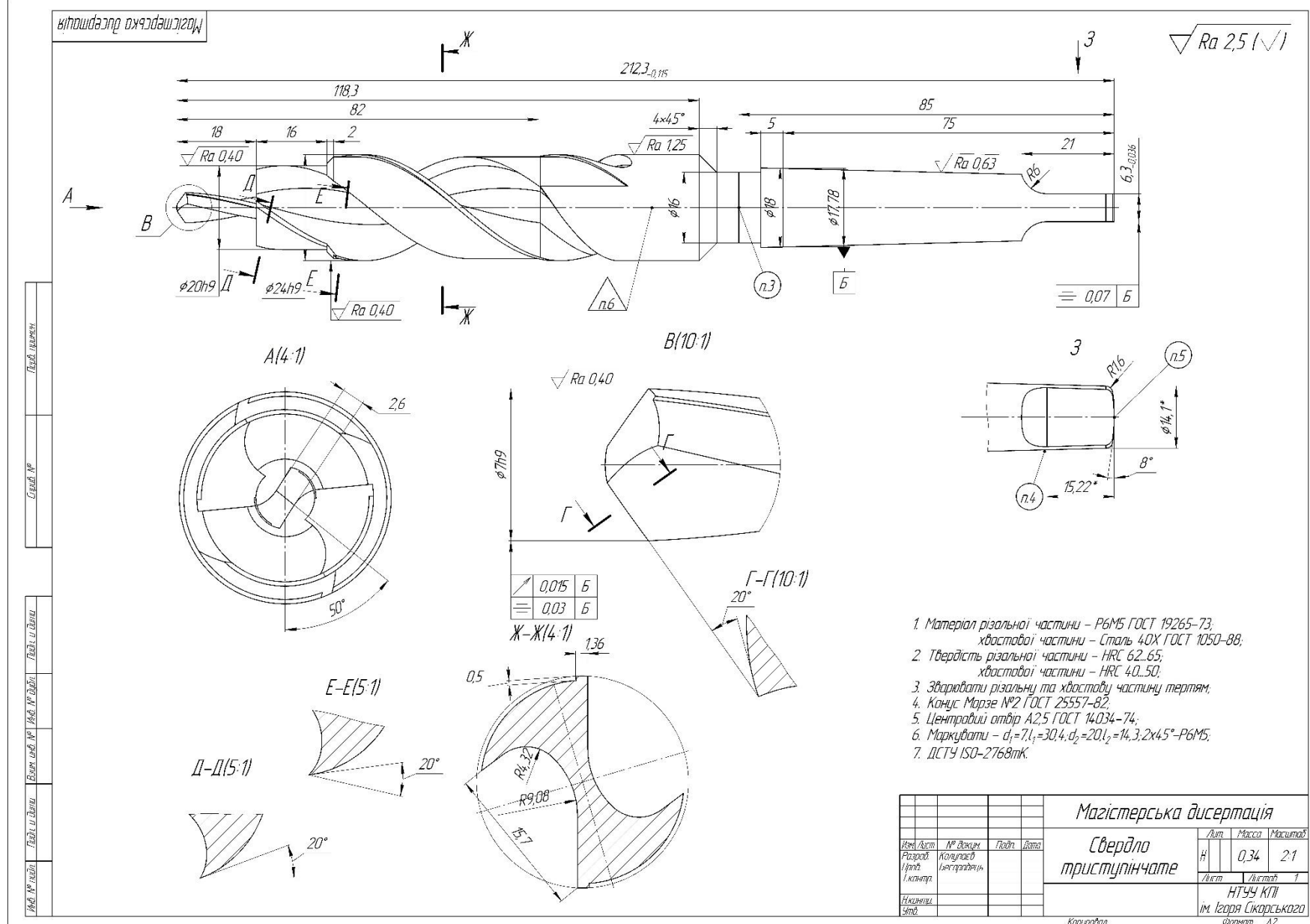
- 10.Круг алюминиевый [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://dnepropetrovsk.pulscen.ua/products/krug_aluminiumyevy_65_prut_aluminiumy krugly_76291022.
- 11.Профиль для стрічок LED 2013, 2015, 3013, 3015 алюміній сріблястий 14 x 28 x 2500 мм кутовий молочний [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://hafeleshop.com.ua/ukr/shop/product/profil-dlia-strichok-led-2013-2015-3013-3015-aluminium-sribliastii-14h28h2500mm-kutovii-molochnii>.
- 12.Решетка Алюминий [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://teplo-watt.com/reshetka-aluminiumy-100020019/>.
- 13.Алюминий электрофореза 6063 T5 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://russian.extruded-aluminumprofiles.com/sale-10893730-6063-t5-electrophoresis-aluminium-extruded-profiles-triangular-aluminum-extrusion.html>.
- 14.Aluminium Alloy 7075 Angle [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.maxsteels.com/aluminium-alloy-7075-angle-supplier-exporter.html>.
- 15.Алюминиевый профиль : свойства и применение [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.alumedium.com.ua/aluminiumy-j-profil-primenenie/>.
- 16.Алюминиевый профиль – описание его различных типов и конструкций [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://oknanagoda.com/steklo/konstrukcii-alyum-profil/profiles-aluminium-types.html>.
- 17.Алюминиевые профили [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.galakmet.ru/directory/chemical/spr-al-profil.php>.
- 18.Алюминиевый профиль [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.wikipro.ru/wiki/alyuminiumy-j-profil/>.
- 19.Обработка резанием алюминия и алюминиевых сплавов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://aluminium-guide.com/obrabotka-rezaniem-alyuminiya-i-alyuminiumy-x-splavov/>.

20. Механическая обработка алюминия [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://aluminium-guide.com/mexanicheskaya-obrabotka-alyuminiya/>.
21. Обработка алюминиевых сплавов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.tulaspecinstr.ru/z_sovet_8.html.
22. ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://docplayer.ru/74235534-Obrabotka-rezaniem-alyuminiya-i-ego-splavov.html>.
23. Конструкция режущего инструмента [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://aluminium-guide.com/rezhushhij-instrument-alyuminiya/>.
24. МЕХОБРАБОТКА АЛЮМИНИЯ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://mehanoobrabotka-zakazat.ru/articles/mehobrabotka-alyuminiya/>.
25. Рекомендации по сверлению [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/drilling/pages/drilling-tips.aspx..>
26. CoroDrill® 460 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/corodrill_460/.
27. CoroDrill 860 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/corodrill_860/Pages/default.aspx.
28. Ступенчатые сверла по металлу: лучшее решение для новичков и профессионалов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://remoo.ru/instrumentyi/stupenchatye-sverla-po-metallu>.
29. Сверло ступенчатое [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://mekkain.ru/library/sverlo-stupenchatoe.html>.
30. КОМПАС-3D [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://kompas.ru/>.

31. Autodesk Inventor [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>.
32. ADEM CAM [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://adem.ru/>.
33. Методические указания к выполнению контрольных работ по курсу
«Проектирование и производство металлорежущих инструментов»/ Сост.:
И.А. Малышко, С.Л. Толстов. -Донецк: ДПИ, 1991.-39с.
34. Справочник технолога машиностроителя. В двух томах. Изд. 3,
переработанное. Том 2. Под ред. Заслуженного деятеля науки и техники
РСФСР д-ра техн. наук проф. А. Н. Малова. М., «Машиностроение», 1972,
стр. 568.
35. 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, 1986. 496 с., ил.
36. Таблица сплавов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
http://vsm-po.ru/ru/manufacture/Aljuminij/property/Tablica_splavov.
37. Механические свойства алюминия [Электронный ресурс] – Режим доступа
до ресурсу: <https://aluminium-guide.com/mexanicheskie-svojstva-deformiruemyx-alyuminievyx-splavov/>.
38. ГОСТ 25557-82 (СТ СЭВ 147-75) Конусы инструментальные. Основные
размеры
39. ГОСТ 14953-80. Зенковки конические. Технические условия (с
Изменениями N 1, 2)
40. ГСССД 159-92 Таблицы стандартных справочных данных. Стали
инструментальные быстрорежущие Р18, Р6М5, 10Р6М5-МП. Упругие
свойства. Модуль нормальной упругости при температурах 20...650 °С.
41. Васильев А. С. Выбор заготовок в машиностроении / А. С. Васильев, А. И.
Кондаков. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.

42. § 5. Выбор заготовок и расчет их размеров. Виды заготовок и факторы, влияющие на их выбор. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://delta-grup.ru/bibliot/3k/34.htm>.
43. Определение припусков на механическую обработку заготовок [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOVN/academic/Tab3/7_raschet_pripuskov_VN_rusPDF.pdf.
44. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб, и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 656 с., ил.
45. ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.
46. Твердость стали Р6М5 по Роквеллу [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://fizmatlit.com/tverdost-stali-r6m5-po-rokvellu/>.

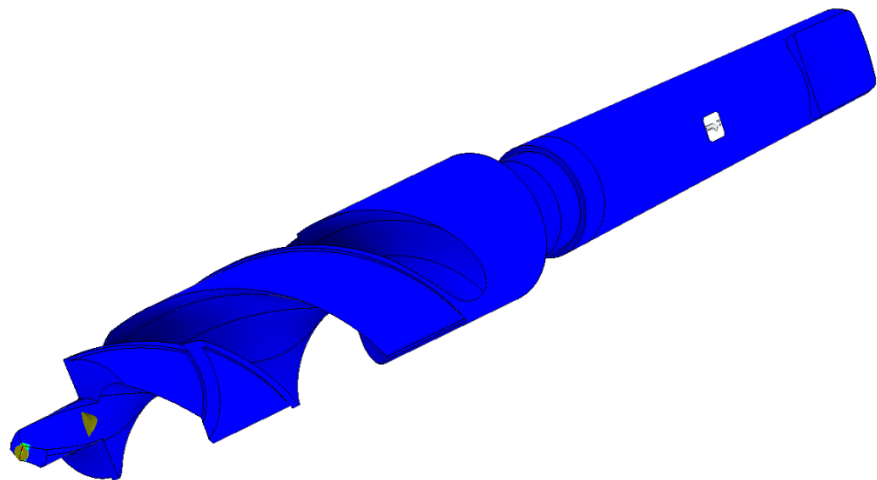
ДОДАТОК №1 – КРЕСЛЕННЯ СВЕРДЛА ТРИСТУПІНЧАТОГО



ДОДАТОК №2 – ЗВІТ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНЬ

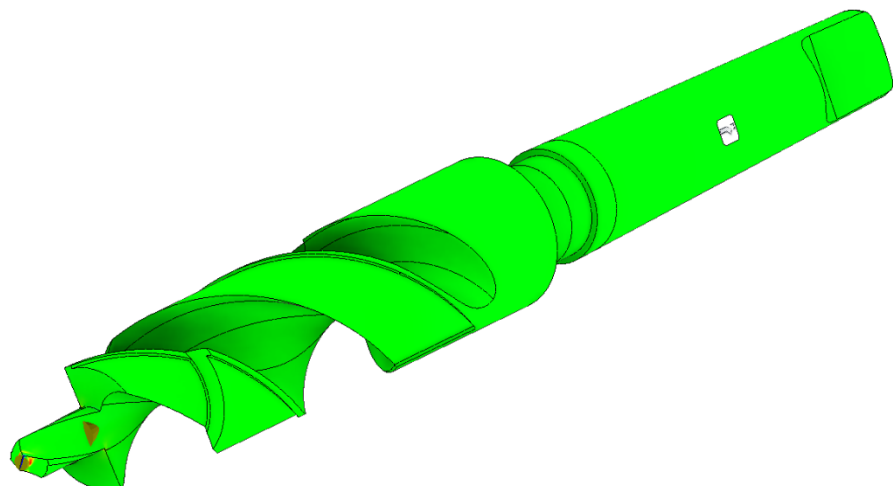
Напруження по Мізесу

Тип: Напруження по Мізесу
Единиця: МПа
С6 24.10.20, 21:41:10
730,4 Макс



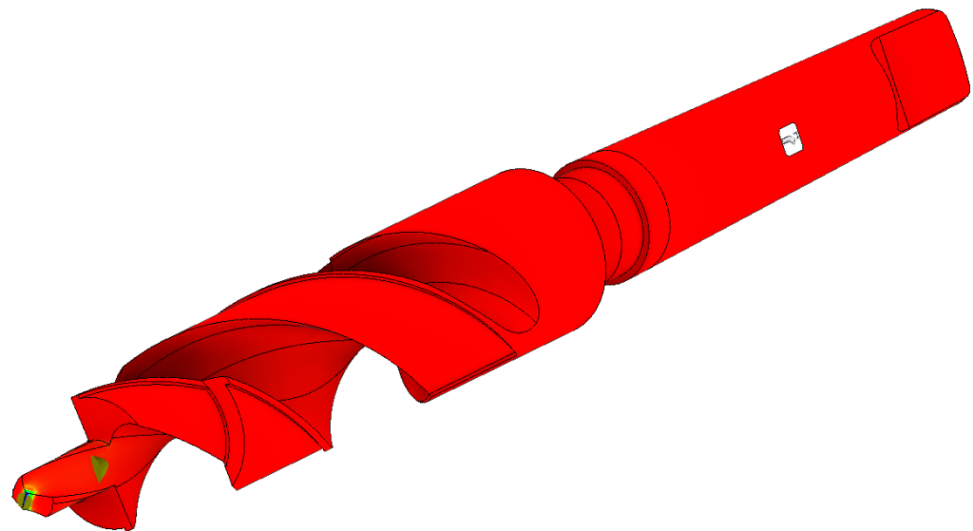
1-е основне напруження

Тип: 1-е основне напруження
Единиця: МПа
С6 24.10.20, 21:41:11
95,5 Макс



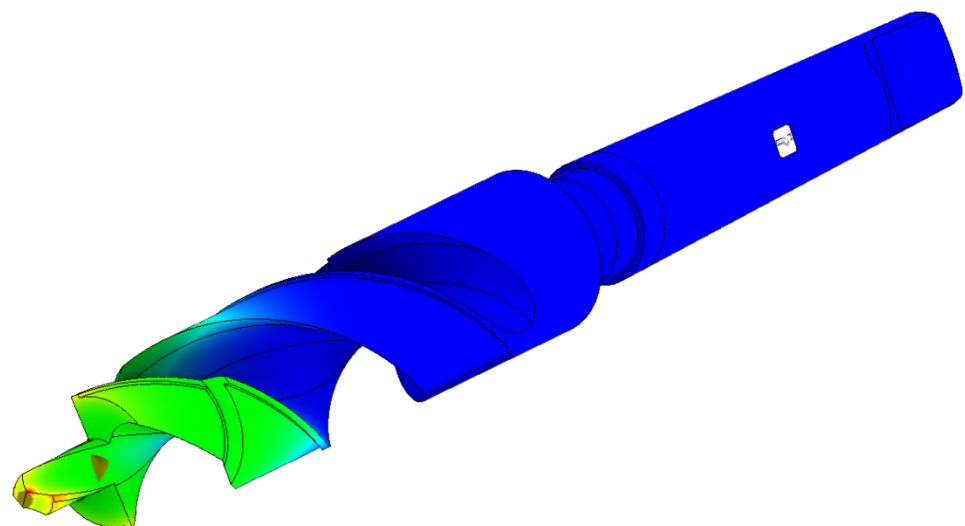
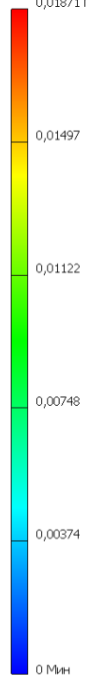
3-є основне напруження

Тип: 3-є основне напруження
Єдиниця: МПа
С6 24.10.20, 21:41:11
5,1 Макс



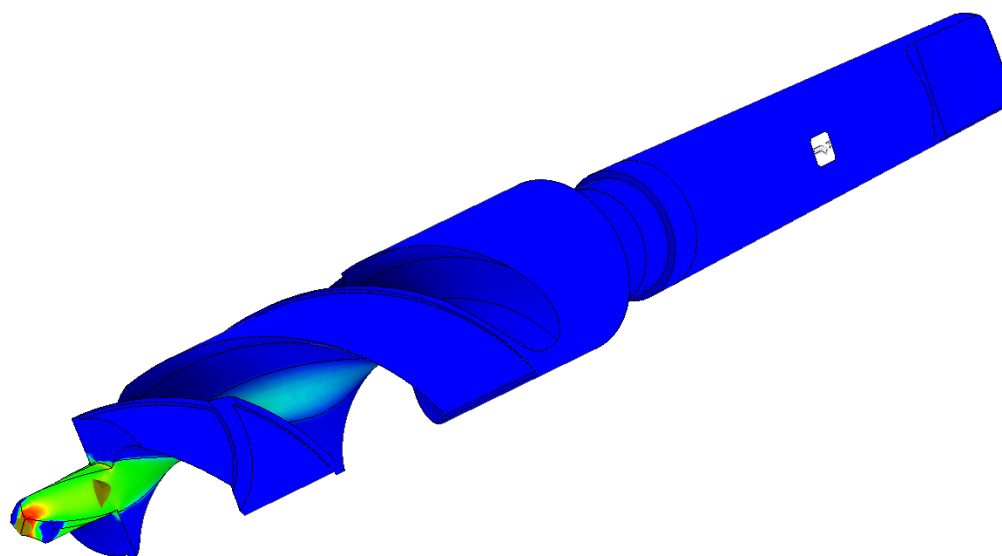
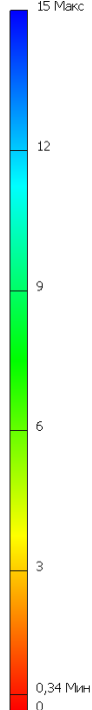
Зміщення

Тип: Сміщення
Єдиниця: mm
С6 24.10.20, 21:41:12
0,01871 Макс

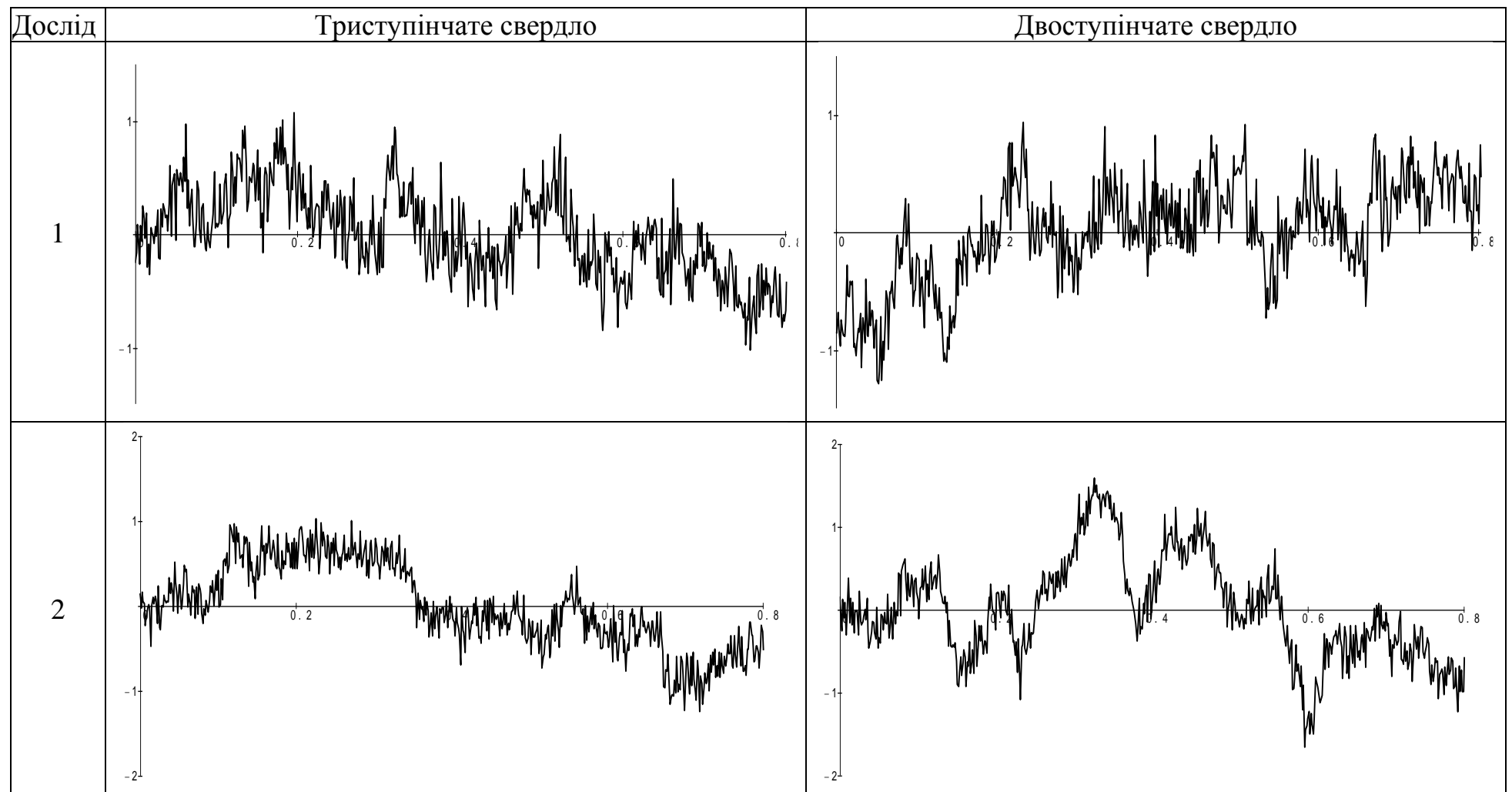


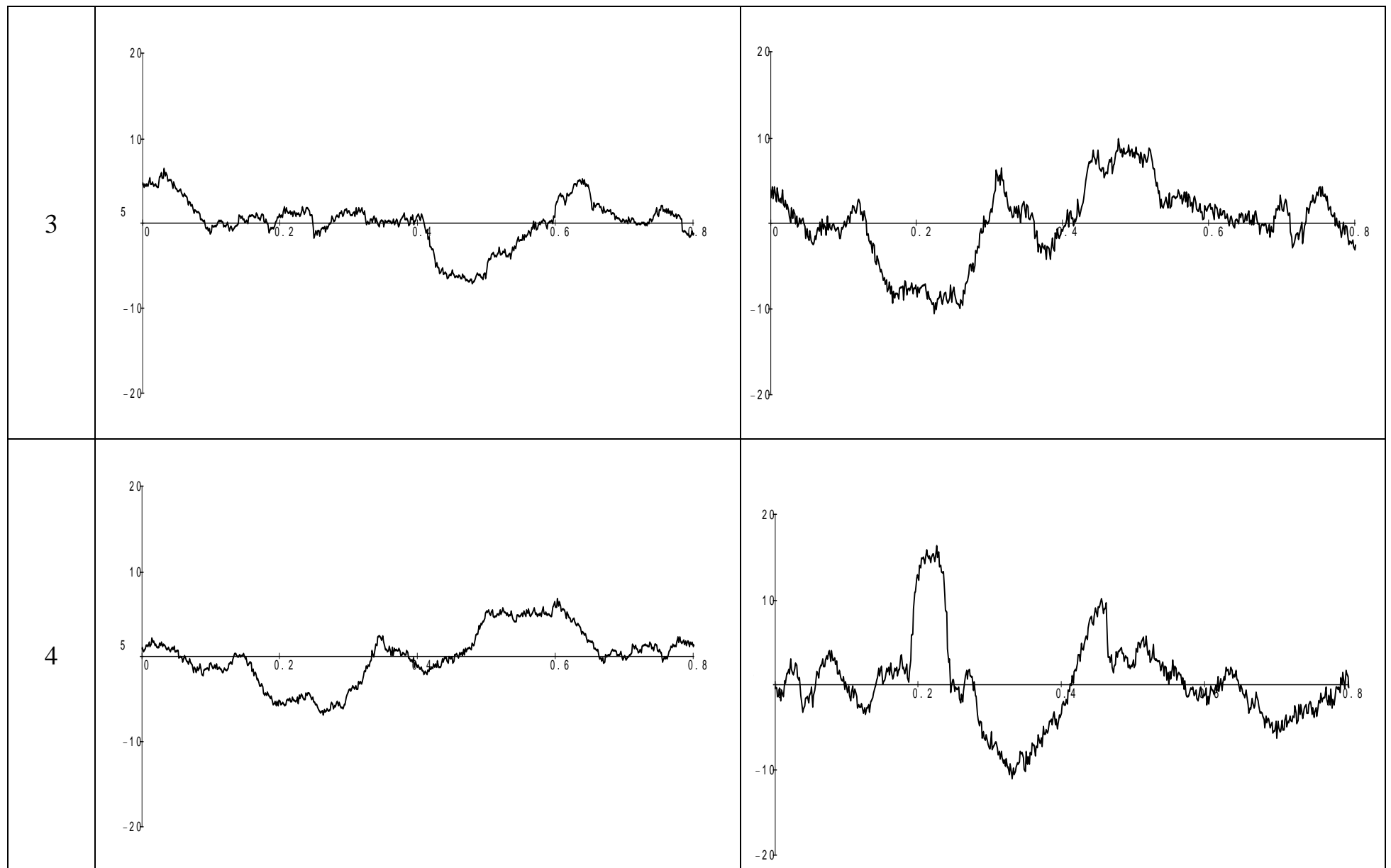
Коефіцієнт запасу міцності

Тип: Коефф. запасу міцності
Єдиниця: ul
С6 24.10.20, 21:41:12
15 Макс



ДОДАТОК №3 – ПРОФІЛОГРАМИ ШОРСТКОСТІ ОТРИМАНИХ ЗРАЗКІВ





ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор ТОВ з П "БІБУС Україна"

_____ (Позур С.В.)



_____ 2020 р.

**ПРОТОКОЛ
ПОРІВНЯЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ
свердління алюмінієвих профілів**

Протокол порівняльних випробувань свердління алюмінієвих профілів свердлами, що використовуються на підприємстві та нової конструкції при різних режимах різання.

Обладнання - свердлильний верстат Knuth KGB 30 (рис. 1).



Рисунок 1. Свердлильний верстат Knuth KGB 30

Зразки матеріалів для випробувань профілі з алюмінієвого сплаву АДЗ1Т.

Інструменти що приймають участь у випробуваннях – свердло трьох ступінчатє свердло (спроектованє) та двох ступінчатє свердло.

Порядок проведення випробувань:

1. Підготовка інструментів для випробувань:

- відібрано інструмент для свердління отворів – двох ступінчатє свердло;
- виготовлено досліджуваний інструмент – трьох ступінчатє свердло.

Контроль конструктивних та геометричних параметрів, при виготовленні, проводився у відповідності до ГОСТ 9769-79 п. 4.

2. В зразках матеріалів просвердлено ступінчаті отвори обома інструментами в послідовності та режимами, наведеними в таблиці 2.

Таблиця 2

Режими оброблення при свердлінні

Інструмент	№ досліду	Режими оброблення		Наявність ЗОТС
		V , м/хв	S , мм/об	
Двох ступінчатє свердло	1	43,35	Ручна подача	+
	2			-
	3	55,61		+
	4			-
Трьох ступінчатє свердло	1	43,35	Ручна подача	+
	2			-
	3	55,61		+
	4			-

В якості змащувально-охолоджуючого технологічного середовища (ЗОТС) використовувалася – макроемульсія для обробки алюмінієвих сплавів LACTUCA MSF 5200 (20% розчин) за ISO 6743/7 компанії "Total Lubrifiants SA" (Франція)

Результати порівняння процесу свердління ступінчатих отворів різними інструментами на різних режимах оброблення наведені в таблиці 2.

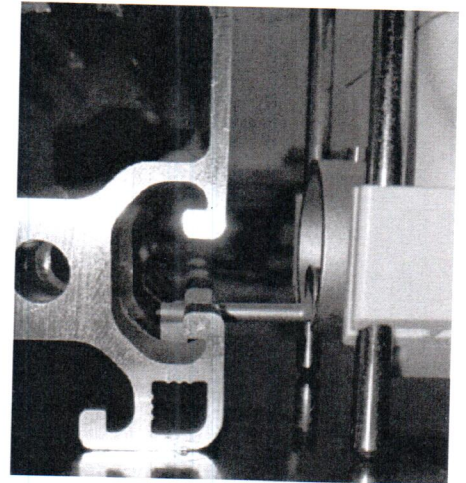


Рисунок 1. Вимірювання шорсткості поверхонь за допомогою профілометра MarSurf PS1.

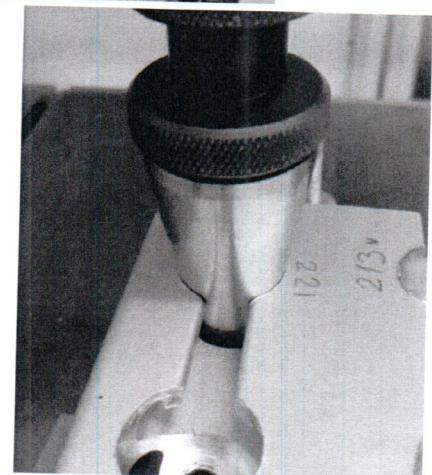
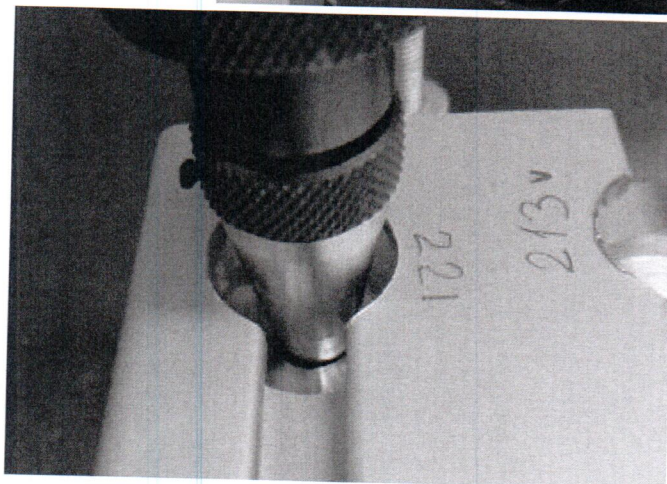
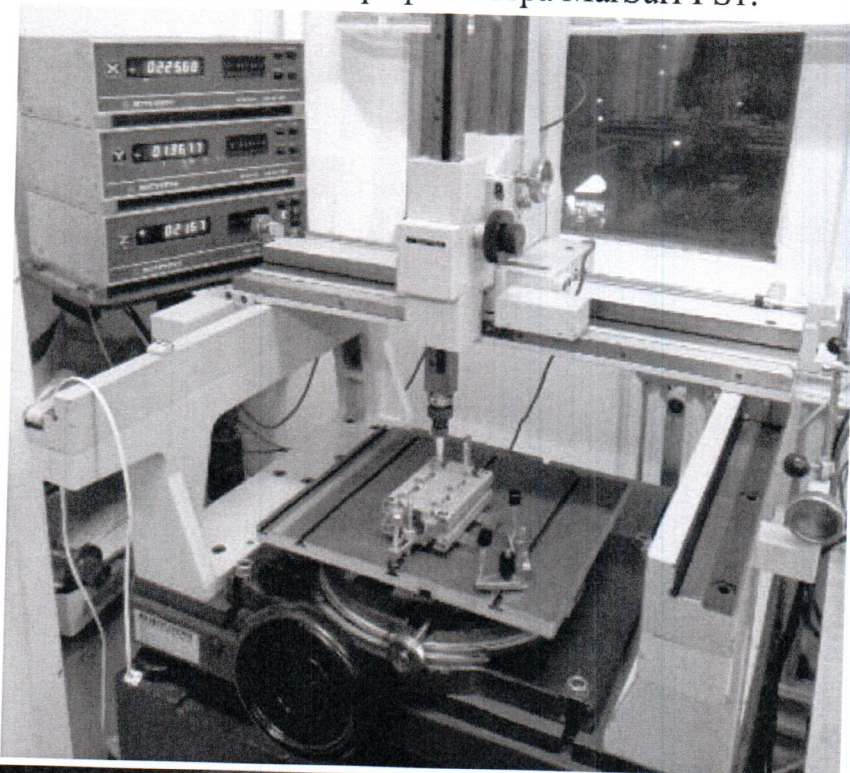


Рисунок 2. Вимірювання співвісності ступінчастих отворів на координатно-вимірвальній машині мод. Mytutoyo model 1.

4. Результати вимірювань:

- шорсткості поверхонь Ra наведені в таблиці 2.
- положення центрів отворів наведені в таблиці 3.

Шорсткість поверхонь – Ra, мкм

Таблиця 2

Дослідження №1 (3-ох ступінчатє свердло)								
№		885 об/хв	690 об/хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Вибраний отвір для дослідження при $l = 0,8$ мм		
I	1	+		+		0,82	1,028	0,977
	2	+		+		0,571	0,611	0,574
	3	+		+		0,653	0,626	0,666
II	4		+	+		0,435	0,431	0,38
	5		+	+		1,241	1,198	0,997
	6		+	+		0,701	0,506	0,55
III	7	+			+	1,44	1,352	1,426
	8	+			+	2,27	2,081	2,42
	9	+			+	1,946	1,899	1,957
IV	10		+		+	1,475	1,438	1,796
	11		+		+	3,275	2,075	1,764
	12		+		+	0,909	0,914	0,926
Дослідження №2 (2-ох ступінчатє свердло)								
№		885 об/хв	690 об/хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Вибраний отвір для дослідження при $l = 0,8$ мм		
I	1	+		+		0,545	0,569	0,502
	2	+		+		1,006	0,926	1,061
	3	+		+		0,845	0,63	0,703
II	4		+	+		1,236	1,158	1,313
	5		+	+		1,202	0,986	1,537
	6		+	+		1,736	1,322	1,668
III	7	+			+	3,271	3,234	3,288
	8	+			+	3,176	2,507	3,038
	9	+			+	2,284	1,646	1,346
IV	10		+		+	1,85	2,443	2,94
	11		+		+	2,059	1,912	2,175
	12		+		+	2,45	2,296	2,244

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на проведення вимірювань в лабораторії вимірювальної техніки
ММІ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАТВЕРДЖУЮ

Данильченко Ю.М.
(завідувач кафедри)

(підпис)

(дата)

*

1. Підстава для проведення роботи

Підстава та місце для проведення роботи: в рамках роботи магістра

Термін виконання: 01-03.12.2020 р.

(початок – закінчення)

Підрозділ, виконавець: Плівак Олександр Анатолійович

*

2. Призначення проведених робіт

вимірювання співвідношення отворів

(вид роботи, зміст роботи, вид звітності)

*

3. Вимоги до проведених робіт

вимірювання шорсткості поверхонь зразків та співвідношення ступінчастих отворів зразків після свердління (24 зразка)

(вид робіт, точність, кількість, надійність, зберігання, транспортування)

*

4. Вимоги до отриманих результатів

протокол вимірювань

(форма звітності)

5. Умови проведення робіт: температура навколишнього повітря 20° (±4°); відносна вологість при температурі навколишнього повітря 20° - до 80%; атмосферний тиск від 700 до 820 мм.рт.ст.

6. Етапи виконання роботи

Етап та його зміст	Термін виконання	Результат та форма його подання
вимірювання шорсткості поверхні зразків	01-03.12.2020 р.	Порівняння шорсткості поверхонь та співвідношення отворів зразків після свердління при використанні різних інструментів при різних режимах різання
вимірювання співвідношення отворів зразків	01-03.12.2020 р.	

7. Очікувані результати

(креслення, реалізація результатів)

8. Матеріали та пристосування

(креслення, підрозділ, виконавець)

(підпис)

(дата)

(виконавець)

9. Додаткові умови

Від виконавця:

Плівак О.А.

(завідувач лабораторії)

(підпис)

(дата)

Виконавець

(виконавець)

(підпис)

(дата)

Від замовника:

(науковий керівник)

(підпис)

(дата)

Контактна особа:

Войничев С.П.

(підпис)

(дата)

тел. 097 586 36 73

e-mail RATO@IBU.S.UA

Затверджую:
Директор ТОВ з П "БІБУС Україна"

(Позур С.В.)




12 2020 р.

Технічне завдання

на науково-дослідну роботу

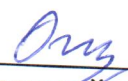
«Розробка конструкції та технології виготовлення свердла трьох ступінчатого»

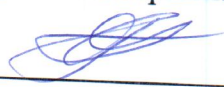
Замовник:
Менеджер

 Ратніков С.П.

Виконавець:

В.О. завідувача кафедрою КМ

 Охріменко О.А.
Науковий керівник

 Бесарабець Ю.Й.
Студент групи МІ-91мп

 Колупаєв Д.В.

Київ 2020

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Повна назва розробки та її умовне позначення

«Розробка конструкції та технології виготовлення свердла трьох ступінчатого для обробки алюмінієвих профілів»

1.2 Назви підприємств розробника та замовника системи та їх реквізити

Замовник:

ТОВ з П "БІБУС Україна"

юр.адр.: м. Київ, вул. Лятошинського, 4-А/289

пошт.адр.: вул. Одеська, 22, с. Крюківщина,
Києво-Святошинський р-н, Київська область

Виконавець:

Кафедра конструювання машин

КПІ ім. Ігоря Сікорського

1.3 Порядок оформлення та пред'явлення замовникові результатів робіт

По закінченню роботи подається: кресленик свердла трьох ступінчатого, технологія виготовлення свердла.

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ

2.1 Мета створення розробки

Розробити свердло трьох ступінчатого для обробки алюмінієвих профілів.

2.2. Вихідні дані

- оброблюваний матеріал – алюмінієвий сплав,
- верстат для оброблення – свердлильний верстат Knuth KGB 30.

3. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1 Середовище розробки 3D моделей та креслень – Autodesk Inventor.

4. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Етап та його зміст	Термін виконання	Результат
1. Аналіз переваг та недоліків нині використовуваного свердла для обробки алюмінієвих профілів, розробка робочого кресленика інструменту підвищеної продуктивності.		Кресленик інструменту
2. Розробка технології виготовлення інструменту		Маршрутна технологія виготовлення інструменту
3. Проведення порівняльних випробувань процесу свердління		Акт випробувань

5. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

- 5.1 Підвищення продуктивності процесу свердління алюмінієвих профілів.
- 5.2 Підвищення якості оброблених поверхонь.

6. МАТЕРІАЛИ, ЩО НАДАЮТЬСЯ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ

- 6.1 Кресленик свердла трьох ступінчатого.
- 6.2 Технологія виготовлення свердла трьох ступінчатого.
- 6.3 Режими різання виготовлення інструменту.

7. ПОРЯДОК РОЗГЛЯДУ ТА ПРИЙМАННЯ РОБОТИ

- 7.1 Результати роботи передаються по акту приймання робіт.

Затверджую:
Директор ТОВ з П "БІБУС Україна"

(Позур С.В.)



11 12 2020 р.

Акт
приймання робіт
науково-дослідної роботи

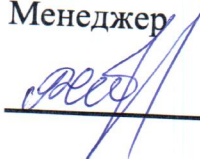
«Розробка конструкції та технології виготовлення свердла трьох ступінчатого»

В результаті виконання робіт з розробки конструкції та технології виготовлення свердла трьох ступінчатого для обробки алюмінієвих профілів, виконавець надав:

- кресленик свердла трьох ступінчатого,
- технологію виготовлення свердла трьох ступінчатого,
- розрахунки режимів різання,
- обґрунтування доцільності застосування нової конструкції свердла.

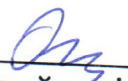
Результати роботи планується реалізувати при свердлінні алюмінієвих профілів.

Замовник:
Менеджер


Ратніков С.П.

Виконавець:

В.О. завідувача кафедрою КМ


Охріменко О.А.
Науковий керівник


Бесарабець Ю.Й.
Студент групи МІ-91мп


Колупаєв Д.В.



Національний технічний університет України
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

Магістерська дисертація

Свердло триступінчасте для обробки алюмінієвих сплавів

Студент групи МІ-91мп
Колупаєв Дмитро
Науковий керівник:
Доц., к.т.н. Бесарабець Ю.Й.

Метою виконання даної дисертації є розробка свердла
триступінчастого для обробки алюмінієвих сплавів

Проблема виробництва

Технічна пропозиція

Проектування свердла

Перевірка свердла на стійкість

Технологічний розділ

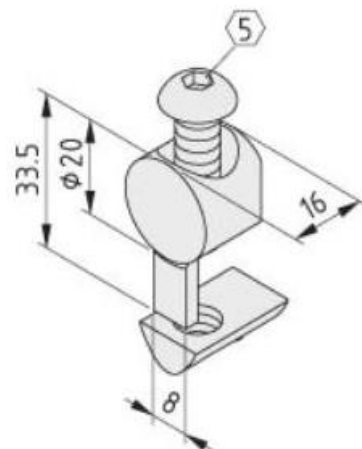
Експериментальні випробовування

Проблема виробництва

Стелаж



Типове з'єднання



Утворюваний отвір



Проблема виробництва

Використовуваний інструмент



Параметри свердла

- Матеріал різальної частини – швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73;
- Матеріал хвостовика - Сталь 40Х ГОСТ 1050-88;
- Головний кут в плані $\varphi = 140^\circ$;
- Задній кут $\alpha = 15^\circ$;
- Кут нахилу стружкової канавки $\omega = 30^\circ$;
- Кут нахилу поперечного леза $\psi = 60^\circ$.

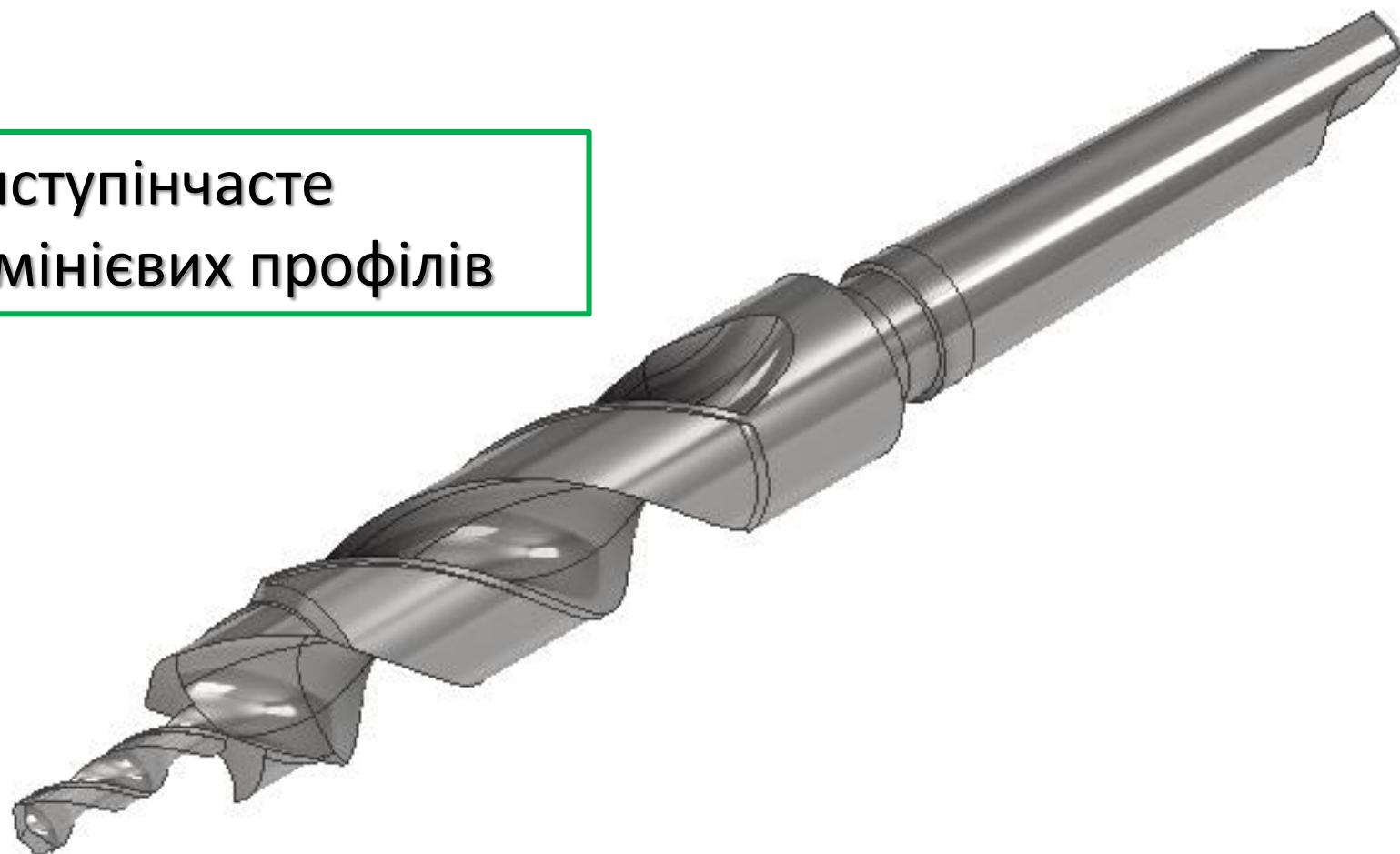
Параметри зенківки

- Менший діаметр $d = 12,5$ мм;
- Більший діаметр $D = 40$ мм;
- Кут зенківки $\alpha = 45^\circ \pm 2^\circ$;
- Хвостовик – Конус Морзе №2

Технічна пропозиція

Створити інструмент, який поєднає ступінчате свердло та зенківку з оптимальними геометричними та технічними параметрами

Свердло триступінчасте
для обробки алюмінієвих профілів

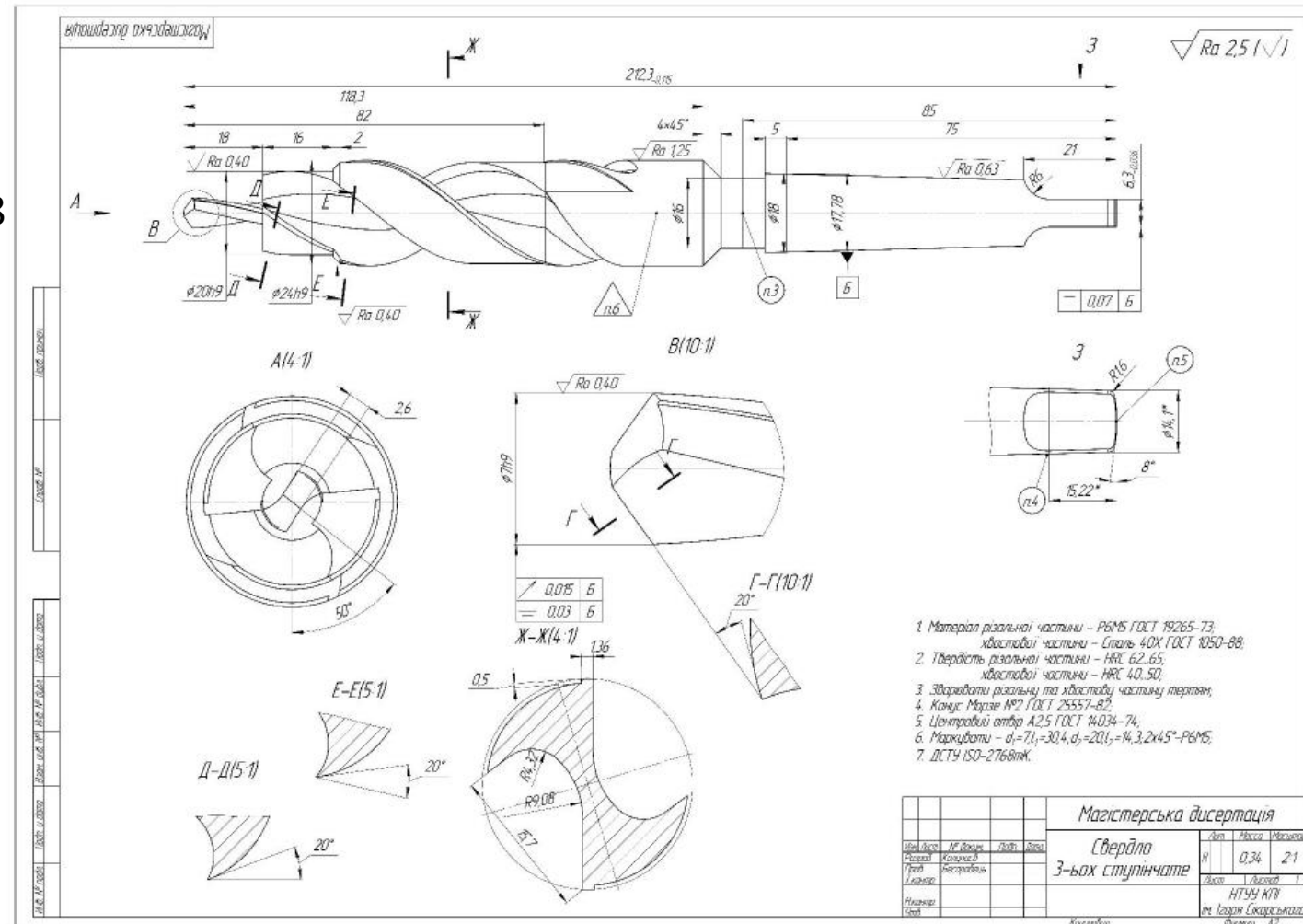


Проектування свердла

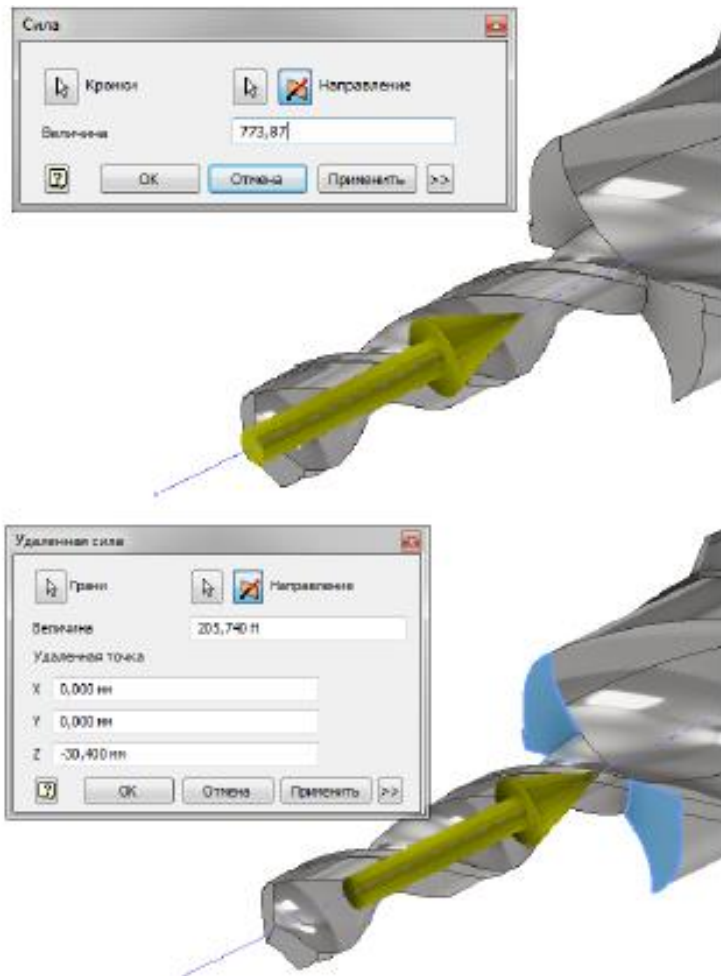
Характеристика інструменту

- Матеріал різальної частини – швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73;
- Матеріал хвостовика - Сталь 40Х ГОСТ 1050-88
- Головний кут в плані $\varphi = 125^\circ$;
- Задній кут $\alpha = 20^\circ$;
- Кут нахилу стружкової канавки $\omega = 20^\circ$;
- Кут нахилу поперечного леза $\psi = 50^\circ$;
- Крок гвинтових канавок $H_2 = 89,73$ мм;
- Ширина стрічки $f_2 = 1,36$ мм;
- Висота стрічки $q_2 = 0,5$ мм;
- Діаметри серцевин $d_2 = 2,6$ мм;

Робоче креслення інструменту

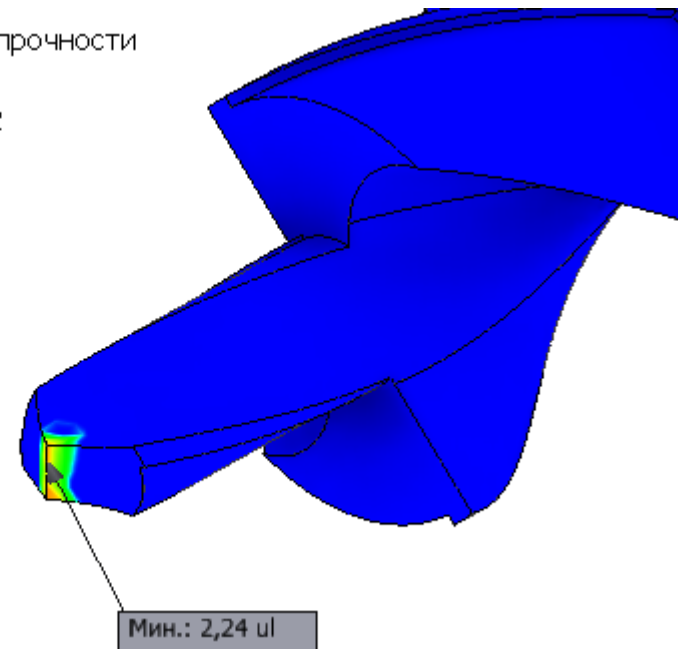
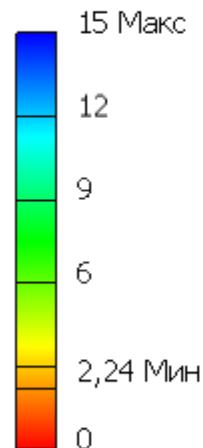


Перевірка свердла на стійкість



Коефіцієнт запасу міцності

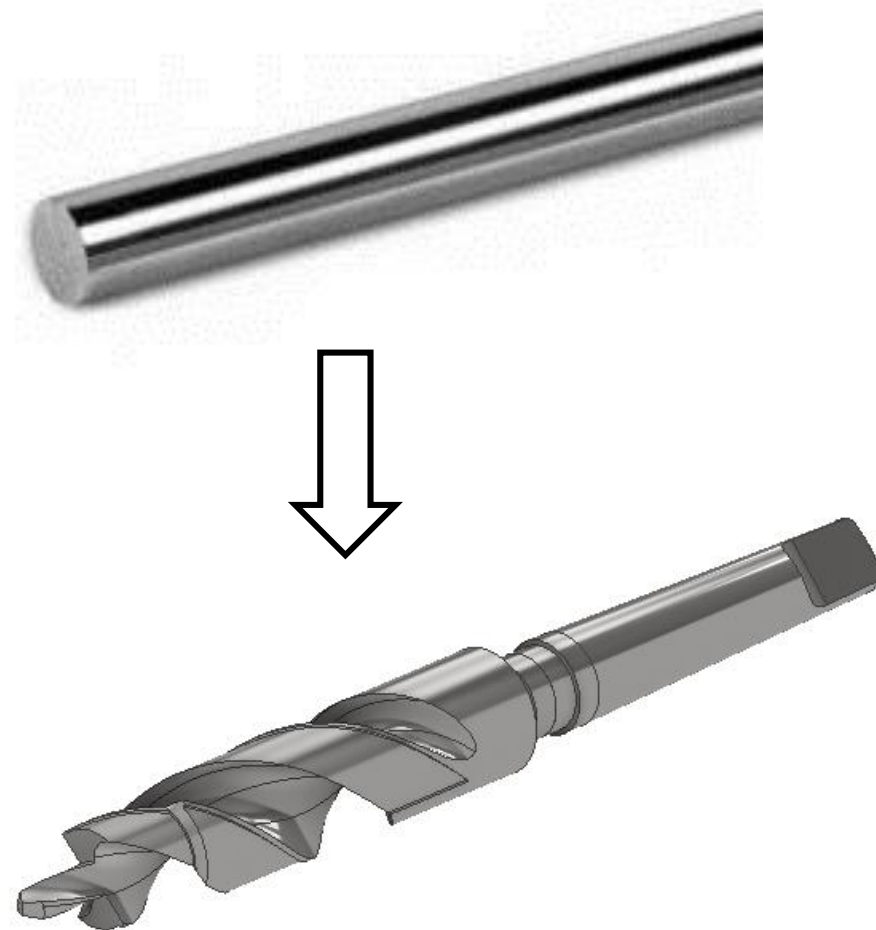
Тип: Коэфф. запаса прочности
Единица: ul
Пн 07.12.20, 11:10:12



Технологічний розділ

В рамках виконання технологічного розділу виконано:

1. Вибір заготовки для виготовлення інструменту;
2. Розробка маршрутно-операційної технології виготовлення інструменту;
3. Розрахунок припусків на обробку;
4. Розрахунок режимів різання.



Експериментальні випробовування

Мета випробовувань:

Визначення впливу режимів різання (частота обертання шпинделя та наявність ЗОТС) на співвісність та шорсткість отворів при свердлінні двоступінчастим свердлом, котре використовувалось на виробництві, та спроектованим триступінчастим свердлом.

Інструмент	№ досліду	Режими оброблення		Наявність ЗОТС
		V, м/хв	S, мм/об	
Двох ступінчатє свердло	1	43,35	Ручна подача	+
	2			-
	3	55,61		+
	4			-
Трьох ступінчатє свердло	1	43,35	Ручна подача	+
	2			-
	3	55,61		+
	4			-

При свердлінні використовувались:

Knuth KGB 30



LACTUCA MSF 5200



Експериментальні випробовування

Результати випробовувань та візуальний аналіз

Свердло двох ступінчат	1		Візуальна точність найкраща при використанні даного свердла, помірний шумовий супровід в процесі різання. Найменша температура оброблюваної поверхні. Наявність задирок.
	2		Низька візуальна точність отриманого отвору, процес різання супроводжувався підвищеним шумом. Знизилась температура оброблюваної деталі. Значний час на обробку. Наявність задирок.
	3		Візуальна точність різа набагато краща. Зменшився шумовий супровід в процесі різання. Дуже висока температура оброблюваної деталі. Наявність задирок.
	4		Візуальна точність обробленої поверхні в неналежному стані. Процес різання супроводжувався підвищеним шумом. Дуже висока температура оброблюваної деталі. Наявність задирок.

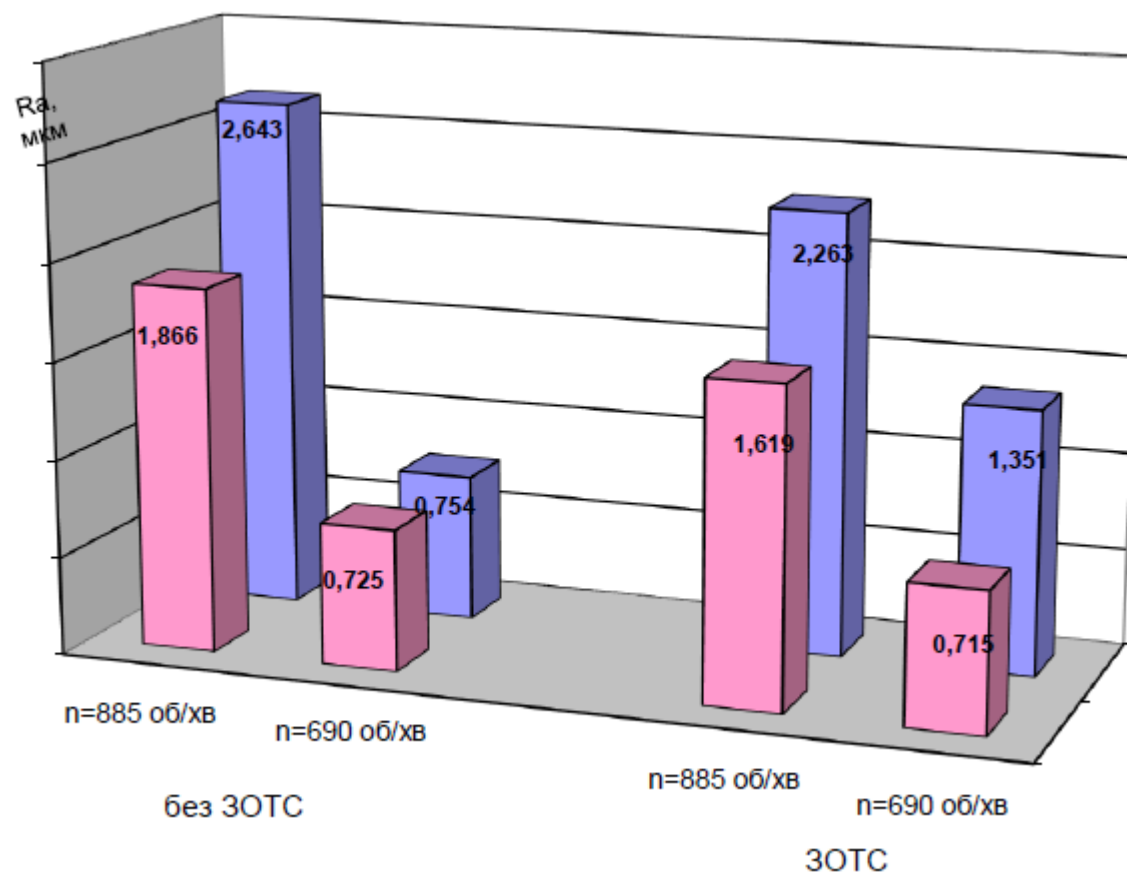
Свердло трьох ступінчат	1		Візуальна точність отвору в належному стані, процес різання не супроводжувався значним шумом. Температура деталі відносно низька. Пришвидшений процес різання. Відсутні задирки.
	2		Найкраща візуальна точність поверхні. Відповідає вимогам технологічного виробництва. Шумовий супровід не змінився. Температура деталі залишилась як і на попередньому досліді. Пришвидшений процес різання. Відсутні задирки.
	3		Візуально погана точність. Більший шумовий супровід відносно досліду №2 для даного інструменту. Температура деталі підвищилась. Відсутні задирки.
	4		Візуально краща точність за попередній аналіз. Більший шумовий супровід відносно досліду №2 для даного інструменту. Температура деталі підвищилась. Відсутні задирки.

Експериментальні випробовування

Дослідження шорсткості

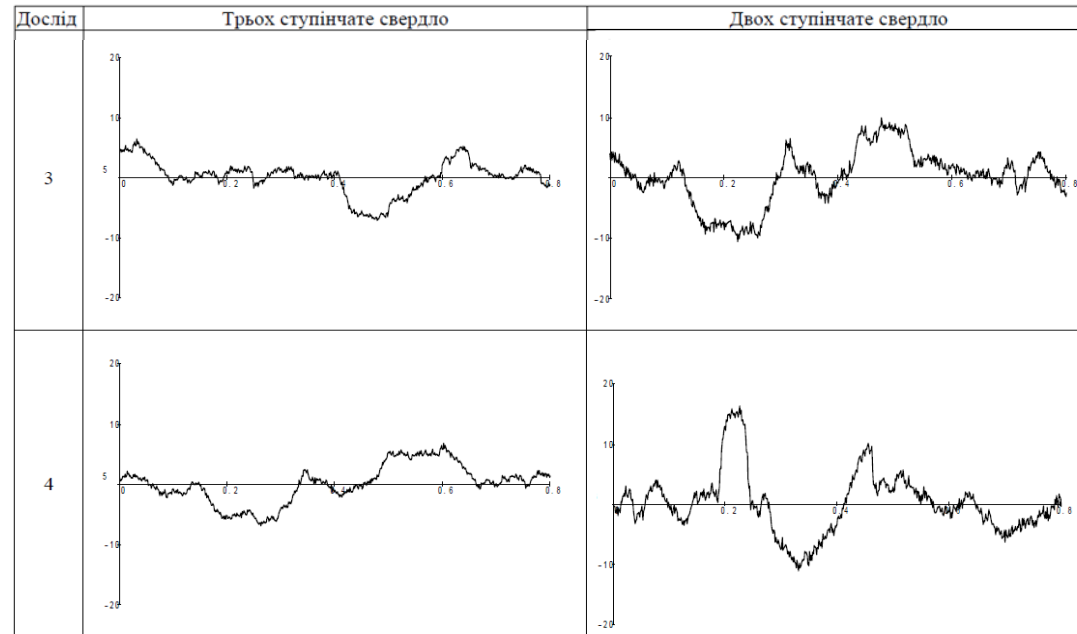
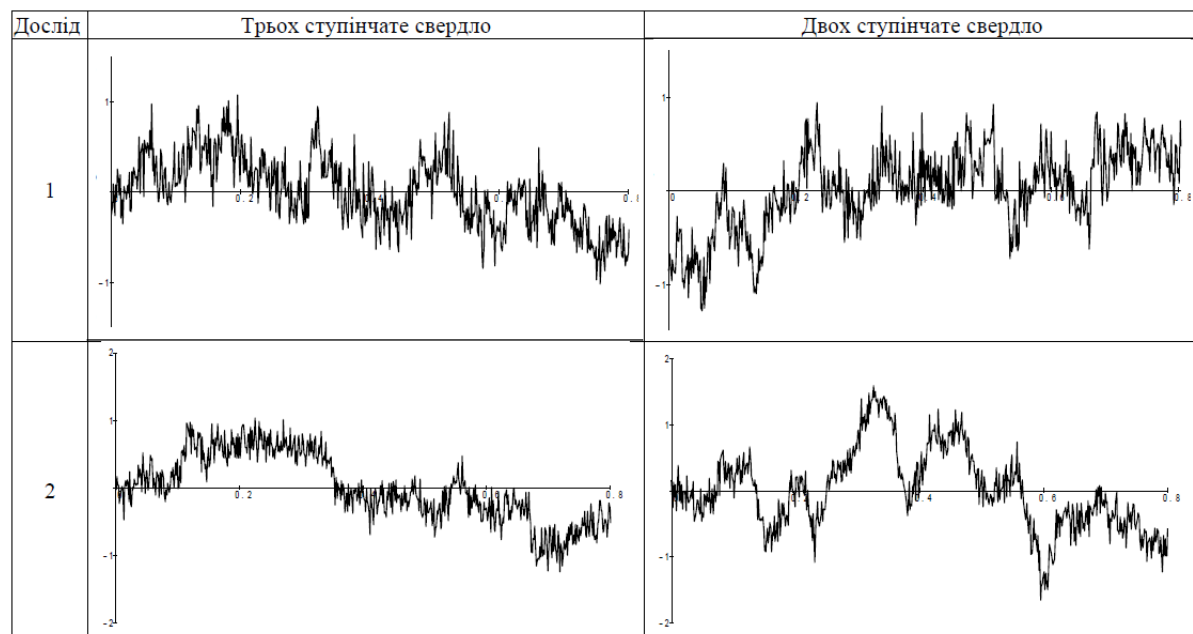
Дослідження №1 (3-ох ступінчатє свердло)								
№		885 об/хв	690 об/хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Вибраний отвір для дослідження при $l = 0,8$ мм		
I	1	+		+		0,82	1,028	0,977
	2	+		+		0,571	0,611	0,574
	3	+		+		0,653	0,626	0,666
II	4		+	+		0,435	0,431	0,38
	5		+	+		1,241	1,198	0,997
	6		+	+		0,701	0,506	0,55
III	7	+			+	1,44	1,352	1,426
	8	+			+	2,27	2,081	2,42
	9	+			+	1,946	1,899	1,957
IV	10		+		+	1,475	1,438	1,796
	11		+		+	3,275	2,075	1,764
	12		+		+	0,909	0,914	0,926

Дослідження №2 (2-ох ступінчатє свердло)								
№		885 об/хв	690 об/хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Вибраний отвір для дослідження при $l = 0,8$ мм		
I	1	+		+		0,545	0,569	0,502
	2	+		+		1,006	0,926	1,061
	3	+		+		0,845	0,63	0,703
II	4		+	+		1,236	1,158	1,313
	5		+	+		1,202	0,986	1,537
	6		+	+		1,736	1,322	1,668
III	7	+			+	3,271	3,234	3,288
	8	+			+	3,176	2,507	3,038
	9	+			+	2,284	1,646	1,346
IV	10		+		+	1,85	2,443	2,94
	11		+		+	2,059	1,912	2,175
	12		+		+	2,45	2,296	2,244



Експериментальні випробовування

Дослідження шорсткості

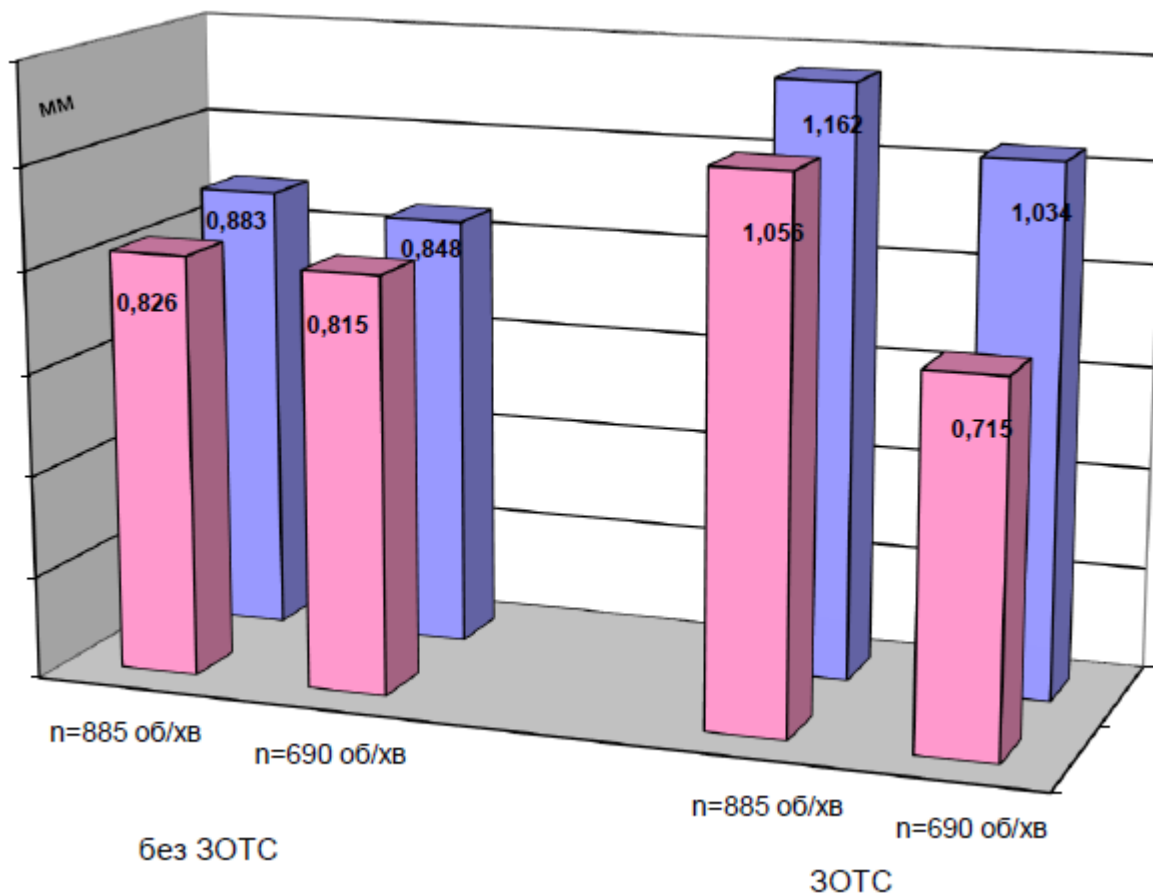


Експериментальні випробовування

Дослідження співвісності отворів

Дослідження №1 (3-ох ступінчатє свердло)										
№		885 об /хв	690 об /хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Координати центру вісі отвору				Δ, мм
						Ø7 мм		Ø20 мм		
						Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	
I	1	+		+		36,54	76,08	36,73	75,40	0,7060
	2	+		+		76,22	76,16	76,89	75,48	0,9546
	3	+		+		116,23	76,38	115,64	75,59	0,9860
II	4		+	+		36,52	116,13	36,68	116,83	0,7181
	5		+	+		76,23	116,32	76,05	117,03	0,7325
	6		+	+		116,02	116,49	115,94	117,18	0,6946
III	7	+			+	38,19	114,84	37,99	115,59	0,7762
	8	+			+	77,86	115,21	77,46	115,94	0,8324
	9	+			+	117,86	115,45	117,89	116,32	0,8705
IV	10		+		+	38,91	74,87	39,62	74,03	1,0999
	11		+		+	78,63	75,13	79,06	74,43	0,8215
	12		+		+	118,38	75,52	119,45	74,88	1,2468

Дослідження №2 (2-ох ступінчатє свердло)										
№		885 об /хв	690 об /хв	ЗОТС	Без ЗОТС	Координати центру вісі отвору				Δ, мм
						Ø7 мм		Ø20 мм		
						Y, мм	X, мм	Y, мм	X, мм	
I	1	+		+		32,98	75,29	33,45	74,72	0,7388
	2	+		+		72,03	74,23	72,28	73,79	0,5061
	3	+		+		112,36	73,40	113,33	72,69	1,2021
II	4		+	+		33,98	115,25	32,97	115,88	1,1904
	5		+	+		74,19	114,49	73,54	114,98	0,8140
	6		+	+		113,05	113,32	112,22	114,04	1,0988
III	7	+			+	32,63	75,61	33,32	74,82	1,0489
	8	+			+	72,62	75,00	72,73	74,34	0,6691
	9	+			+	111,86	74,73	112,44	74,00	0,9324
IV	10		+		+	32,79	115,44	31,40	116,16	1,5654
	11		+		+	71,78	115,25	71,10	115,76	0,8500
	12		+		+	111,77	114,60	110,97	115,31	1,0696



ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської дисертації було:

1. Розроблено конструкцію свердла триступінчастого;
2. Розроблено робоче креслення;
3. Спроектована технологія виготовлення інструменту;
4. Призначені режими різання при виготовленні інструменту;
5. Порівняння результатів обробки отворів спроектованим інструментом та інструментом, що використовується на підприємстві.

Затверджую:
Директор ТОВ з ПІ "БІБУС Україна"
(Позур С.В.)
11 12 2020 р.



Акт
приймання робіт
науково-дослідної роботи
«Розробка конструкції та технології виготовлення свердла трьох ступінчастого»

В результаті виконання робіт з розробки конструкції та технології виготовлення свердла трьох ступінчастого для обробки алюмінієвих профілів, виконавець надав:

- креслення свердла трьох ступінчастого,
- технологію виготовлення свердла трьох ступінчастого,
- розрахунки режимів різання,
- обґрунтування доцільності застосування нової конструкції свердла.

Результати роботи планується реалізувати при свердлінні алюмінієвих профілів.

Замовник:
Менеджер
 Ратніков С.П.

Виконавець:
В.О. завідувача кафедрою КМ
 Охріменко О.А.
Науковий керівник
 Бесарабець Ю.Й.
Студент групи МІ-91мп
 Колупасєв Д.В.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!