Міністерство освіти і науки України

Державний університет "Житомирська політехніка"
Кафедра механічної інженерії

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
механічної інженерії
_____ Мельник О.Л.
(підпис) (прізвище, ініціали)

МАГІСТЕРСЬКА
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»
на тему: «Обґрунтування конструкції та технології виготовлення шнекового екструдера 3D принтера для друку відходами пластику»

МІ 131.00.1/М 342/с 263 00-ПЗ

Студент групи ПМ-137м Козяр Ярослав Анатолійович _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Мельник О.Л. _____
(науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Житомир 2021
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра механічної інженерії
Освітній ступінь: магістр
Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри
механічної інженерії
_____ Мельник О.Л
(підпис) (прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Козяру Ярославу Анатолійовичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування конструкції та технології виготовлення шнекового екструдера 3D принтера для друку відходами пластику»

Керівник роботи: Мельник Олександр Леонідович, к.т.н., доц.

Затверджена наказом по університету від « »_____ 2021 р. №____

2. Строк подання студентом роботи - згідно графіку захисту.

3. Вихідні дані до роботи: опубліковані в науковій періодиці матеріали досліджень по стану утилізації відходів пластику; технічна характеристика комплектуючих екструдера; матеріали довідників по проектному розрахунку екструдерів.

4. Перелік завдань, які потрібно вирішити:

- на основі аналітичного огляду пруткових та шнекових екструдерів обґрунтувати базову конструкцію екструдера для друку відходами пластику;

- виконати необхідні проектні розрахунки деталей екструдера та обґрунтувати конструктивні і компоновані рішення, виконати 3D модель екструдера та виконати імітаційні дослідження по розподілу температурного поля засобами CAE;

- обґрунтувати (в апаратному та програмному аспектах) параметри системи управління приводом екструдера;

- обґрунтувати технологію виготовлення деталей екструдера.

5. Орієнтовний перелік графічного матеріалу: матеріали до аналітичного огляду особливостей пруткових та шнекових екструдерів та їх складових; модель вузла екструдера та кресленики окремих деталей; епюри дослідження напружено-деформованого стану вузла екструдера та епюри термічних досліджень екструдера; апаратні елементи управління приводом екструдера; графічні матеріали до технології виготовлення деталей редуктора.

6. Дата видачі завдання ____ _____ 2021року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання	Примітка
1.	Виконання першого розділу	Січень-березень 2021р.	
2.	Виконання другого розділу	Березень-травень 2021р.	
3.	Виконання третього розділу	Травень-вересень 2021р.	
4.	Кінцеве оформлення змісту, висновків, графічної частини магістерської роботи	Жовтень 2021р.	
5.	Підготовка доповіді, ілюстративного матеріалу та презентації	Листопад 2021р.	
7.	Подання магістерської роботи на кафедру	Грудень 2021 р.	
8.	Захист кваліфікаційної роботи в ЕК	Грудень 2021 р.	

Студент _____ Козяр Я.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Мельник О.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Козяр Я. А. «Обґрунтування конструкції та технології виготовлення шнекового екструдера 3D принтера для друку відходами пластику» – Рукопис.

Магістерська кваліфікаційна робота представлена на здобуття ступеня вищої освіти «магістр», галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 131 «Прикладна механіка». – Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, 2021.

Кваліфікаційна робота містить 93 аркушів формату А4 пояснювальної записки, в тому числі 82 рисунків, 6 таблиць та список літератури з 26 джерел.

У кваліфікаційній роботі вирішуються завдання проектування конструкції та виготовлення шнекового екструдера 3D принтера для реалізації 3D друку відходами пластику.

На основі розгляду питання раціональної утилізації відходів пластику запропонований варіант утилізації, який передбачає використання відходів пластику як сировини для 3D друку.

Розроблено 3D модель, та технічну документацію шнекового екструдера 3D принтера, обґрунтовано вибір складових компонентів вузла екструдера.

Проведено термічні дослідження у програмі SolidWorks Simulation, з метою одержання розподілу температур для подальшої оцінки працездатності конструкції.

Виконано основні розрахунки режимів обробки, вибрано обладнання для виготовлення елементів шнекового екструдера, виготовлено прототипи деталей та досліджено їх характеристики.

Ключові слова: адитивні технології, тривимірний друк, переробка пластику, шнековий екструдер, механічна обробка

SUMMARY

Koziar Ya. A. "Substantiation of the design and manufacturing technology of the screw extruder of a 3D printer for printing with plastic waste" - Manuscript.

The master's qualification work is presented for the degree of "master's degree", field of knowledge 13 "Mechanical Engineering" specialty 131 "Applied Mechanics". - Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, 2021.

The qualification work contains __ A4 sheets of explanatory note, including __ figures, __ tables and a list of references from ___ sources.

The problem of design development and manufacture of a screw extruder 3D printer for the implementation of 3D printing with plastic waste was solved in the qualification work.

Based on the consideration of the issue of rational utilization of plastic waste, a variant of utilization which involves the use of plastic waste as a raw material for 3D printing was proposed.

The 3D model and technical documentation of the screw extruder of the 3D printer were developed, the choice of constituent components of the extruder unit was substantiated.

Thermal studies were performed by program SolidWorks Simulation in order to obtain a temperature distribution for further evaluation of the performance of the structure.

The basic calculations of processing modes were executed, the equipment for manufacturing of elements of the screw extruder was chosen, prototypes of details were made and their characteristics was investigated.

Key words: additive technologies, three-dimensional printing, plastic processing, screw extruder, machining

Зміст

ВСТУП 8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЕКСТРУДЕРІВ ТА ЇХ КОМПОНЕНТІВ 12
1.1. Огляд пруткових екструдерів призначених для тривимірного друку 12
1.2. Огляд шнекових екструдерів для тривимірного друку 15
Висновки до розділу 21
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ЕКСТРУДЕРА ШНЕКОВОГО ТИПУ 22
2.1. Визначення факторів умов роботи екструдера. 22
2.2. Розрахунок основних параметрів шнека. Створення тривимірної моделі. 23
2.3. Розрахунок матеріального циліндру 31
2.4. Проектування підшипникової опори 35
2.5. Розробка системи управління нагрівом та головного приводу 39
2.6. Проектування загальної збірки екструдера, дослідження її характеристик. 45
Висновки до розділу 50
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШНЕКОВОГО ЕКСТРУДЕРА 52
3.1. Технологія виготовлення корпусу та втулки підшипникового вузла 52
3.2. Технологія виготовлення кронштейну головного приводу 66
3.3 Програмування контролера головного приводу 77
3.4. Практична частина. Виготовлення складових екструдера. 82
3.4.1. Виготовлення кронштейну кріплення шпинделя 82
3.4.2. Виготовлення корпусу підшипникового вузла 86
3.4.3 Виготовлення алюмінієвої рами 92
ВИСНОВКИ 95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ 96
ДОДАТКИ 99

ВСТУП

Раціональне використання відходів пластику, з урахуванням сучасного стану накопичення відходів, беззаперечно є пріоритетним завданням людства. За інформацією Міністерства екології та природних ресурсів України, а також за результатами дослідження [1] щорічно середньостатистичний українець викидає на смітник близько 250 кілограмів побутових відходів. З цих 250 кілограмів мінімум 50 можна відправляти не на звалище, а переробляти. Незважаючи на це більшість промислових компаній та приватних домогосподарств не задумується над проблемою утилізації відходів, що кожного дня ускладнює майбутнє для наступних поколінь людей. Десятки проектів по сортуванню, сотні проектів періодичного прибирання громадських місць, лісосмуг, пляжів тощо, тисячі конференцій на яких обговорюється питання поводження зі сміттям не дають значного результату у нашій країні.

Водночас відомі успішні приклади за межами України, які демонструють раціональне поводження зі сміттям та відходами. Однією з країн, яку часто ставлять у приклад, є Швеція. Вона не лише переробляє 99% відходів, що генеруються в країні, але навіть імпортує відходи з інших країн. Україна також імпортує сміття, але між нами та Швецією є одна відмінність – Україна не переробляє більшу частину свого сміття, збираючи його на полігонах, в той час, коли, переробні підприємства потребують цієї сировини. Українці не раціонально поводяться з відходами, не сортують їх, що, зі свого боку, унеможливлює сортування на полігонах та переробку.

Розглядаючи причини такого стану справ з утилізацією відходів, нами виділено декілька основних з них – законодавчі, матеріальні, та соціальні. Законодавчі причини – це насамперед відсутність законів, що регламентують необхідність обов'язкового роздільного збору побутових відходів. Матеріальні причини є наслідком

законодавчих та несуть за собою відсутність інфраструктури для сортування. Соціальні є більш глибокими, і, на нашу думку, пов'язані з недостатньою обізнаністю та низьким рівнем відповідальності. Соціальні причини відображають підхід людей до сортування, що проявляється у байдужості людей до цього питання. Тому для привернення уваги суспільства до проблеми утилізації пластику, в даній кваліфікаційній роботі пропонується виконувати друк художніх об'єктів відходами пластику на 3D принтері з розробленим екструдером спеціальної конструкції.

Виконана нами робота в глобальному вимірі має за мету змінити підхід людей до сортування та переробки сміття. Зокрема в даній кваліфікаційній роботі набула подальшого розвитку ідея використання адитивних технологій для тривимірного друку вторинним подрібненим пластиком. На нашу думку, серед іншого, переробка сміття саме таким способом дозволить створювати об'єкти, що, наприклад, можуть стати витворами вуличного мистецтва, котрі спонукатимуть переглянути кожного свій підхід щодо сортування та переробки.

Звичайно ми не перші, хто розглядає можливість використання адитивних технологій у переробці сміття з виготовленням саме об'єктів мистецтва для привертання уваги. Так наприклад, у Амстердамі існує проект «The New Raw» [2], який спеціалізується на виготовленні громадських меблів із пластикових відходів, і реалізує ідею «Надрукуй своє місто». Для тривимірного друку використовуються роботи, це дозволяє друкувати вироби будь-якої форми. І хоч цей проект є працюючим, на нашу думку, він є технічно не досконалим. Необхідність покупки роботів, що мають вартість, яка перевищує вартість малого підприємства із переробки пластику, може призвести до економічної недоцільності проекту. А використання ними обладнання, що має низьку продуктивність, та потребує додаткової підготовки сировини у вигляді гранул, робить такий проект в довгостроковій перспективі збитковим таким, що, на нашу думку, не зможе існувати без допомоги дотацій.

Найбільш повторюваний у світі проект з переробки пластику – «Precious Plastic»[3], що направлений на те, щоб продемонструвати цінність пластикових відходів. У одному із своїх субпроектів [4] використовує перероблений пластик, як сировину для тривимірного друку, але при цьому проміжним є створення 3D нитки.

Такий спосіб є достатньо поширеним у світі проте він потребує подвійного плавлення, що є недоцільним використанням енергетичних ресурсів.

Зважаючи на вище описане, нами запропоновано шнековий екструдер, як елемент 3D принтеру із продуктивністю 5-8 кг/год, що дозволить проводити економічно доцільний тривимірний друк. Конструкція екструдера розроблена таким чином, щоб його можна було встановлювати на будь-яку 3-х осьову ЧПК машину, що дозволяє швидко масштабувати запропоновану нами ідею.

Актуальність роботи.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці шнекового екструдера для тривимірного друку вторинними подрібненими пластиками. На сьогодні переробка пластикових відходів є важливим завданням, котре ставлять перед собою більшість розвинених країн. З свого боку має місце популярність інвестування та створення підприємств, діяльність яких базується на переробці пластикових відходів, адже проведені оцінки показують, що вартість сировини, яка отримана переробкою, є на 20-30% нижчою ніж аналогічна отримана з продуктів нафтовою промисловості.

Запропоновані в нашому проекті технічне рішення є, в першу чергу, не комерційними. Спроектований в роботі шнековий екструдер планується використовувати як інструмент для створення соціального самоокупного проекту. Будучи соціальною складовою великої індустрії з переробки відходів, серед іншого, він спрямований також на вирішення соціальної проблеми подолання основного бар'єру між підприємцями та людьми (домогосподарствами) – відсутність сортування. Він дозволить поєднуючи відходи пластику, новітні технології тривимірного друку та мистецтво, таким чином здійснити вплив на ставлення до сортування та переробки відходів пластику в суспільстві. Необхідність у подолання бар'єру відношення до сортування є однією із основних проблем на більшості переробних підприємств, що робить нашу роботу актуальною. Можливість друку елементів міської інфраструктури з неповторністю форм з використанням інших технологій робить продукт діяльності розробленого нами обладнання унікальним.

Мета та задачі дослідження.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка конструкції та технології виготовлення екструдера шнекового типу 3D принтера для можливості друку подрібненим вторинним пластиком.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- розрахувати параметри вузлів шнекового екструдера, здійснити вибір компонентів екструдера;
- виконати 3D модель екструдера та 2D документацію;
- виконати розробку системи управління екструдером;
- з використанням сучасних САПР виконати імітаційне моделювання процесу нагріву для встановлення розподілу температур з метою обґрунтування конструктивно-режимних параметрів екструдера;
- виконати технологічну підготовку для виготовлення деталей екструдера;
- виготовити прототипи деталей та оцінити їх відповідність конструкторській документації.

Предмет дослідження – конструкція шнекового екструдера для забезпечення можливості друку відходами пластику.

Об'єкт дослідження - 3D принтер для друку відходами пластику.

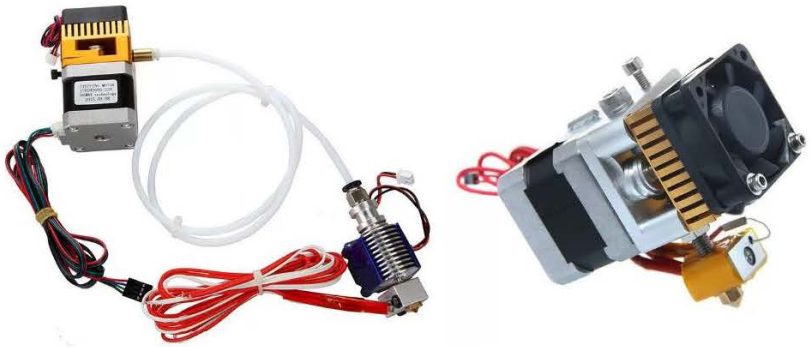
Наукова новизна – набули подальшого розвитку підходи до переробки відходів пластику шляхом апаратної реалізації можливості використання їх як матеріалу для 3D друку.

Практична значимість роботи полягає у розробці екструдера для друку відходами пластику, котрий може бути змонтований на більшість машин 3D друку.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЕКСТРУДЕРІВ ТА ЇХ КОМПОНЕНТІВ.

1.1. Огляд пруткових екструдерів призначених для тривимірного друку

Для тривимірного друку за технологією FDM (fused deposition modeling) здебільшого використовують пруткові екструдери які бувають двох типів Bowden та Direct загальний вигляд яких зображено на рис.1.1.



а) *б)*

Рис. 1.1. Загальний вигляд екструдерів пруткового типу: а – тип Bowden; б – тип Direct

Bowden - має розділений корпус механізму подачі від хотенду – частина екструдера, яка складається із радіатора, термобарє'ра та нагрівного блоку. Застосовується в 3D-принтерах для плавлення пластика і видавлювання його через сопло. Пластикова нитка подається віддалено від механізму подачі по трубці яка виготовлена із PTFE (Політетрафторетилен) до хотенду. Така конструкція дозволяє зменшити масу каретки екструдера. Полегшена каретка дозволяє переміщатися швидше що підвищує продуктивність друку

Direct – у цій конфігурації кроковий двигун знаходиться безпосередньо на друкуючій головці. Він проштовхує пруток безпосередньо до хотенду.

Незалежно від типу екструдера хотенд має конструктивні особливості які показано на рис 1.2.

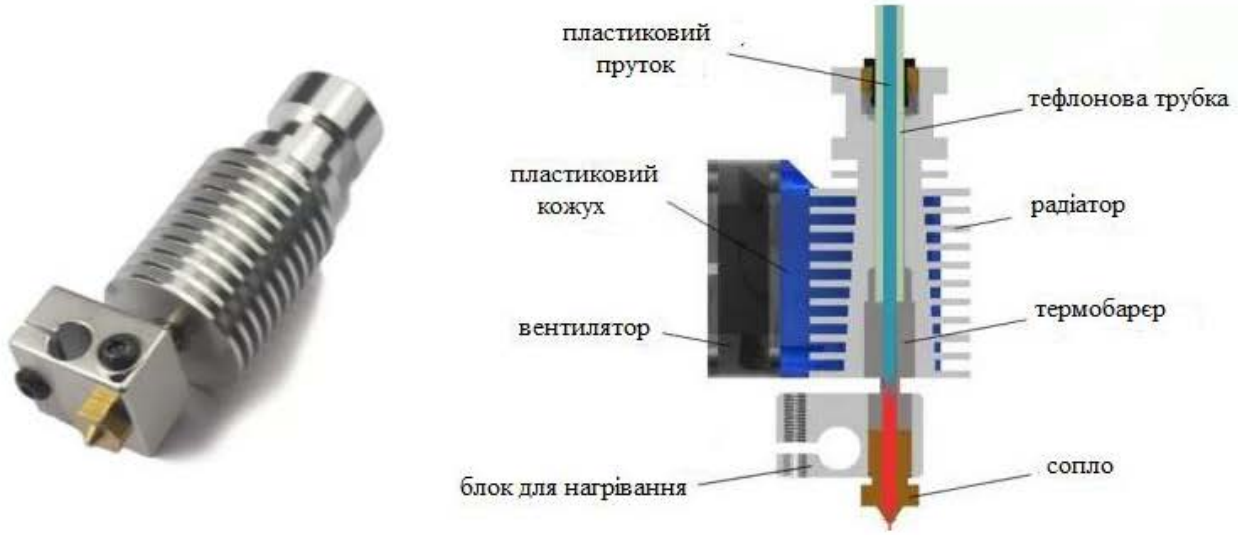


Рис.1.2. Хотенд екструдера для тривимірного друку пластиковим прутком

Процес плавлення пластику відбувається безпосередньо у соплі . На виході із сопла ми отримуємо розплавлену нитку рівну діаметру його вихід ного отвору. Найчастіше сопла виготовляють з латуні, що обумовлено теплопровідністю, легкістю обробки та їх адгезійними характеристиками. Стандарте сопло такого екструдера має вигляд зображений на рис.1.3.

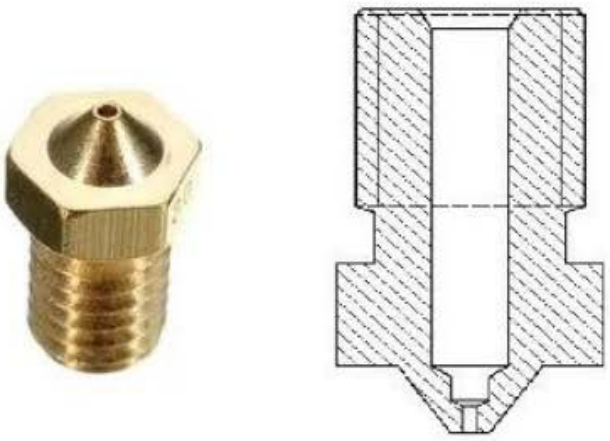


Рис.1.3. Загальний вигляд сопла екструдера

Блок для нагрівання призначений для базування та фіксації нагрівного елемента та датчика температури. Найчастіше виготовляється з алюмінію, затиск нагрівного

елемента та датчика температури відбувається за допомогою фіксуючих гвинтів. Найчастіше нагрівний блок має такий вигляд як показано на рис. 1.4.

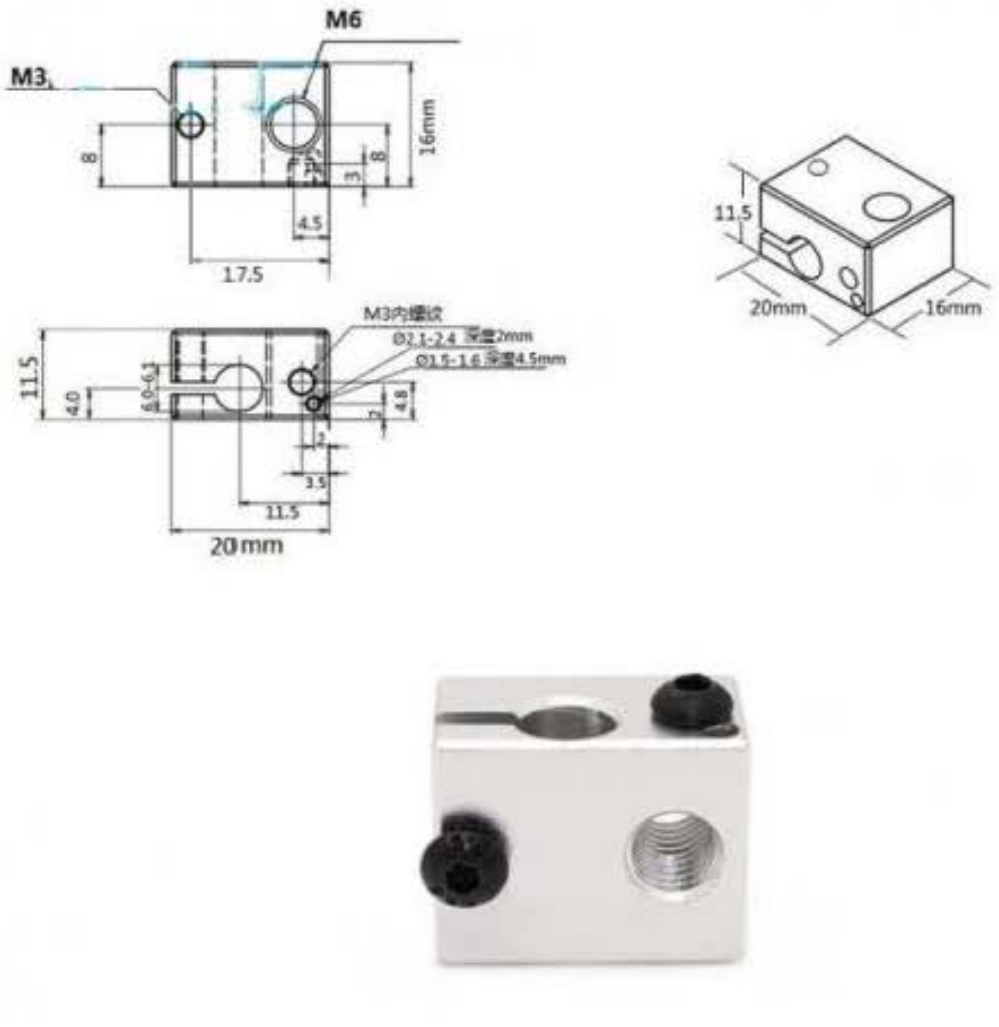


Рис.1.4. Загальний вигляд нагрівного блоку

Однією із найвідповідальніших частин хотенду є термобар'єр. По його каналу проходить подача пластику безпосередньо до сопла, тому його поверхні повинні бути точними та полірuватися для забезпечення необхідної шорсткості. Він слугує також для того, щоб плавлення пластику відбувалося безпосередньо у соплі, захищаючи інші частини хотенда від небажаних температур. Термобар'єри конструктивно можуть виготовлятися цільними або із використанням вставки із PTFE, що відображено на рис.1.5. Також вони можуть призначені для різних діаметрів прутка.



Рис.1.5. Стандарті конфігурації термобар'єрів пруткових екструдерів.

Радіатор хотенда призначений для відведення тепла. Виготовляється здебільшого з алюмінію через теплопровідність цього матеріалу. У більшості випадків комплектується вентилятором на пластиковому кріпленні для охолодження. Відводить та розсіює тепло з термобар'єра запобігаючи передчасному плавленню пластику. Форма та розмір залежить від потужності нагрівача та конструкції хотенду.

1.2. Огляд шнекових екструдерів для тривимірного друку

Шнекові екструдери не набули такої ж популярності як пруткові, через важкість в налаштуванні та необхідність виготовлення машини тривимірного друку значно більших габаритів. Але як і для пруткових більшість з них мають однакові компоненти і відрізняються тільки їх потужністю та компоновкою. Виконавши аналіз шнекових екструдерів [11;13-21] нами було виокремлено конструкцію, яка, на нашу думку, є найбільш раціональною та такою, яку можна визначити як узагальнену для характеристики шнекових екструдерів. Загальний вигляд такого екструдера показано на рис.1.6.

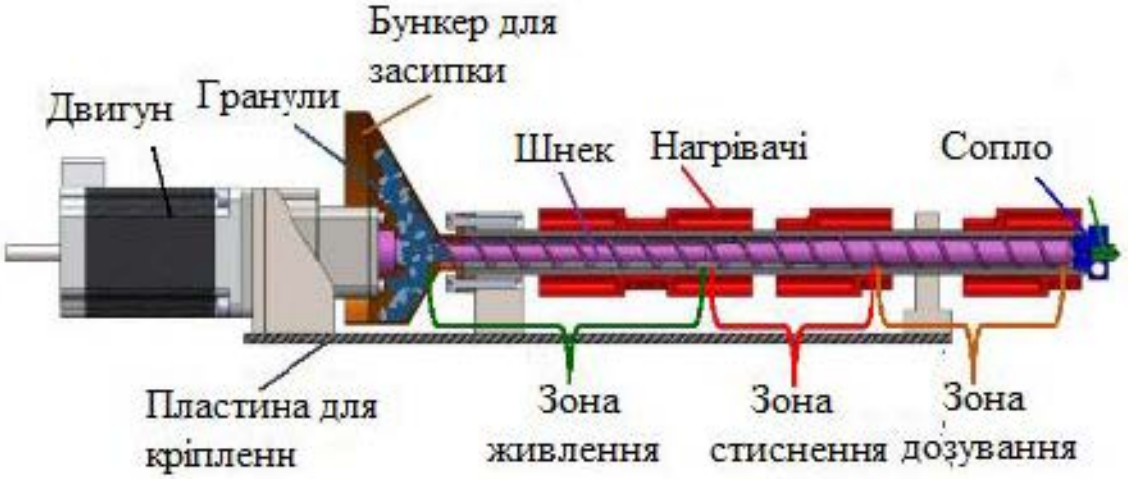


Рис.1.6. Загальний вигляд екструдера шнекового типу

Двигун екструдера. Здебільшого використовують крокові двигуни, з драйверами. Використання двигунів такого типу дозволяє отримати стабільність обертання шнеку, при збережені необхідного моменту. Найчастіше використовують крокові двигуни типу Nema 17; Nema 23; Nema 34 та інші. Вибір конкретної моделі двигуна залежить від умов роботи та необхідної продуктивності. Для збільшення крутного моменту у конструкціях екструдерів часто використовують планетарні редуктори. Загальний вигляд такого двигуна з планетарним редуктором показано на рис.1.7.



Рис.1.7. Загальний вигляд крокового двигуна екструдера

Нагрівачі. Для нагрівання шнекової пари використовують кільцеві нагрівачі різної потужності. Найчастіше використовують нагрівачі виготовленні з латуні із вмонтованою термопарою, але можуть бути і міканітовими, керамічними, чи з нержавіючої сталі. Загальний вигляд нагрівачів зображено на рис.1.8.



Рис1.8. Загальний вигляд кільцевих нагрівачів

Шнекова пара виготовляється із спеціальних легованих сталей зі зміцненням поверхневого шару за допомогою азотування. В збірці подібних екструдерів шнек часто замінюють шнековим свердлом для здешевлення конструкції. Параметри шнекової пари розраховуються в залежності від необхідної продуктивності. Зразок шнекової пари для екструзії полімерів показано на рис 1.9.



Рис.1.9. Зразок шнекової пари для екструзії полімерів

Розглянемо більш детально конструктивні елементи шнекових пар. Шнекова пара складається із матеріального циліндру та шнеку. Основними елементами шнека є геометричні параметри його гвинтової канавки. Розглянемо їх на типовій геометричній схемі показаній на рис.1.10.

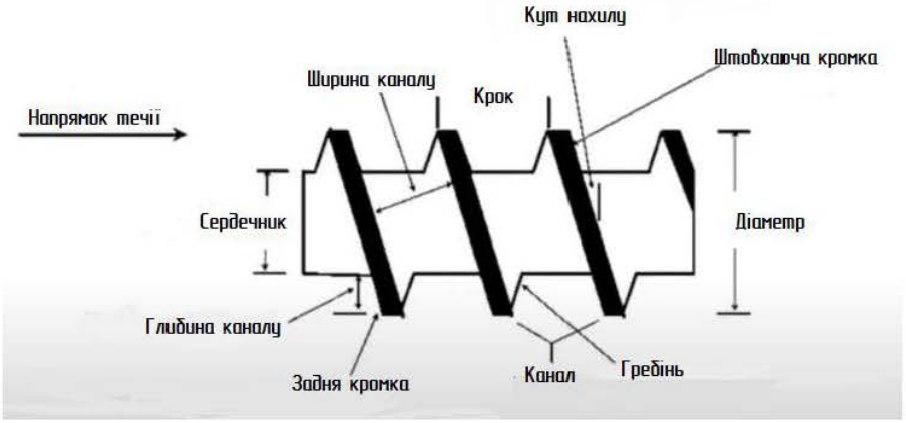


Рис.1.10 Типова схема геометричних параметрів витків шнека

Шнек (гвинт Архімеда, буквально з німецького schnecke - равлик) є металевим стрижнем з гвинтоподібною поверхнею. Шнек є основним робочим елементом екструдерів, термопластавтоматів та іншого обладнання для переробки полімерних матеріалів.

Обертання шнека забезпечує поступальне переміщення матеріалу, також його розігрів і гомогенізацію. Іншими словами, шнек можна уявити, як стрижень змінного діаметру, в якому вирізана спіральна канавка.

Зовнішній діаметр шнека – відстань між крайніми точками по різні боки осі, зовнішній діаметр однаковий практично для всіх типів екструдерів. Зазор між шнеком і циліндром зазвичай роблять дуже малим, відношення величини цього зазору до радіусу, як правило, становить 0,001%, але може коливатися від 0,0005 % до 0,002 %. Витки, що розміщені по всій поверхні шнека, при обертанні забезпечують безперервну подачу підготовленої та розплавленої маси формуючого інструменту. Продуктивність екструдерів безпосередньо залежить від геометричних розмірів та

конфігурації шнеків. Тому при виборі інструменту враховуються такі характеристики:

- діаметр стрижня (D), його довжина (L), а також співвідношення довжини відносно діаметра (L/D);
- висота витків на різних ділянках шнека h1, h2 тощо;
- довжина ділянок шнеків з різною висотою витків L1, L2 тощо;
- ширина гребня гвинта (e);
- кут гвинтової нарізки (ϕ);
- відстань межі витків - крок витка (t).

Згідно з діючими українськими та міжнародними стандартами ISO 18115-1:2013, шнеки виготовляють у загальноприйнятих типорозмірах. Зазвичай діаметр робочого інструменту становить 20, 32, 45, 50, 52, 55, 60, 63, 90, 125, 160, 200, 250, 320 мм. Залежно від конструкційних особливостей екструдери поділяються на короткошнекові та довгошнекові. Їх тип визначається за пропорційним співвідношенням довжини до діаметра (L/D). Показники короткошнекових екструдерів варіюються в діапазоні від 12 до 18, довгошнекові лінії починаються від 30 і вище. У найбільших шнеках співвідношення довжини до діаметра сягає 36.

Залежно від типу сировини, що переробляється, шнеки можна розділити на універсальні і спеціальні. Перші призначені для переробки різної сировини, останні розраховані на роботу з певним матеріалом, наприклад, поліпропіленом, поліетиленом високого і низького тиску, ПВХ і т. д. працездатність екструдерів. Найбільш потрібні типи шнеків представлені нижче на схематичних рисунках.

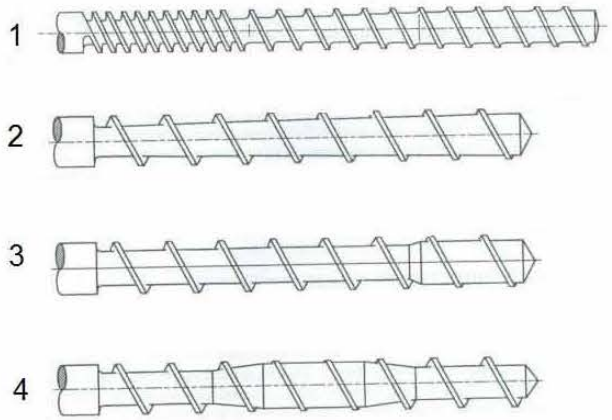


Рис.1.11. Типи шнеків :

1. типовий шнек із збільшеною західністю у зоні живлення;
2. шнек без зон дозування та живлення;
3. шнек із різким стисненням;
4. декомпресійний.

На шнеку можуть розташовуватися різні елементи: Меддока, Ігена, Дрея та інші, що сприяють додатковому перемішування та гомогенізації полімерної маси.

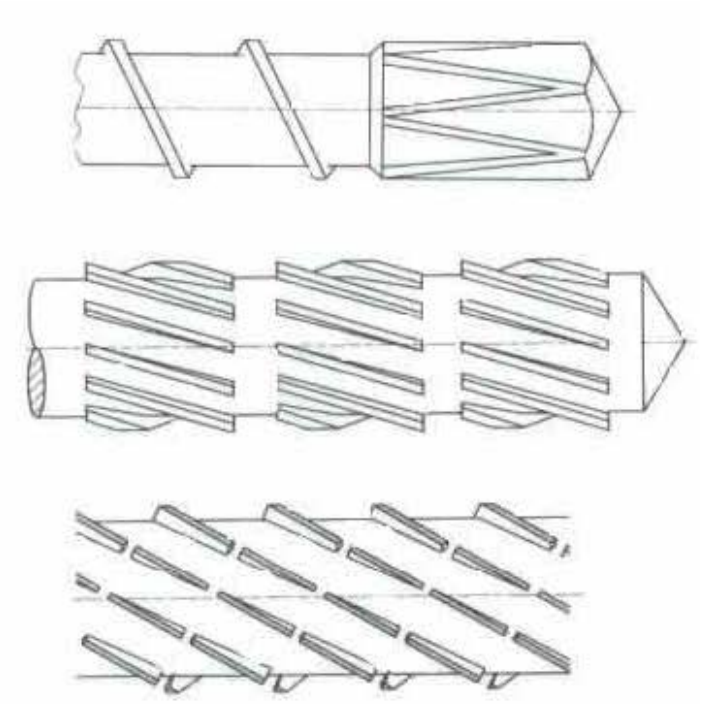


Рис.1.12. Елементи Меддока (а), Ігена (б) та,- Дрея (в)

Шнекова пара складається з шнека та циліндра, останні поділяються на монолітні та збірні. Циліндри для одношнекових екструдерів найчастіше роблять збірними, що складаються з укороченої захоплюючої втулки (до 3D) та гладкої труби циліндра. Для того, щоб покращити захоплюючі властивості шнека, завантажувальне вікно циліндра розташовують зі зміщенням від центральної осі, а на ділянці циліндра

в зоні живлення наносять поздовжні або косі насічки, що дозволяють ефективніше захоплювати гранули полімеру.

Висновки до розділу

Виконавши аналіз існуючих у FDM тривимірному друці конструкцій екструдерів, нами було виокремлено прутковий та шнековий типи екструдерів, як перспективні у для подальшого удосконалення. Виконавши детальне теоретичне дослідження компонентів кожного із них, встановили що, для досягнення мети кваліфікаційної роботи, доречно зупинитися на розробці екструдеру шнекового типу, зо обумовлено продуктивністю та енергоефективністю екструдера даного типу.

На нашу думку для досягнення поставленої в роботі мети є не доцільним створення додаткової лінії по переробці пластикових відходів у 3д нитку для використання екструдерів пруткового типу. Адже це понесе за собою не тільки додаткові витрати на апаратну частину. Недоцільність використання пруткових екструдерів в даному випадку також обумовлюється їх не довговічністю з урахуванням абразивних властивостей пластиків.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ЕКСТРУДЕРА ШНЕКОВОГО ТИПУ

2.1. Визначення факторів умов роботи екструдера.

Процес проектування обладнання, будь-якого механізму чи приладу починається із виділення факторів умов роботи у відповідності до яких підбираються параметри обладнання. Для екструдерів насамперед таким параметром є сировина, що в нашому випадку пластик. В кваліфікаційній роботі планується використовувати для друку наступні види пластиків:

– PET (Поліетилентерефталат) з температурою плавлення при переробці методом екструзії в межах 200-300 ℃

– HDPE (Поліетилен високої щільності) температура плавлення при переробці методом екструзії в межах 160 – 300 ℃ ;

– LDPE (Поліетилен низької щільності) - температура плавлення при переробці методом екструзії в межах 110 – 180 ℃ ;

– інші, які є безпечними для переробки і не виділяють шкідливих речовин;

Пластики котрі ми плануємо використовувати мають температуру плавлення не більше 300℃ . Враховуючи, що ця температура є номінальною, для отримання запасу по фактору температури надалі розглядаємо температуру 400℃. Ще одним необхідним фактором є продуктивність шнеку, приймаємо як її бажане значення на рівні 5 кг/год.

Продуктивність є ключовим фактором для визначення геометричних параметрів шнекового екструдеру. Збільшення необхідної продуктивності несе за собою пропорційне збільшення самого шнеку. Вибрана нами продуктивність шнеку є максимально допустимою для нашої конструкції, через ряд габаритних та масових обмежень у проектуванні шнекового екструдеру.

Не менш важливими фактором у роботі екструдера є запобігання абразивного зношування шнеку та матеріального циліндру. Враховуючи те, що планується використання подрібненого вторинного пластику, інтенсивність такого зношування у елементах нашої конструкції планується навіть більшою ніж при звичайні екструзії гранульованим пластиком.

Для мінімізації зношування в технологічному процесі виготовлення шнеку бажаним є здійснення поверхневого зміцнення шнеку та гільзи матеріального циліндру за допомогою азотування їх поверхонь. Також конструкція деталей підбирається таким чином, щоб з максимальною експлуатаційною зручністю була забезпечена можливість заміни зношених компоненти на нові або відновлення їх поверхонь та повернення в загальну збірку.

2.2. Розрахунок основних параметрів шнека. Створення тривимірної моделі.

Основним конструкційним елементом екструдера є шнек. Шнек повинний забезпечувати транспортування вхідного матеріалу (пластику), перемішувати, транспортувати та рівномірно без пульсацій подавати у вигляді розплаву до сопла. Через широке різноманіття пластиків які планується переробляти нами запропоновано розрахунок універсального шнеку, того який дозволить друкувати більшістю пластиків які можна переробляти. Найбільш розповсюдженою через свою універсальність є типова схема шнеку із його розподіленням на основні зони рис.2.1.



Рис.2.1. Типова схема розподілення шнека на основні зони

В зоні живлення відбувається потрапляння матеріалу в шнекові канавки, його транспортування та часткове перемішування. Гвинтовий канал шнека має найбільший об'єм. Зона живлення складає близько 30 % робочої довжини.

В зоні стиснення глибина каналу плавно зменшується до глибини дозуючої зони. По мірі наближення до зони дозування для компенсації об'ємної щільності і насосного ККД при переході полімеру з твердого в розплавлений стан площа поперечного перерізу гвинтового каналу, і відповідно об'єм зменшується. Це зменшення досягається зменшенням глибини гвинтової канавки чи кроку, або двох цих параметрів одночасно . Довжина цієї зона в загальному випадку коливається в межах 40-70 % робочої довжини і залежить від екструзійного матеріалу та призначення шнеку.

Зона дозування супроводжується процесом формування готового розплаву та його гомогенізації, створенням тиску, що забезпечує витиснення готового розплаву через сопло. Ця зона зазвичай складає близько 30 % робочої довжини.

Для правильної роботи шнеку при його проектуванні слід враховувати, що від його конструкції і форми геометричних елементів, а також від механічної та термічної обробки залежать продуктивність та довговічність машини в цілому.

Основними геометричними параметрами шнека являються: діаметр, крок, глибина гвинтового каналу, ступінь стиснення, число витків. Практичними дослідженнями встановлено [1], що при змінному діаметрі і довжині нарізки шнеку режим роботи шнекової машини залежить від профілю і закону зміни об'єму гвинтового каналу по довжині шнеку. При цьому для різних типів полімерів профіль гвинтового каналу підбирається експериментальним шляхом.

Геометрична компресія або геометричний ступінь стиснення, співвідношення об'єму гвинтового каналу одного витка шнеку в зоні завантаження та в зоні завантаження та дозування.

У нашому випадку як і для каналів змінної глибини і постійного кроку визначаємо степінь стиснення табличним методом у відповідності до таб.2.1.

Таблиця. 2.1.

Ступінь стиснення для різних полімерних матеріалів

Найменування	Ступінь стиснення
Поліетиленові суміші	1:1.5

закінчення до таблиці. 2.1.

Гранульований поліетилен високої щільності	1: (2.5-3)
Порошкоподібний поліетилен високої щільності	1: (2.5-5)
Поліетилен низької щільності	1: (2.5-3)
Полівінілхлорид	1: (2.5-3)
Фторопласт	1: (5-6)

Для виготовлення шнеку в даній роботі було обрано геометричний ступінь стиснення рівним значенню 2.5. Вибір такого значення цього параметру обумовлений його універсальністю, доцільністю використання для екструзії усіх вибраних нами полімерів.

Діаметр шнеку є основним параметром, котрий характеризує шнекові машини. Від діаметра напряму залежить продуктивність шнека. Для нас цей параметр вибираємо рівним 25 мм. Значення вибрано з посиланням на експериментальні данні зазначені у [1].

Важливим параметром при проектуванні є співвідношення робочої довжини до діаметру L/D. Вибір параметра проводиться табличним методом де за основу беруть отримані експериментальними дослідженнями діапазону значень. Вибір проводиться в залежності від застосування шнека. Для вибору цього параметру скористаємося таблицею 2.2.

Таблиця. 2.2.

Експериментальні значення L/D співвідношення

L/D	Застосування
20:1	Лиття під тиском
25:1	Екструзія

закінчення до таблиці. 2.2

30:1	Екструзія плівки
32:1 і вище	Екструзія з дегазацією або додатковими елементами для змішування
36:1 і вище	Командирування

Для нашого шнеку враховуючи застосування та умови роботи вибираємо L/D співвідношення приймаємо рівним 1:20, звідки визначаємо загальну довжину робочої частини шнека за наступною формулою 2.1.

$$L = 20 \text{ x } D = 20 \times 25 = 500 \text{ мм}, \quad (2.1)$$

Від правильного вибору кроку гвинтової канавки шнеку залежить напірне зусилля яке створюється шнеком. Збільшення напірного зусилля досягається зменшенням кроку. Одночасно із збільшенням напірного зусилля за рахунок зменшення об'ємів канавки спостерігається пропорційне зниження продуктивності. Тому при виборі цього параметра найчастіше обирають його середнє значення. У нашому випадку, через відсутність тиску на виході з сопла (як у термопластів), доречно робити канавку більш шириною для збільшення продуктивності, але в допустимому діапазоні значень с, де для нас с = 1.5.

Звідси розраховуємо крок гвинтової канавки за допомогою рівняння 2.2.

$$K = D \times 1.5 = 37.5 \text{ мм} \quad (2.2.)$$

де K – крок гвинтової канавки; D – діаметр шнека;

Глибина гвинтового каналу – залежить від типу перероблюваного матеріалу та діаметра шнека. Великі глибини використовують для м'яких матеріалів при низьких тисках. Шнеки малої глибини забезпечують хороше зміщення, але несуть за собою зниження продуктивності та формування великих тисків. Найбільш поширені значення глибини гвинтового каналу в зоні завантаження, для переробки вибраних нами полімерів знаходяться в межах (0.12 – 0.20) D . Проводячи аналогії із шнеками які використовуються в аналогічних умовах роботи, а також зважаючи на рекомендації [1] нами було обрано значення коефіцієнта для розрахунку глибини 0.2. Звідси проводимо розрахунок глибини гвинтового каналу в зоні завантаження використовуючи рівняння 2.3.

$$h = D \times 0.2 = 25 \times 0.2 = 5 \text{ мм} \qquad (2.3.)$$

де h – глибина гвинтового каналу в зоні завантаження; D – діаметр шнека;

Товщина витка визначається як мінімально допустима для досягнення експлуатаційних характеристик і вибирається в залежності від перероблюваного матеріалу та діаметру шнека. Для наших умов роботи значення коефіцієнта рівне 0.12. Тоді розраховуємо товщину витка використавши рівняння 2.4.

$$e = D \times 0.12 = 3 \text{ мм} \qquad (2.4.)$$

Вибираємо спосіб з'єднання шнека з привідним валом. Враховуючи подальшу необхідність заміни шнеків в ході їх зношування, розглядаємо варіанти, що можуть передавати великі крутні моменти, а також забезпечуватимуть легку заміну шнека. Найчастіше використовують способи з'єднання шнека з привідним валом, що зображені на рис 2.2.

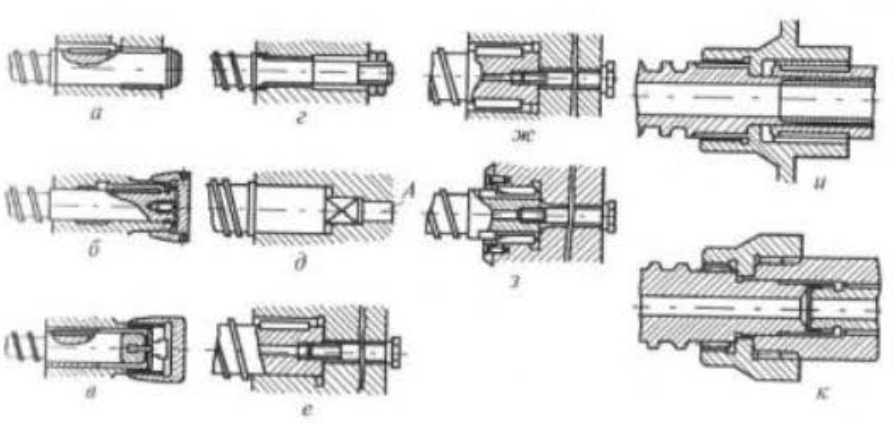


Рис.2.2. Типи з'єднання шнека з привідним валом.

З'єднання показані на рис.2.2. а,б,в,г, застосовуються для шнеків діаметром не більше 45 мм. Шнек виконується з довгим хвостовиком, що пропускається через приводний вал і закріплюється у ньому із зворотної сторони одним із вказаних способів. Осьові зусилля показані в з'єднаннях на рис.2.2. а, б, передаються на привідний вал через заплечник шнека що впирається в передній торець привідного валу. Для нашого шнеку нами було прийнято рішення використовувати ремінну передачу для зменшення висоти шнеку, що має забезпечити простоту його монтажу. В якості шків прийнято використовувати зубчаті шків NTD 5 шириною 20 мм з відповідним кільцевим ременем.

Шківи на привідному валу і шнекові використовуємо із однаковою кількістю зубів. На основі розрахованих вище параметрів у SolidWorks було спроектовано модель шнеку, котра зображену на рис 2.3.



Рис.2.3. Тривимірна модель розрахованого шнека.

Проектування моделі дозволило перевірити розраховані нами параметри на технологічність, створити креслення. На етапі виготовлення модель використовувалася для створення управляючої програми токарного верстата з ЧПК, що дозволило значно пришвидшити процес виготовлення.

Також у SolidWorks Simulation, було створено дослідження для перевірки надійності та довговічності шпонкового з'єднання. Було вирішено провести моделювання аварійної ситуації заклинювання шнеку. В ході проведення дослідження було створено додаткові елементи що зімітували пластикові закупорки. Задавши параметри взаємозв'язку закупорок та шнека нами було поставлено умови жорсткої фіксації зовнішніх діаметрів закупорок та задано інші умови котрі показані на рис.2.4.



Рис.2.4. Здані в ході дослідження граничні і кінематичні умови.

Не менш важливим в нашому дослідженні є вибір правильних для даного дослідження параметрів сітки. Для отримання достовірних результатів нами було задано змінні параметри сітки, та проведено ряд розрахунків, які показали збіжність сітки. Відносну незалежність результатів дослідження від розміру сітки. Параметри сітки, які використані в кінцевому розрахунку показані на рис.2.5.

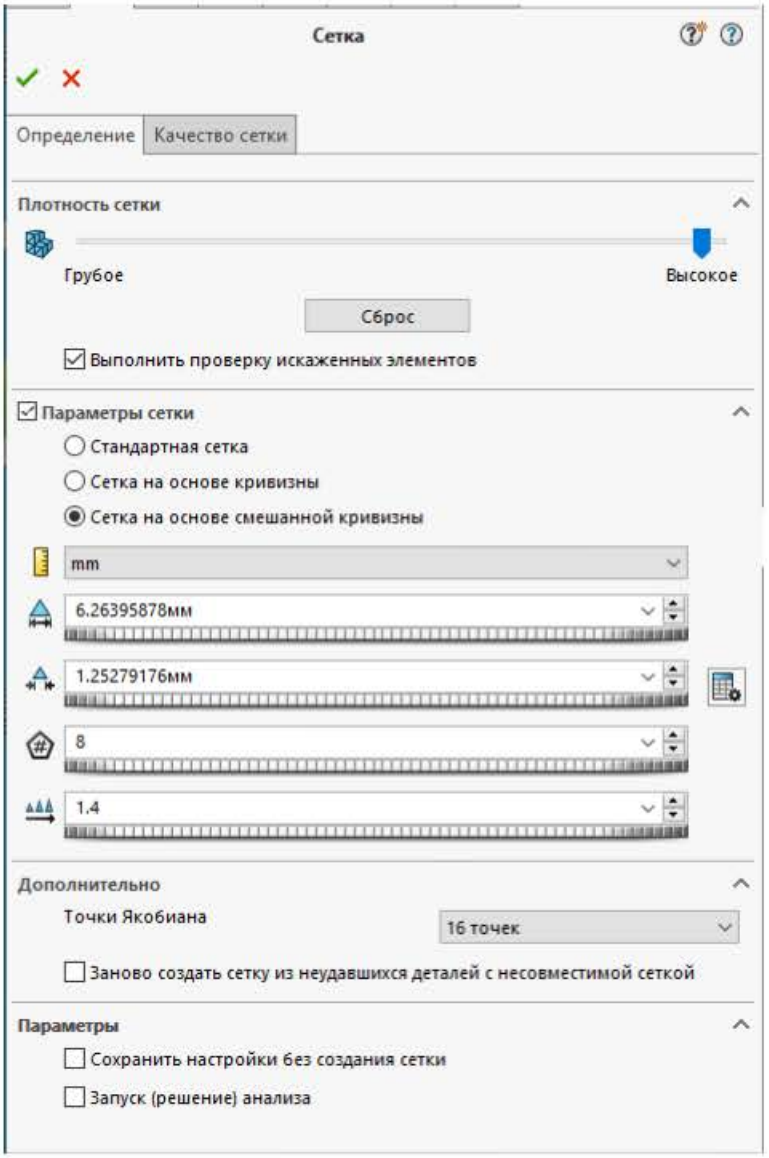


Рис.2.5. Параметри сітки для дослідження

Проведене статичне дослідження є імітацією максимально можливого навантаження на шнек. Його результатом є отриманий коефіцієнт запасу міцності деталей. Отримані результати показано на рис.2.6.

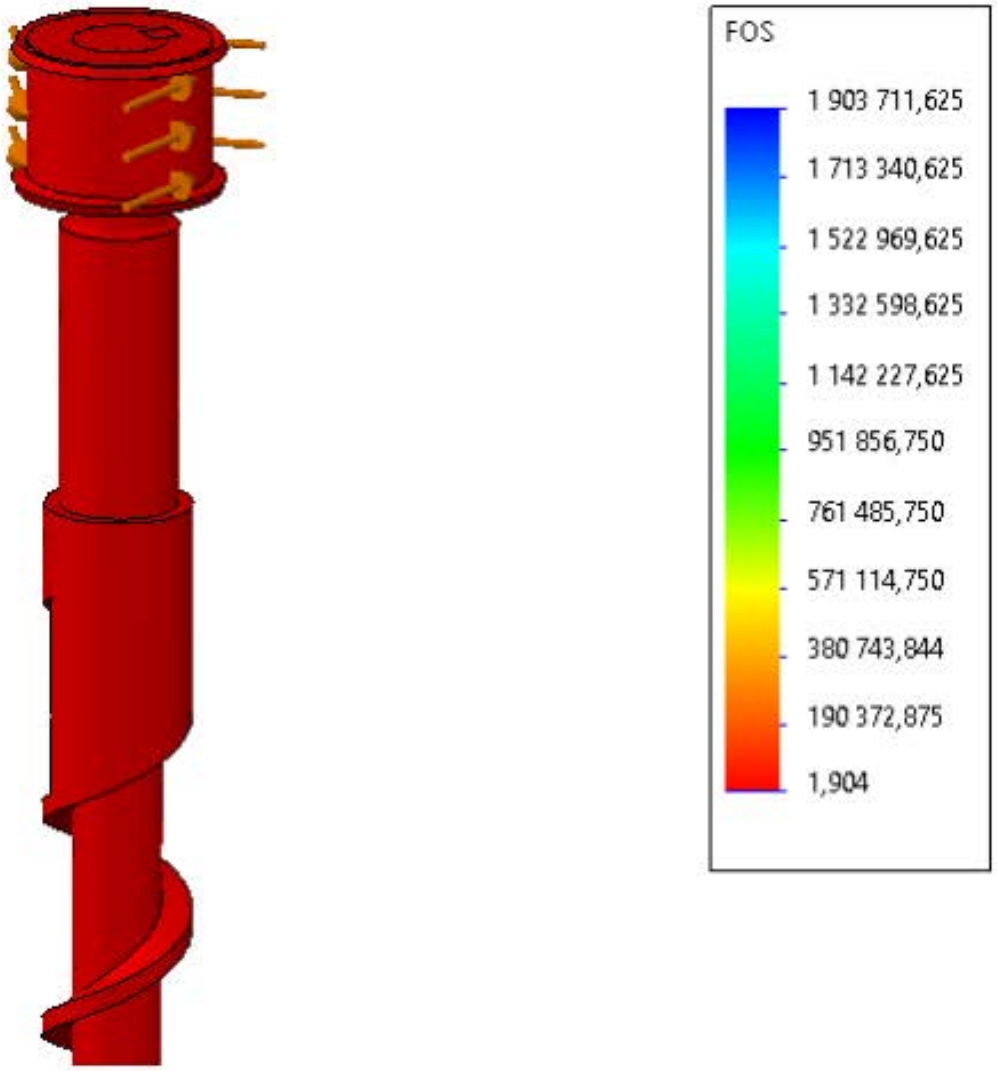


Рис.2.6. Результати дослідження шпонкового з'єднання.

Провівши оцінку отриманих результатів ми отримали розрахунковий коефіцієнт запасу міцності 1.9, що дозволяє стверджувати надійність та стійкість розрахованого нами вузла (шнека) навіть у екстремальних умовах. Експлуатація розрахованого нами деталі із використанням номінально допустимих режимів дозволить використовувати шнек до настання значення критичного зносу поверхонь.

2.3. Розрахунок матеріального циліндру

Матеріальний циліндр шнека здебільшого виконується двоскладним і складається з литою або точеної циліндричною частини в середину якої

запресовується азотована шліфована гільза або втулка. Зовнішні розміри циліндра виконують вільними, а конструктивні елементи в залежності від типу нагрівачів, способу закріплення на рамі та типу фіксації підшипникового вузла. Нами було обрано виготовлення шнека із зовнішнім діаметром 50 мм, що обумовлено габаритними розмірами необхідних нам по потужності нагрівачів. Важливе значення для рівномірної екструзії і забезпечення розрахункової продуктивності має розташування завантажувальної воронки та зони завантаження.

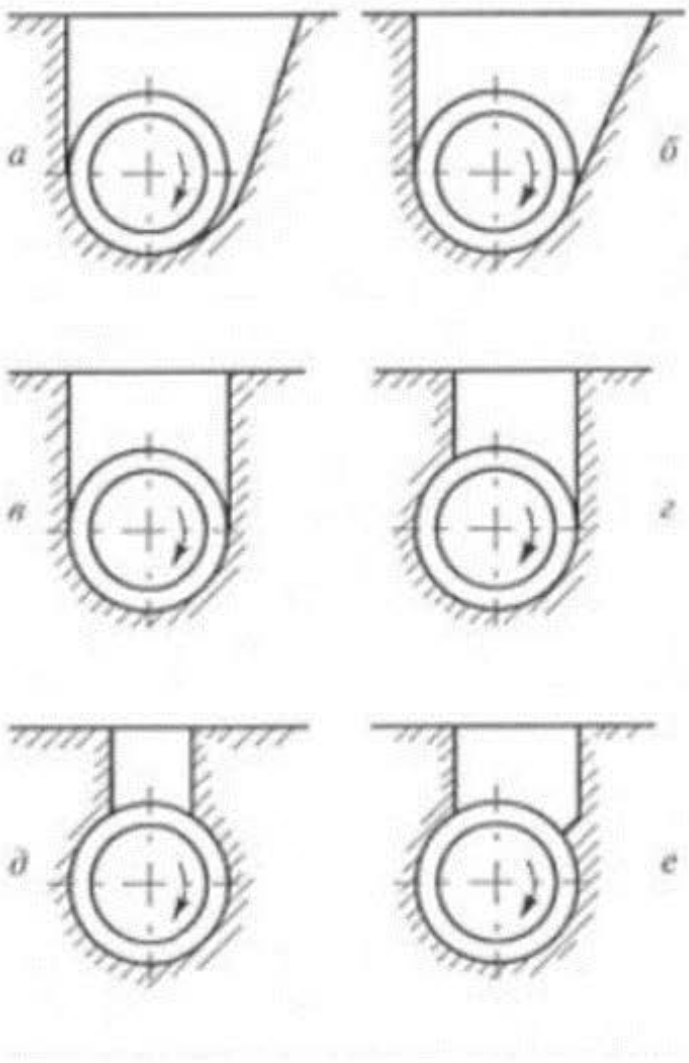


Рис.2.7. Типові схеми воронок

На рис.2.7. зображені типові схеми воронок. Вони бувають конічними (рис.2.7. а), конічними із піднутренням (рис.2.7. б), циліндричними (рис.2.7. в, г), прямокутними (рис.2.7. д, е) квадратними та іншими. Вибір форми та розмірів

воронки визначається фізичними властивостями матеріалу (ступенем зсуву, гранулометричним складом полімеру та іншим.

Вибираючи розмір отвору впускної воронки насамперед потрібно орієнтуватися на діаметр шнеку та простоту його виготовлення. Найбільш розповсюдженим типом воронки для аналогічних нашому циліндру є прямокутна де одна сторона рівна діаметру шнека. Інша- паралельна осі розраховується за рівнянням 2.6.

$$l = 1.5 \times D = 1.5 \times 25 = 37.5 \text{ мм} \qquad (2.6.)$$

де l – довжина воронки, D – діаметр шнека;

Після проведеного розрахунку у відповідності до отриманих параметрів нами було створено тривимірну модель матеріального циліндру загальний вигляд якого показано на рис.2.8.



Рис.2.8. Загальний вигляд тривимірної моделі матеріального циліндру.

Основним фактором при проектуванні матеріального циліндру є параметри температурного поля. Регулювання цих параметрів може відбуватися за рахунок вибору матеріалу циліндру та конструкції матеріального циліндру. Змінюючи розташування нагрівачів (або параметрів конструктивних елементів) можна суттєво змінювати параметри температурного поля. Враховуючи важливість правильного нагріву нами було проведено симуляцію дослідження нагріву матеріального циліндру.

Спершу нами було визначено матеріали деталей, вказано параметри їх теплопровідності та температурного опору.

Як матеріал для виготовлення матеріального циліндру було обрано Сталь 45, в якості матеріалу азотованої гільзи обрано 38Х2МЮА. Матеріали вибрані з рахуванням умов експлуатації, а також такими, котрі підходять для технологічно передбачених умов виготовлення деталей. Параметри вибраних нами матеріалів в бібліотеці SolidWorks Materials можна побачити на рис.2.9.

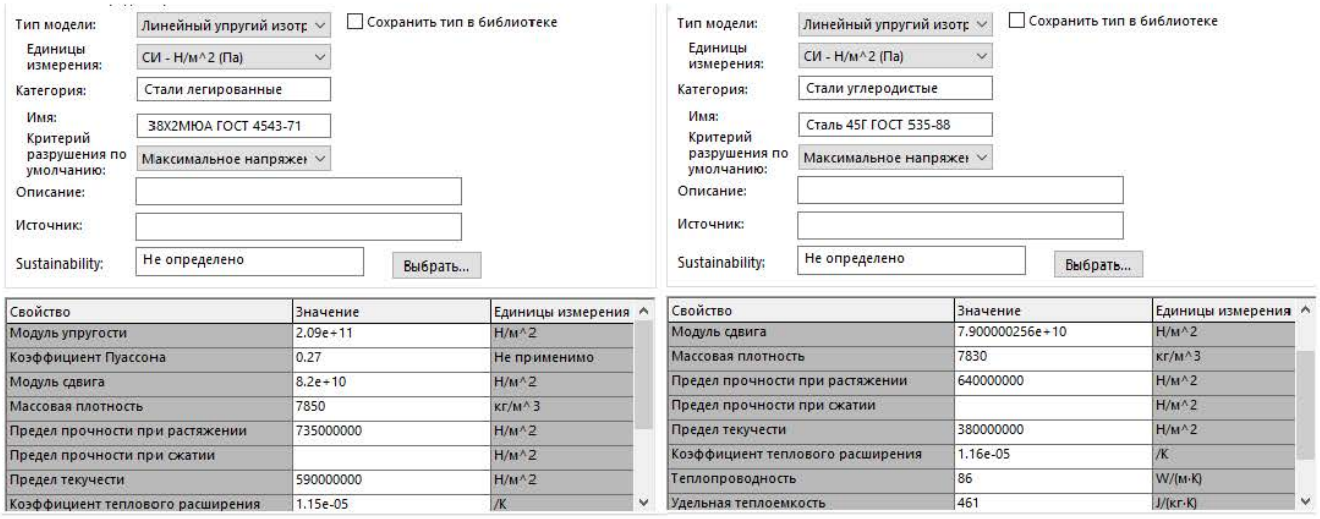


Рис.2.9. Параметри матеріалів гільзи та матеріального циліндру

Наступним, але не менш важливим кроком є задання параметрів нагрівання, в якості джерел нагріву було спроектовано точну копію вибраних нами нагрівачів. Для нагріву ми обрали латунні кільцеві нагрівачі із вмонтованими в них термопарами для контролю температури. У симуляції нагріву на спроектовані нагрівачі та задано потужність 500 W, на всю площу нагрівача. Тип контакту між нагрівачем та матеріальним циліндром – зв'язані. Дослідження є нелінійною постановкою. Початкова температура 20 °C . Час нагріву 400 секунд. Крок 20 . Сітку створено на основі змішаної кривизни, зовнішній вигляд якої показано на рис.2.10.

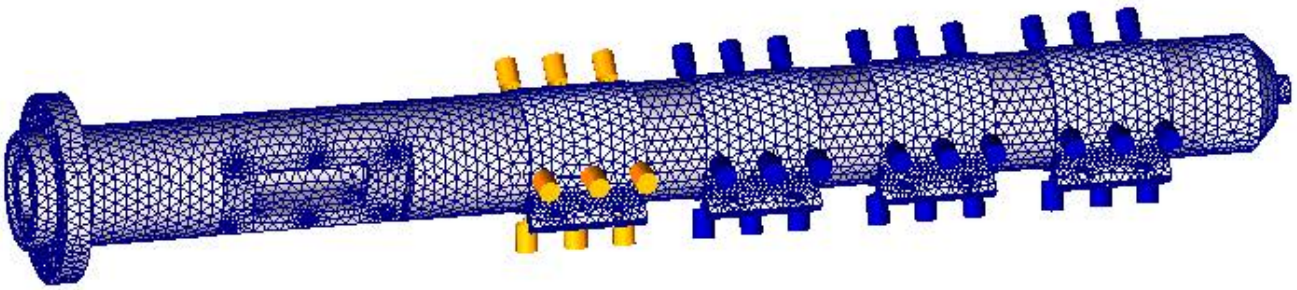


Рис.2.10. Параметри сітки скінченних елементів матеріального циліндра

Після створення сітки нами було отримано параметри температурного поля, які зображено на рис 2.11. Отримані результати дозволили підтвердити відповідність характеристик службовому призначення матеріального циліндра, а також розрахувати місця встановлення нагрівних елементів.

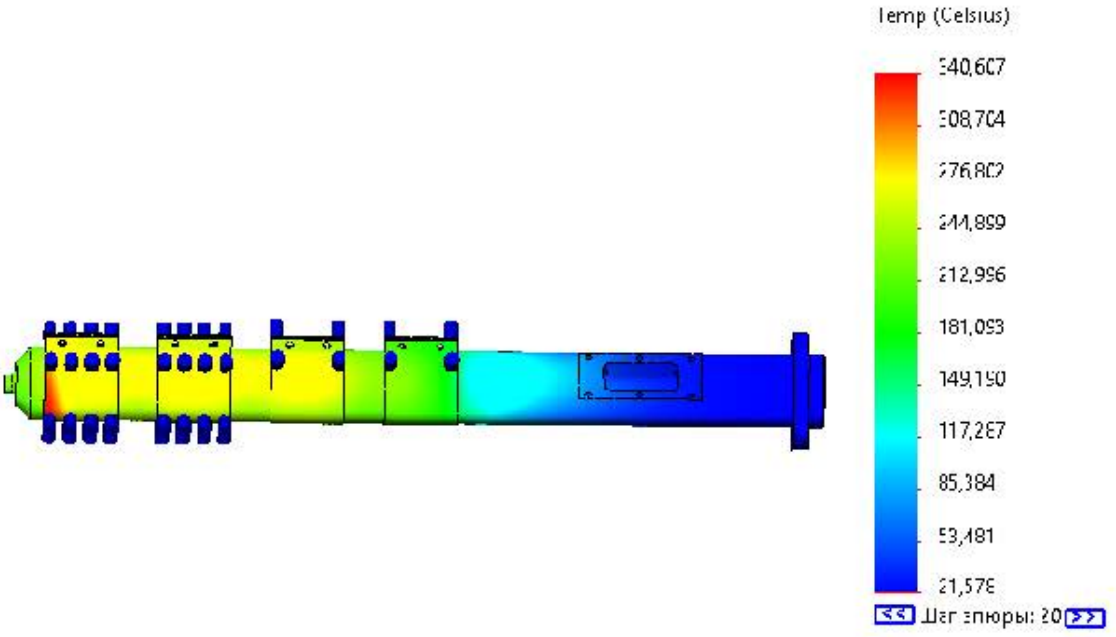


Рис. 2.11. Результати дослідження нагріву матеріального циліндру.

2.4. Проектування підшипникової опори

Підшипниковий вузол має забезпечувати стабільне обертання шнеку, сприймаючи навантаження, які виникають внаслідок екструзії. Серед основних

вимог, які пред'являють до таких опор, є здатність сприймати радіальні та різнонаправлені осьові навантаження.

Серед основного конструкторського виконання таких вузлів представлені наступні рис.2.12.

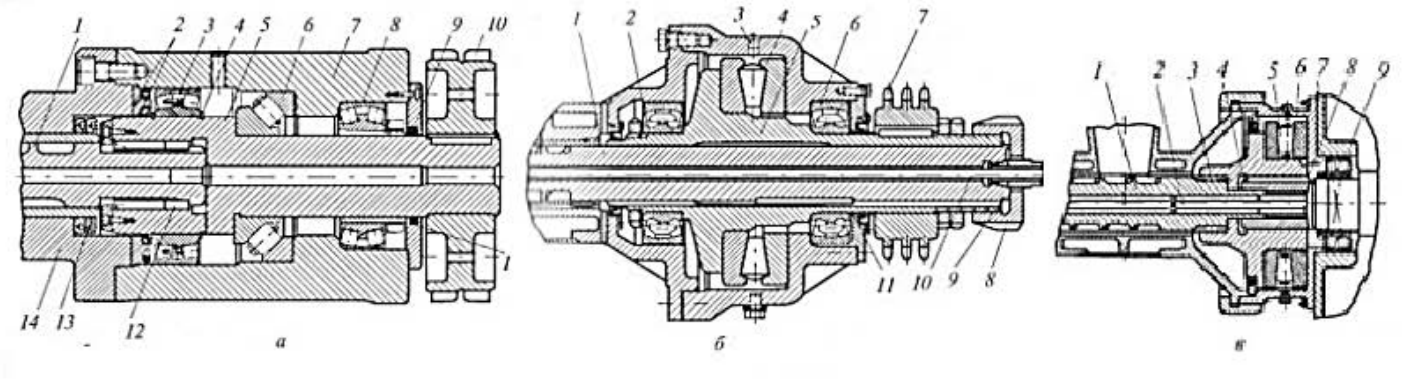


Рис.2.12 Варіанти конструктивного виконання підшипникових вузлів.

На рисунку 2.12.а показана конструкція підшипникового вузла де пустотілий вал 5 змонтований на підшипниках кочення в окремому корпусі 7. Привідна зірка 10 виведена за межі опори, що забезпечує компактність вузла. Шнек 1 виготовлений у змінній гільзі 13 яка закріплена у корпусі 14 що впирається в торець валу 5. Передньою опорою валу являться великогабаритний сферичний дворядний роликопідшипник 3, закріплений по внутрішньому кільці пружинними кільцями 4. Зовнішнє кільце цього підшипника є не закріпленим, тому опора є плаваючою.

Задня опора, що складається із двох взаємопов'язаних підшипників 6 та 8 виконана жорстко. Переміщення зліва направо виключено за рахунок використання радіально-упорного підшипника 6 а справа на ліво – зовнішнім кільцем сферичного дворядного роликопідшипника. Закріпленого на валу розрізної втулки 11. Змащення опори проводиться від насоса. Ущільнення представлено манжетами 2 та 9. Шнек 1 циліндричним хвостовиком входить в розточку валу 5 і кріпиться в ній за допомогою металевого стержня. Передача крутного моменту шнеку 1 відбувається шпонками 12 закріпленими на валу 5.

На рис 2.12. б показана конструкція підшипникового вузла, де вал 5 змонтований у двох сферичних радіальних роликопідшипниках 2 та 6 між якими

встановлений упорний роликопідшипник 4 з конічними роликами. Підшипники 2 та 6 сприймають радіальні навантаження від зірки 7, та здійснюють передачу крутного моменту на вал за допомогою трирядного ланцюга. Всередині пустотілого валу на шпонці 5 встановлений шнек 1 який зафіксований від осьових переміщень за рахунок пружинного кільця 9 та гайки 8. Осьові зусилля, які виникають при роботі екструдера, передаються торцем валу на гайку 8 а далі через фланець валу 5 на упорний підшипник 4. Змащення опор консистентне періодичне.

У підшипниковому вузлі представленому на рис.2.12. в, обертання шнеку здійснюється вихідним валом редуктора, що встановлений на радіальні сферичні дворядні роликопідшипники 9. На лівому кінці валу знаходиться циліндрична центрувальна шийка 4, зі шпонкою на яку встановлюється спеціальна втулка 3. Осьові зусилля передаються упорним заплечником шнеку 1 на втулку 3 і сприймаються упорним підшипником 5 з конічними роликами, які встановлені в проміжному корпусі 6 закріпленому на корпусі редуктора 7. Передача крутного моменту від валу 4 на шнек 1 здійснюється за рахунок евольвентних шліців виконаних на втулці 3 і на правому кінці шнека. Осьові зміщення шнека обмежуються упорним заплечником шнека та тягою 8 що вкручується в його хвостову частину. Всередині тяги 8 знаходиться наскрізний отвір, через який проходить труба 2 яка підводить охолоджуючу рідину. Відведення води здійснюється через кільцевий зазор між трубою та внутрішньою розточкою.

Провівши аналіз конструкцій, нами було вибілено основні параметри необхідні для проектування нашого підшипникового вузла. Для забезпечення безперебійної роботи вузол повинен сприймати як радіальні, так і осьові навантаження в двох напрямках. Також він має бути температуростійким або мати систему охолодження. Не менш важливою є змащування підшипників. Адже при роботі у важких умовах, що виникають внаслідок нагрівання та постійного плавлення пластику, строк служби підшипника не відповідатиме заявленому виробником значенню.

Враховуючи описані вище параметри, умови роботи, та геометричні обмеження, що обумовлені конструкцією екструдера нами було спроектовано підшипниковий вузол власної конструкції який зображено на рис. 2.13.

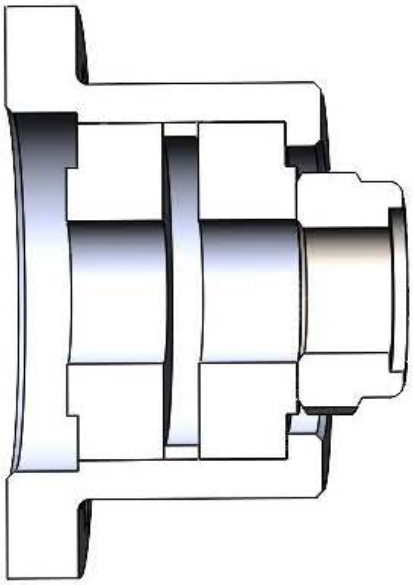


Рис. 2.13 Конструкція спроектованої нами підшипникової опори

Спроектований підшипниковий вузол немає активної системи охолодження, але має теплові зазори в елементах для запобігання заклинення. Змащування нашого вузла відбувається високотемпературним мастилом LM 50 Litho HT котре має температуростійкість до 350 °C. Для перевірки правильності проектування нами було створено термічне дослідження у SolidWorks Simulation Thermal. Насамперед при проведені дослідження ми визначили характеристики матеріалів, котрі необхідні для дослідження, задали обмеження, термальні навантаження та створили сітку кінцевих елементів взявши за основу параметри дослідження проведеного у пункті 2.3. Окрім основних параметрів нами було накладено зв'язки матеріального циліндру та підшипникового вузла - зв'язані. Проведене нами дослідження тривало 20 хв. Початкова температура 20 °C . Отримані результати зі значенням максимальної температури на підшипниковому вузлі відображені на рис.2.14.

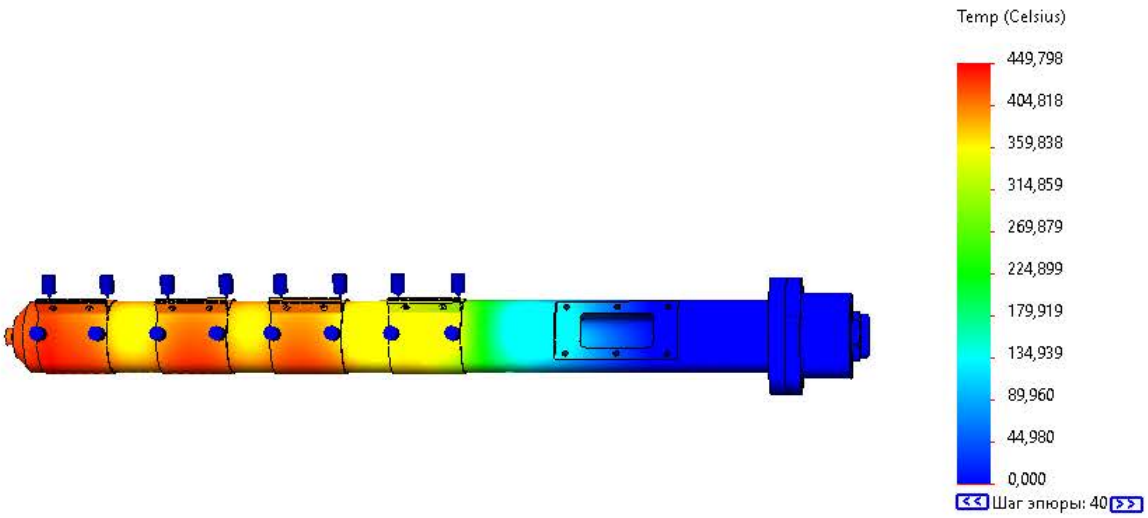


Рис.2.14. Результати дослідження нагріву підшипникової опори

Як видно із отриманих результатів максимальна температура нагріву підшипникової пари склала 40 градусів, що дозволяє її експлуатації без додаткової системи охолодження.

2.5. Розробка системи управління нагрівом та головного приводу

Для управління швидкістю обертання та контролю нагрівних елементів нами було розроблено систему управління на базі мікроконтролера Arduino. Загальний вигляд системи управління показано на рис.2.15.



Рис.2.15. Система управління головним приводом.

Для управління було вибрано мікроконтролер Arduino через його доступність, простоту програмування та ціну. Використання такого контролера обумовлено також наявністю LCD keypad shield (розширювальний модуль LCD екрану для Arduino) що дозволив спростити процес збірки системи, і забезпечив вивід даних та можливість керування головним приводом.

Розглянемо більш детально усі компоненти збірки. В якості контролера головного приводу виступає плата італійського виробника Arduino Uno рис. 2.16.



Рис.2.16. Контролер Arduino Uno Rev 3

Вибраний контролер оснащений мікроконтролером ATmega328P, що забезпечує швидкість та безперебійність його роботи. Контролер оснащений 14 цифровими виходами що можуть працювати як у якості входу так і у якості виходу. Рівень напруги обмежений 5В. Максимальний струм, який може приймати або віддавати один вихід, складає 40мА. Окрім цього виходи можуть виконувати додаткові функції:

- **Послідовний інтерфейс**: виходи 0 (RX) та 1 (TX). Використовуються для отримання (RX) та передачі (TX) даних за послідовним інтерфейсом. Ці виходи пов'язані з відповідними виходами мікросхеми ATmega8U2, що виконує роль USB-UART-перетворювача.

- **Зовнішні переривання**: виходи 2 і 3. Можуть бути джерелами переривань, що виникають при фронті, спаді або низькому рівні сигналу цих виходів.
- **ШИМ**: виходи 3, 5, 6, 9, 10 и 11
- **Інтерфейс SPI:** виходи 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK)
- **TWI**: вихід A4 або SDA і вихід A5 або SC

У Arduino Uno є 6 аналогових входів (A0 - A5), кожен з яких може представити аналогову напругу у вигляді 10-бітного числа (1024 різних значення). За замовчуванням, вимірювання напруги здійснюється відносно діапазону від 0 до 5 В. Тим не менш, верхню межу цього діапазону можна змінити, використовуючи вихід AREF і функцію analogReference().

Arduino Uno надає ряд можливостей для здійснення зв'язку з комп'ютером, ще одним Arduino або іншими мікроконтролерами. ATmega328 є приймач UART, що дозволяє здійснювати послідовний зв'язок за допомогою цифрових виходів 0 (RX) і 1 (TX). Мікроконтролер ATmega16U2 на платі забезпечує зв'язок цього приймача з USB-портом комп'ютера, і при підключенні до ПК дозволяє Arduino визначатися як віртуальний COM-порт. Прошивка мікросхеми 16U2 використовує стандартні драйвери USB-COM, тому установка зовнішніх драйверів не потрібна.

Arduino Uno програмується за допомогою Arduino IDE мікроконтролер ATmega328 в Arduino Uno випускається з програматором, що дозволяє завантажувати в мікроконтролер нові програми без необхідності використання зовнішнього програматора. Взаємодія з ним здійснюється за оригінальним протоколом STK500 (опис, заголовні файли C). Тим не менш, мікроконтролер можна прошити і через роз'єм для внутрішньосхемного програмування ICSP (In-Circuit Serial Programming), не зважаючи на завантажувач; Вихідний код прошивки мікроконтролера ATmega16U2 (або 8U2 на платах версії R1 та R2) знаходиться у вільному доступі. Прошивка ATmega16U2/8U2 включає DFU-завантажувач (Device Firmware Update), що дозволяє оновлювати прошивку мікроконтролера. Для активації режиму DFU необхідно: На платах версії R1: замкнути перемичку на звороті плати (біля зображення Італії), після чого скинути 8U2. На платах версій R2 і вище - для спрощення переходу в режим DFU є резистор, що підтягує до землі лінію HWB

мікроконтролера 8U2/16U2. Після переходу в DFU-режим для завантаження нової прошивки можна використовувати програмне забезпечення Atmel's FLIP (для Windows) або DFU programmer (для Mac OS X і Linux). Альтернативний варіант – прошити мікроконтролер через роз'єм для внутрішньосхемного програмування ISP за допомогою зовнішнього програматора, проте в цьому випадку DFU-завантажувач зітреться.

Доповненням до контролера виступає LCD keypad shield, який у нашому випадку використовується для управлінням обертами двигуна в реальному часі та для виведення даних рис 2.17.

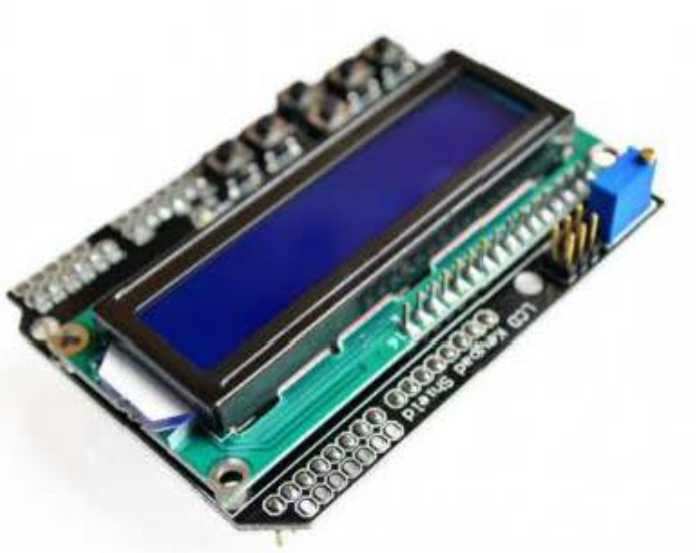


Рис.2.17. Загальний вигляд LCD keypad shield

Модуль **LCD Keypad Shield** оснащений 6 кнопками (п'ять з них призначені для користування , шоста - Reset). Працює як зі стандартною Arduino бібліотекою LiquidCrystal, так і з 4 Bit Arduino LCD . Може працювати як з Arduino Uno, так із Arduino Mega. LCD з блакитною підсвіткою екрану. Інтерфейс екрану - HD44780. Підключення: RS - 8 пін, RW - 11 пін, Enable - 9 пін, DB4-7 - 4, 5, 6, 7. Є простим та надійним рішенням для виконання необхідних нам функцій введення та виведення інформації. Головний привід представлений у вигляді крокового двигуна 12N.m 34HS5802 5.0A NEMA34 який доукомплектований планетарним редуктором

PX86N010S0 (1:10) та керується драйвером 2DM860 ЧПУ CNC 8.4A рис. 2.18. а,б,в, відповідно.



а) б) в)

Рис. 2.18. Складові головного приводу

Використання планетарного редуктора дозволяє отримати великий обертовий момент до 1000 Н/см, а також підвищує момент утримання. Отримання таких вихідних характеристик можливе за рахунок використання спеціального драйвера.

Драйвер контролер крокового двигуна 8.4A це високопродуктивний цифровий драйвер розроблений на технології чисто-синусоїдального контролю струму. Підходить для 2-х фазних крокових двигунів. Завдяки функції "контролювання струму" крокові мотори працюють більш плавно на великих швидкостях, з меншим рівнем шуму і нагріву, в порівнянні з іншими мікрокроковими драйверами які представлені на ринку. Схема підключення драйвера показано на рис. 2.19.

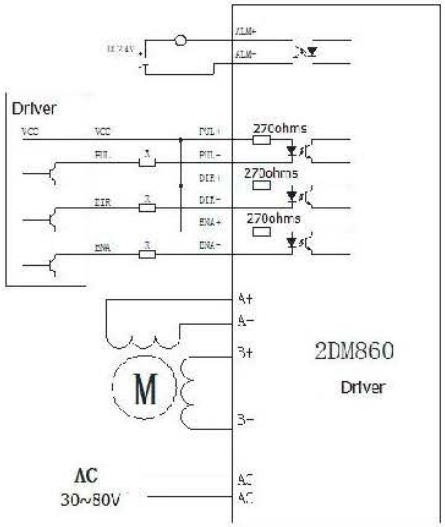


Рис.2.19. Схема підключення драйвера

Отриманні у наслідок компоновки описаних вище комплектуючих характеристики головного приводу є такими, що дозволяють отримати високий момент та стабільну швидкість обертання, що було основним завданням при виборі головного приводу. Можливість ручного задання та виведення в реальному часі швидкості обертання двигуна дозволить пришвидшити його налаштування та отримати чіткі параметри для здійснення тривимірного друку.

Для забезпечення стабільної роботи головного приводу, нами обрано використання імпульсного блоку живлення S-500-36, 36V, 14A , в який має систему активного охолодження, захист від замикання, перевантаження, перенапруги. Блок живлення обраний із 40% запасом потужності що виключає падіння напруги на основних компонентах.

Для нагріву шнеку нами обрано PID контролери REX- C100 в парі із твердотільними реле та латунними кільцевими нагрівачами із вбудованими термопарами типу К. Контролери REX- C100 це ПІД контролери із зворотнім зв'язком, які здатні із високою точністю підтримувати задану температуру. Точність вимірювання ± 0.5% від повною шкали. Здатен керувати SSR твердотілим реле за допомогою ПІД виходу низького струму 12В 20мА. Має вбудований аварійний релейний вихід 3А 250V що використовується для аварійного вимкнення нагрівачів.

В якості кільцевих нагрівачів ми обрали латунні із міканітом в вигляді ізоляції та проволоки Rescal як нагрівного елемента. В середину нагрівача вмонтовано термопару типу К, встановлення термопарами при виготовленні безпосередньо в нагрівний елемент дозволяє підвищити якість вимірювання, що позитивно відображається на елементі нагрівання. Схему підключення нагрівача та термопари до контролера зображено на рис. 2.20

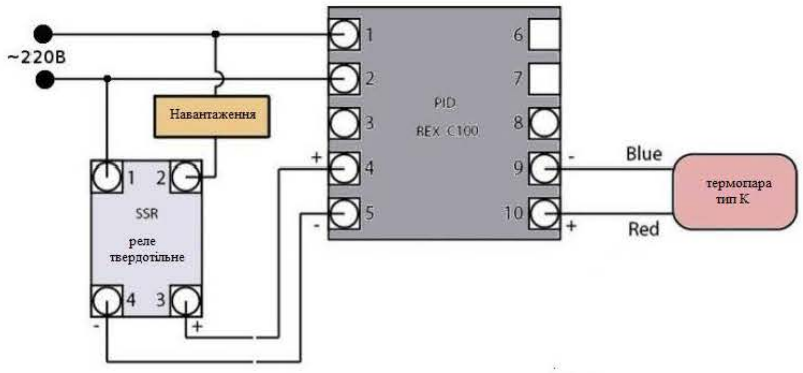


Рис. 2.20. Схема підключення Rex – C100

Для запобігання увімкнення двигуна до нагріву екструдера відповідної температури в схему додано цифровий підсилювач MAX6675, який слугує для перетворення сигналу термопари типу К з метою приєднання її до контролера Arduino. Проводячи додаткове вимірювання температури в зоні нагрівання контролер забороняє будь-який рух двигуна шляхом програмного обмеження мінімальної температури за якої дозволяється рух. Параметри якого можна регулювати за допомогою клавіш на екранному модулі, значення параметру відображатиметься на екрані.

2.6. Проектування загальної збірки екструдера, дослідження її характеристик.

Отримавши конструктивні характеристики всіх елементів екструдера, нами було створено та досліджено їх тривимірні моделі. Проектування тривимірних моделей дозволило оцінити експлуатаційні параметри майбутніх деталей. Створені моделі стали також частиною майбутньої загальної моделі екструдера яку зображено на рис.2.21

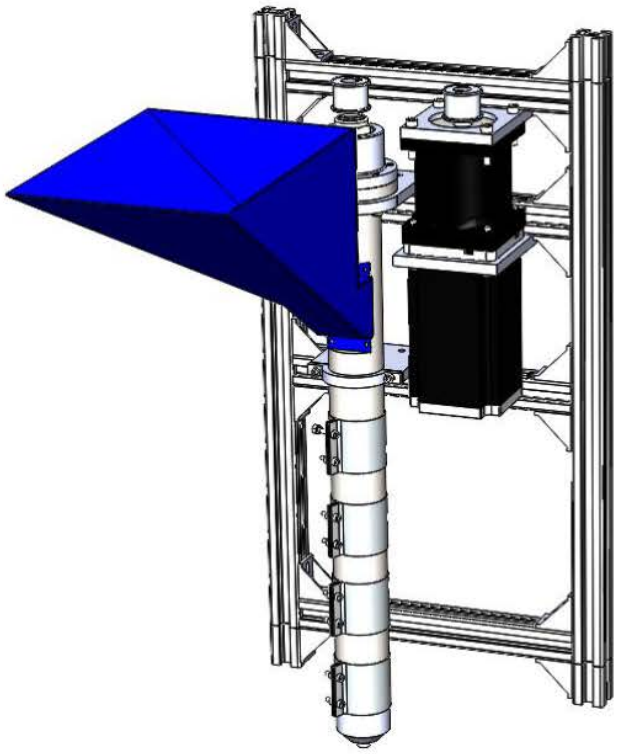


Рис.2.21 Загальний вигляд екструдера.

Створена збірка екструдера дозволила оцінити взаємне розташування його елементів, зробити висновки про раціональну компоновку та розробити питання вибору необхідних для фіксації елементів збірки кріплень та хомутів. Для зручності кріплення на ЧПК верстатах, а також для забезпечення необхідної жорсткості, була змодельована рама виготовлення якої планується із верстатного алюмінієвого профілю.

Створення рами з верстатного профілю обумовлено її низькою вагою, у порівнянні із сталевою її вага є удвічі меншою, а також простотою складання. Загальний вигляд рами зображено на рис.2.22.

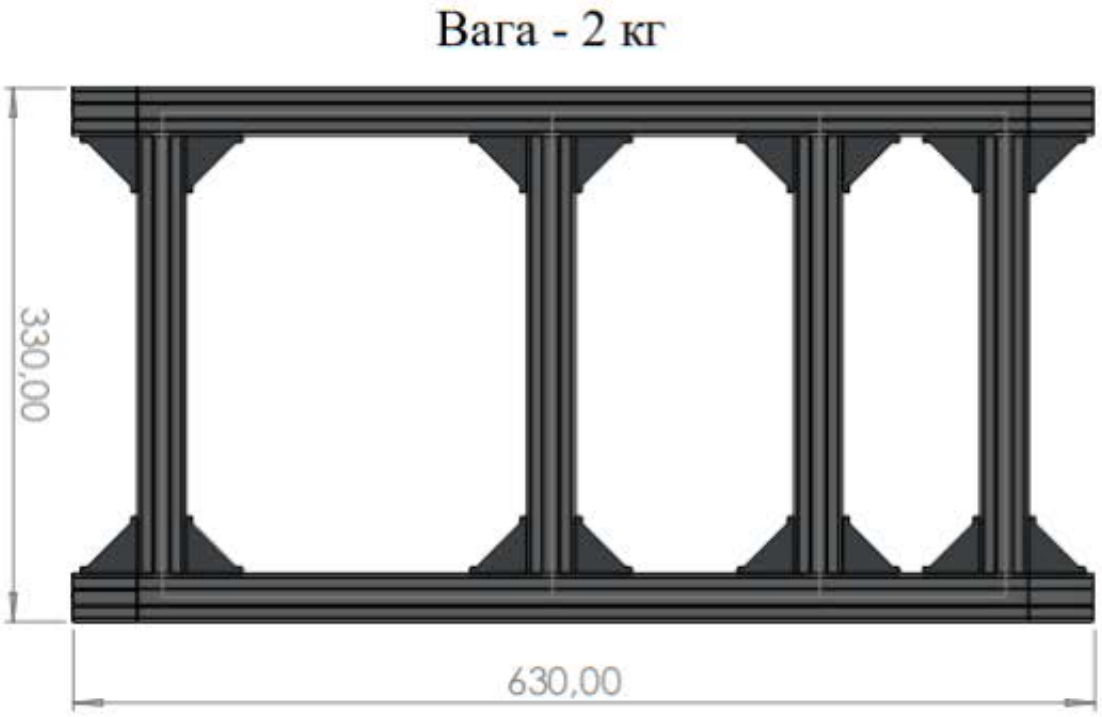


Рис.2.22. Загальний вигляд алюмінієвої рами

Для закріплення елементів на раму шнека нами змоделювано алюмінієві хомути, які окрім фіксації забезпечуватимуть відведення надлишкового тепла матеріального циліндру. Кріплення відбувається за допомогою болтових з'єднань.

В подальшому на основі зібраної збірки нами було проведено термальне дослідження для визначення температури нагріву шнекової пари та сопла. Для визначення ключового фактору – розповсюдження температури.

В ході проведено дослідження для усіх елементів збірки за допомогою бібліотеки SolidWorks Materials було задано матеріли у відповідності до табл.2.3.

Вибір матеріалів обумовлений службовим призначенням деталей, специфікою їх роботи та технологіями виготовлення деталей, а також є результатом підбору за методом аналогів, де за основу взяті перевірені експериментами вибрані виробниками екструзійного обладнання марки матеріалів.

Таблиця 2.3.

Матеріали компонентів збірки

Найменування деталі	Матеріал
Гільза	38Х2МЮА
Шнек	38Х2МЮА
Корпус підшипникового вузла	Сталь 45
Підшипники	ШХ 15
Дистанційне кільце	Сталь 45
Хомутові нагрівачі	ЛС 59
Сопло	ЛС 59
Тримачі	Д16Т
Рама	АД31Т5
Шпонки	Сталь 45
Зубчаті шківи	АД31Т5
Матеріальний циліндр	Сталь 12 МХ

Наступним кроком було задання параметрів для проведення дослідження, враховуючи зазори та параметри з'єднань. Від правильно заданих параметрів залежить точність всього дослідження, адже неправильна передача теплової енергії хоча б між двома елементами є вважаємо вагомою підставою для визнання результатів не дійсними. Після багаторазової перевірки заданих параметрів ми перейшли до створення сітки кінцевих елементів. Побудову сітки було здійснено на основі змішаної кривизни, це зроблено через неможливість побудови звичайної сітки на витках шнека, що обумовлено їх формою. При виборі розміру кінцевих елементів орієнтуємося на необхідність створення сітки із високою щільністю, через складний профіль шнека, обмежуючим фактором вважаємо апаратну частину дослідження, а саме параметри машини для розрахунку. Зважаючи на ці та інші фактори отримуємо параметри сітки відображені на рис. 2.23.

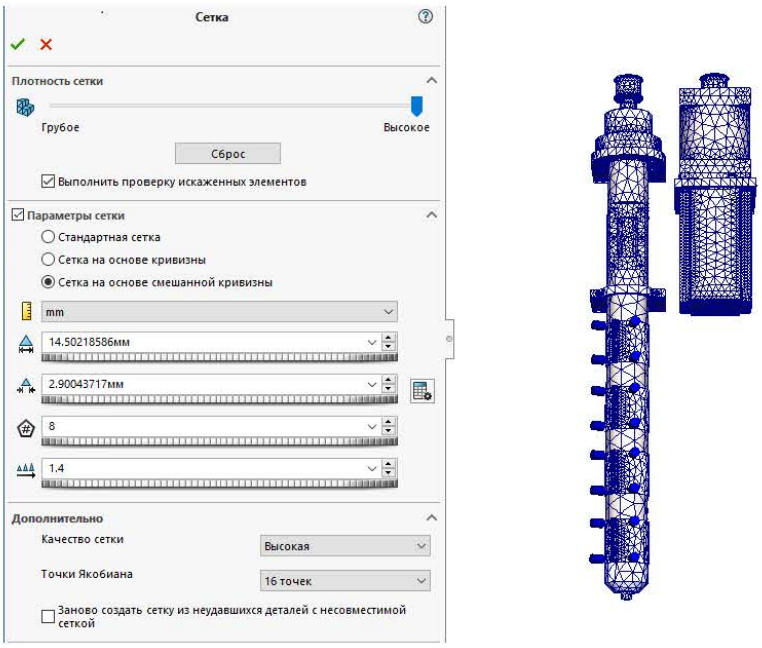


Рис.2.23. Параметри сітки загальної збірки екструдера

Провівши розрахунок дослідження було отримано графічне відображення розподілення температури для шнекового екструдеру, що відображено на рис.2.24.

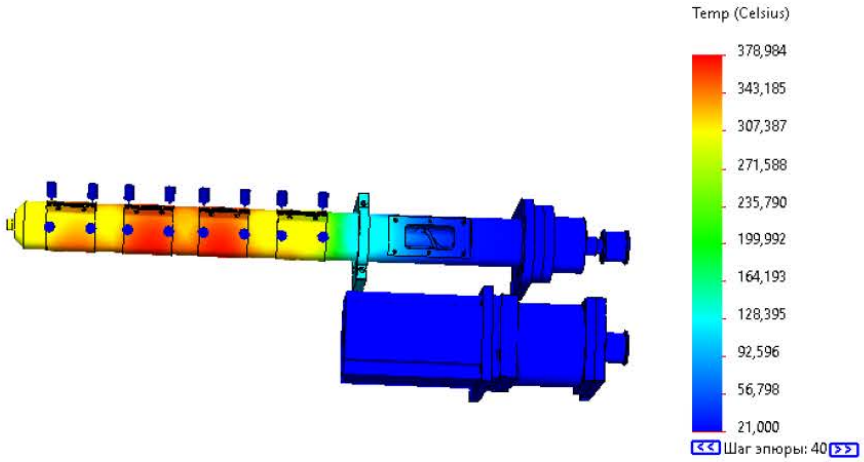


Рис.2.24. Графічне відображення розподілення температури на моделі екструдера

Детально проаналізувавши отриману епюру порівняємо її із картиною розповсюдження температури реальної моделі екструдера [1] ст. 343 . зображеної на рис.2.25. Можна спостерігати, що зонально нагрів розподіляється аналогічно нашому екструдеру.

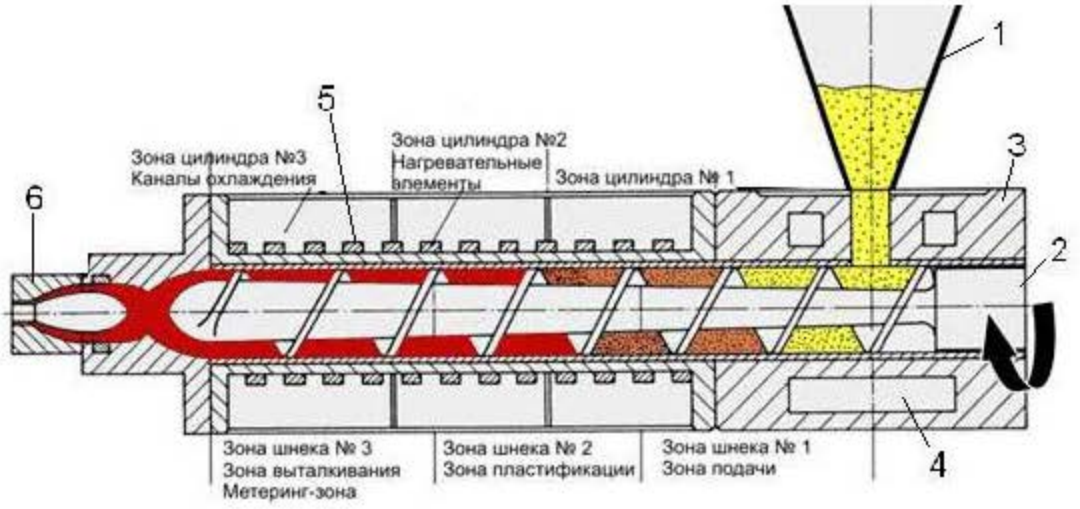


Рис.2.25. Розповсюдження температур реальної моделі

У відповідності до проведеного порівняльного аналізу можемо стверджувати про адекватність виконаних на етапі конструюванні розрахунків. Спираючись на це наша модель повинна забезпечити якісний процес екструзії при проведені експериментів і подальшій експлуатації.

Висновки до розділу

Виконані в розділі проектні розрахунки дозволили сформувати 3D моделі елементів екструдера та виконати певні імітаційні дослідження.

Виконано розрахунок основних геометричних параметрів шнеку та перевірено міцність шпонкового з'єднання шнеку з приводом. Розраховано параметри матеріального циліндру, засипної воронки та виконано термічне дослідження для дослідження поведінки системи при нагріванні.

Виконано аналіз існуючих підшипникових вузлів на основі чого обґрунтовано модель підшипникового вузла власної конструкції. Розраховано потужність головного приводу. Спроектовано раму та елементи кріплення основних вузлів.

На основі скінченно-елементного термічного аналізу в SolidWorks Simulation здійснено оцінку пропонованих конструкторських рішень.

Спроектовану модель шнеку прийнято доцільною для подальшого виготовлення та проведення експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШНЕКОВОГО ЕКСТРУДЕРА

3.1. Технологія виготовлення корпусу та втулки підшипникового вузла

Для виготовлення корпусу та втулки підшипникового вузла спочатку на базі створених моделей нами було створено кресленик на якому зазначено основні параметри деталей. Кресленики деталей знаходяться у Додатках. Після визначення параметрів шорсткості, а також необхідних для забезпечення надійності та довговічності, параметрів точності нами було вибрано заготовку, маршрут обробки та обладнання.

В якості заготовки корпусу підшипникового вузла обрану круг діаметром 85мм довжиною 100 мм із сталі 45. Вибір із прокату вважаємо економічно найдоцільнішим поміж інших зважаючи на необхідність одноразового виготовлення деталі, що виключає необхідність виготовлення заготовки за допомогою.

Виготовлення із круга несе за собою збільшення обробки різанням та кількості операцій при обробці деталі але потребує менше часу на підготовку. Загальний вигляд та геометричні параметри заготовки відображено на рис.3.1.



Рис.3.1. Габаритні розміри заготовки для виготовлення корпусу підшипникового вузла

В якості технологічного обладнання в лабораторіях було обрано токарний верстат Бт-01 та свердлильний верстат 2Н125 з поворотним столом, параметри яких дозволяють в ході обробки забезпечити необхідну точність розмірів.

Верстат БТ-01, який призначений для обробки деталей типу фланців, дисків, кілець діаметром до 200 мм, валів довжиною до 400 мм в умовах малосерійного і одиничного виробництва. На верстаті можна виконувати наступні види робіт: обточування, розточування, підрізування торців, прорізку канавок, проточку конусів, свердління, зенкерування, розгортання центрального отвору, нарізку різі мітчиками і плашками.

Верстат БТ-01 класу точності Н по ГОСТ8097-88 призначений для експлуатації в закритих опалюваних приміщеннях, кліматичних умов УХЛ3 і ГОСТ 5150-69.

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики верстата

Найменування параметру	Величина параметру
Найбільший діаметр встановлюваної заготовки, мм	400
Найбільший діаметр оброблюваної зовнішньої поверхні, мм	60
- прутка	55
- в патроні	200
- в центрах	200
Найбільша довжина оброблюваної заготовки, мм	
.- з прутка	120
.- штучної	120
.- в центрах	400
Найбільша довжина встановлюваного виробу, мм	700
Крайні значення (діаметр, крок) оброблюваних мечиками різьб, мм	30х3,5

продовження таб.3.1.

Найбільша висота різців, мм	25
Кількість фіксованих позицій різцевої голівки	4
кількість одночасно встановлюваних різців	4
діаметр наскрізного отвору в шпинделі, мм	63
конус пінолі задньої бабки	Морзе 5
Позначення кінця шпинделя по ГОСТ12595-85	2-6Ц
Крайні відстані від вісі шпинделя до:	
.- направляючих станини, мм	200
.- низу основи верстата, мм	1060
Відстань від переднього торця шпинделя до різцевої голівки, мм	
.- найменша	140
.- найбільша	630
Найбільше переміщення супорта, мм	
.- в поздовжньому напрямку	460
.- в поперечному напрямку	190
Найбільше переміщення пінолі задньої бабки, мм	150
Величина поперечного зміщення корпусу задньої бабки, мм	±15
Найбільше переміщення корпусу задньої бабки в поздовжньому напрямку, мм	300
Найбільше переміщення різцевих солазок, мм	150
Найбільший кут повернення різцевих солазок, град	±90
Кількість частот обертання шпинделя (в двох діапазонах)	12
Межі частот обертання шпинделя, $хв^{-1}$	
– головне виконання	45…2000

закінчення таб.3.1.

– швидкісне виконання (по вимозі покупця за окрему платню)	56…2500
Кількість поздовжніх подач супорта (в двох діапазонах)	7
Межі поперечних подач супорта, мм/об	0,035…1,6
Кількість поперечних подач різцевої каретки (в двох діапазонах)	7
Межі поперечних подач різцевої каретки, мм/об	0,02…0,8
Найбільший крутний момент, кН	0,32
Найбільше зусилля передачі, кН	
– в поздовжньому напрямку	6
– в поперечному напрямку	3
Габаритні розміри верстата, мм	
– довжина	2940
– ширина	1110
– висота	1400
Вага верстата, кг	2500

Кінематика верстата

Верстат мод. БТ-01 має основні рухи:

Головний рух – обертання шпинделя із заготовкою виконується основним електродвигуном через клинопасову передачу та коробку швидкостей.

Поздовжня подача – переміщення поздовжнього супорта по напрямних станини від ходового вала або ходового гвинта забезпечується за рахунок відбору потужності від шпинделя.

Поперечна подача – переміщення поперечного супорта по напрямних на поздовжньому супорті.

Допоміжні рухи – швидкі переміщення супортів від допоміжного електродвигуна через клинопасову передачу.



Рис. 3.2. Загальний вигляд верстата БТ01.

Верстати моделі 2Н125 призначені для свердління, розсвердлювання, зенкування, розгортання, нарізування різі; застосовується в умовах одиничного та серійного виробництва. Загальний вигляд показано на рис.3.3.

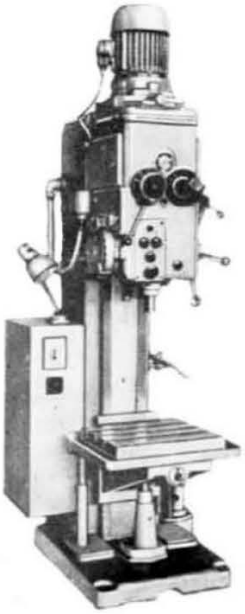


Рис.3.3. Загальний вигляд верстата 2Н125

Клас точності Н

Найбільший діаметр свердління сталі 45 ГОСТ 1050-74, мм 25

Відстань від осі шпинделя до напрямних колони, мм 250

Найбільший хід шпинделя, мм 200

Відстань від торця шпинделя, мм:

- до столу 60-700

- до плити 690-1060

Робоча поверхня столу, мм 400х450

Найбільший хід стола, мм 270

Встановлюваний розмір Т-подібних пазів у столі за ГОСТ 1574-75:

- центрального 14Н9

- крайніх 14Н11

Відстань між двома Т-подібними пазами за ГОСТ 6569-75, мм 80

Кількість швидкостей 12

Межі частоти обертання шпинделя, 1/хв 45-2000

Кількість подач 9

Межі подач, мм/про 0.1-1.6

Найбільша кількість отворів, що нарізуються, на годину 60

Напруга мережі живлення, В 380/220

Використання свердлильного верстата необхідне для свердління кругових отворів. Свердління кругових отворів відбувається за допомого поворотного столу Ф 250, базування деталі на поворотному столі забезпечується трикулачковим патроном. Базування столу на верстаті відбувається за допомогою кінцевої міри та індикатора. Заготовку в патроні поворотного столу зображено на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Базування деталі на поворотному столі

Для обробки отворів та нарізання різі вибрано такі інструменти, як спіральне свердло D = 5 мм із сталі Р6М5, 2φ =118° та машинний мітчик М6 х 1,0 мм DIN 371 35 ° HSS . Розраховуємо режими різання для свердлування.

Спочатку розрахуємо глибину різання при наскрізному свердлінні кругових отворів за формулою 3.1.

$$t = \frac{D_c}{2} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ мм} \qquad (3.1.)$$

Призначимо значення параметру подачі мм/об, як максимально допустиму за міцністю подачу свердла: $S = 0{,}2$. Значення призначено у відповідності до табличних рекомендацій, де отримане як результат експериментального дослідження;

Рівняння для розрахунку швидкості різання, яка є допустимою для даного матеріалу інструмента, м/хв.

$$\vartheta = \frac{C_\vartheta \cdot D^q}{T^{m.S^y}} \cdot K_\vartheta \qquad (3.2.)$$

Розрахуємо поправочний коефіцієнт для обробки спіральним свердлом із швидкорізальної сталі:

$$K_\vartheta = K_{M\vartheta} \cdot K_{u\vartheta} \cdot K_{l\vartheta} \qquad (3.3.)$$

$$K_{M\vartheta} = \left(\frac{750}{\sigma_в}\right)^{n_9} = \left(\frac{750}{590}\right)^{0.9} = 1.2 \qquad (3.4.)$$

де коефіцієнт $K_{M\vartheta}$ – враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання; $n_\vartheta = 0.9$ – показник степення; $K_{u\vartheta}$= 1,0 – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу; $K_{l\vartheta} = 1{,}0$ – коефіцієнт, що враховує глибину свердління;

$$K_\vartheta = 1.2 \cdot 1 \cdot 1; = 1.2 \qquad (3.5.)$$

Розрахуємо швидкість різання

$$\vartheta = \frac{7 \cdot 5^{0.4}}{15^{0,2} \cdot 0.2^{0.7}} \cdot 1.2 = 13.41 \ \frac{\text{м}}{\text{хв}} \qquad (3.6.)$$

Для налагодження верстата встановлюємо частоту обертання шпинделя, що забезпечуватиме розрахункову швидкість різання:

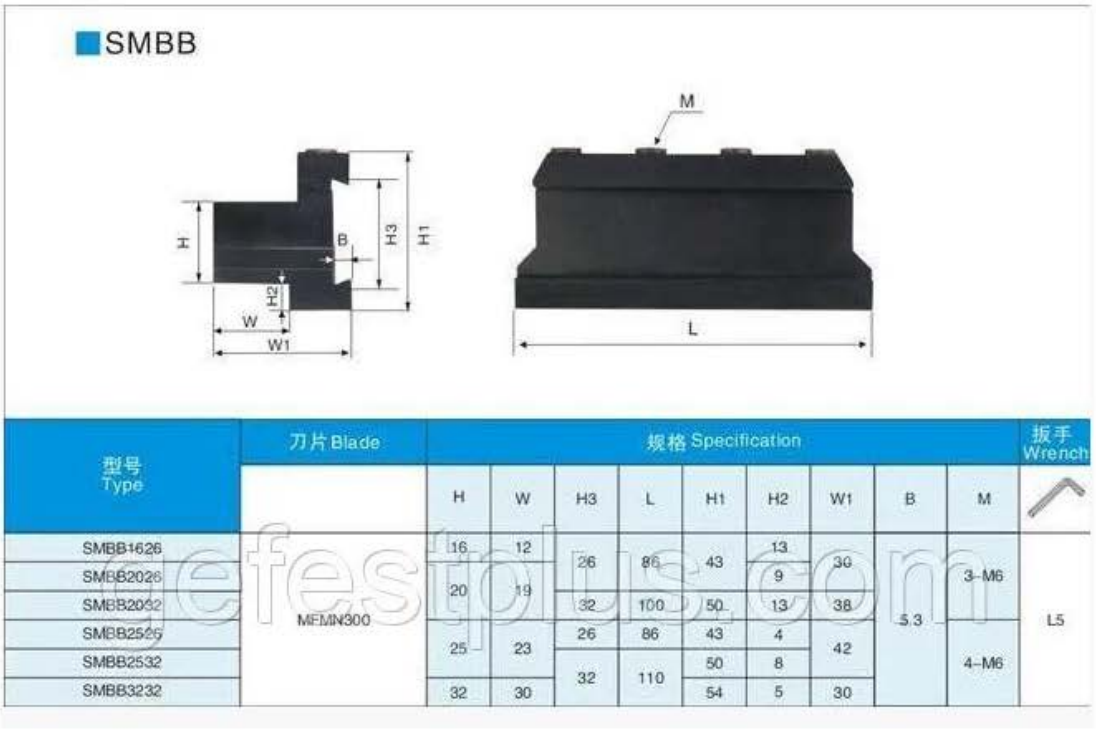
$$n = \frac{1000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 13.41}{\pi \cdot 5} = 854 \text{ об/хв} \qquad (3.7.)$$

У відповідності до паспортних даних верстата найближча менша кількість обертів при свердлінні дорівнює 710 об/хв. У відповідності до цього розраховуємо дійсну швидкість різання.

$$n = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 5 \cdot 710}{1000} = 11.15 \ \frac{\text{м}}{\text{хв}} \qquad (3.8.)$$

Вибираємо інструменти для токарної обробки на верстаті БТ-01. Інструменти вибираємо у відповідності до оброблюваного матеріалу, необхідної якості поверхонь та режимів різання.

Для відрізних та карнавочних операцій ми використовуємо відрізний блок SMBB2526, що має можливість заміни висувного леза.



型号 Type	刀片 Blade	规格 Specification									扳手 Wrench
		H	W	H3	L	H1	H2	W1	B	M	
SMBB1626	MEMN300	16	12	26	86	43	13	30	5.3	3-M6	L5
SMBB2026		20	19				9				
SMBB2032				32	100	50	13	38			
SMBB2526		25	23	26	86	43	4	42		4-M6	
SMBB2532				32	110	50	8				
SMBB3232		32	30			54	5	30			

defestplus.com

Рис. 3.5. Конструкція відрізного блоку.

Для закріплення ріжучої пластини використовується висувна бронзова вставка SPB426, використання якої обумовлено необхідністю здійснення відрізної операції на діаметрі 80 мм. Можливість відрізання заготовок діаметром до 110 мм за рахунок регулювання вильоту вставки було основним при її виборі.

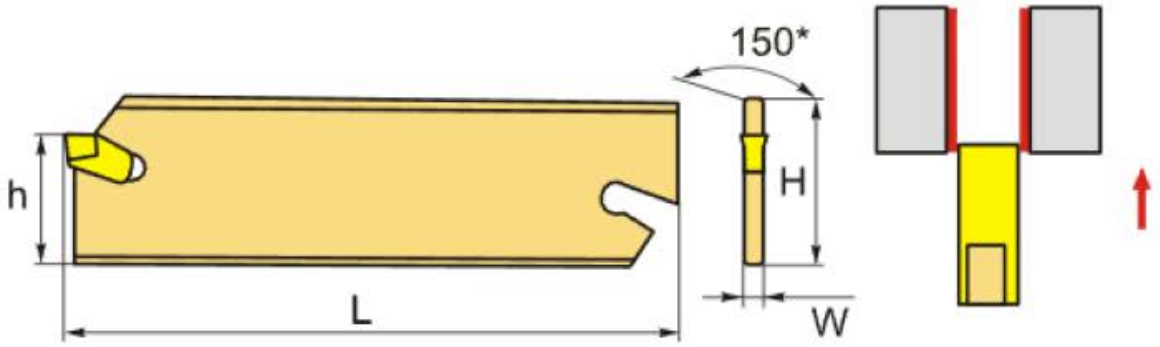


Рис. 3.6. Геометричні параметри висувної вставки

Ріжучу пластину було підібрано у відповідності до оброблюваного матеріалу. У відповідності до рекомендацій виробника. Вибрано пластину SP 400 корейського

виробника із матеріалу NC3020 яка призначена для чорнової та напівчистої обробки вуглецевих та нержавіючих сталей.

Лінійні розміри :

Маркування	Розміри mm			Пластина
	w	l	r	
SP400	4.1	11.3	0.25	

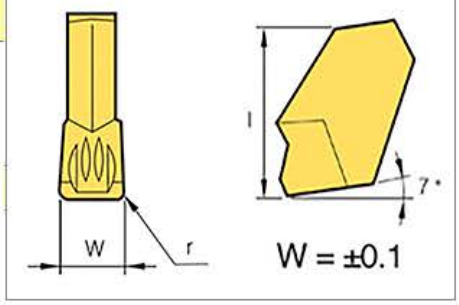


Рис. 3.7. Геометричні параметри пластини відрізного блоку

Режими різання вибираємо у відповідності до рекомендацій виробника.

– Подача 0.03-0.2 мм/об ;

– Швидкість різання : 70-150 м/с

Зважаючи на технологічні можливості вибраного нами обладнання вибираємо дійсні режими із діапазону представленого виробником:

– подача 0.045 мм/об ;

– швидкість різання вибираємо виходячи із значень діапазону.

Для забезпечення швидкості із діапазону зважаючи на можливості верстата ми можемо виділити наступні частоти обертання шпинделя 500 та 355 об/хв, виходячи із необхідності отримання максимально можливої продуктивності вибираємо частоту обертання рівною 500 об/хв та розраховуємо дійсну швидкість різання.

За розрахунковий діаметр приймаємо діаметр заготовки.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 85 \cdot 500}{1000} = 134 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \qquad (3.9.)$$

Для обробки циліндричних поверхонь у чорновому та напівчистовому проходах обрано використовувати правий прохідний різець MWLNR 2525 M08.



Рис. 3.8. Геометричні характеристики різця MWLNR 2525 M08

У відповідності до оброблюваного нами матеріалу а також необхідних параметрів поверхонь деталей нами було обрано твердосплавні пластинки WNMG432MA виготовлені із VP15TF компанією Mitsubishi Materials (Канада).

Геометричні параметрі різальної пластинки зображені на рис.3.9.

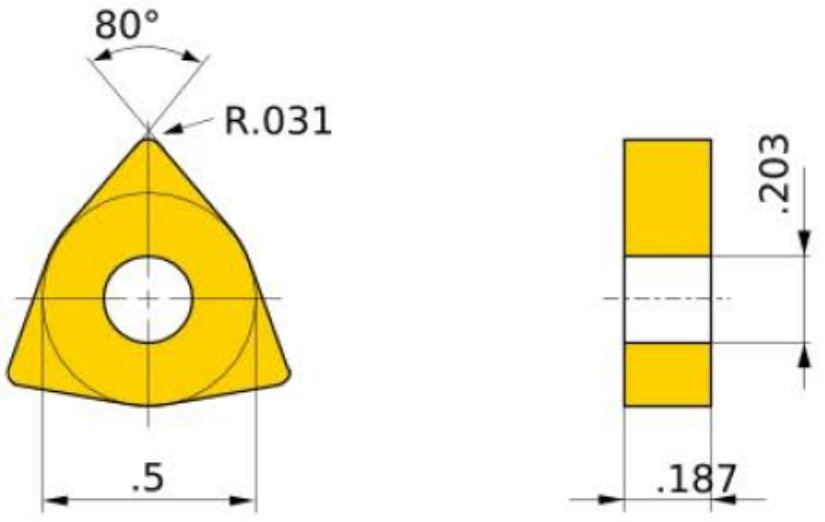


Рис.3.9. Геометричні параметри різальної пластинки WNMG432MA

Різальні пластинки призначені для вуглецевих, нержавіючих та високоміцних сталей. Для обробки вибраного нами матеріалу виробник рекомендує наступні параметри різання:

– швидкість різання – 110-160 м/хв

– подача – 0.14- 0.28 мм/об

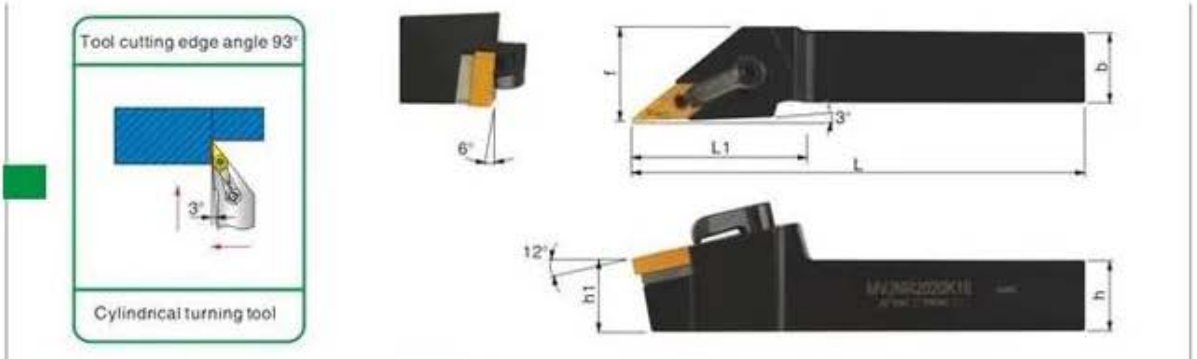
Враховуючи параметри верстата приймаємо дійсні режими різання:

– значення подачі приймаємо із діапазону наданого виробником із врахування параметрів верстата та приймаємо як єдине доступне для верстату значення з діапазону, подача – 0.17 мм/об;

– дійсну швидкість різання розраховуємо відповідно до значення прийнятої частоти обертання шпинделя що дорівнює 710 об/хв, за розрахунковий діаметр приймаємо діаметр 55 мм/об, для якого призначене використання вибраного інструменту.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 55 \cdot 710}{1000} = 123 \frac{\text{м}}{\text{хв}}; \qquad (3.10)$$

Для чистової обробки зовнішніх поверхонь деталі вибираємо різець із маркуванням державки MVJNR2525M16

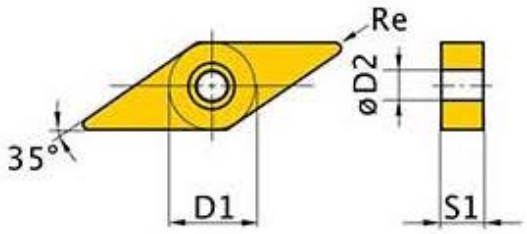


Type	Blade	Specification						Shim	Pin	Clamp	Screw	Wrench
		h	b	L	L1	h1	f					
MVJNR/L2525M16	VN□□1604□□	25	25	150	48	25	32	MV1603	CTM513	HL2414	ML0625	L2.0 L3.0

Рис. 3.10. Геометричні параметри різця MVJNR2525M16

Для забезпечення необхідних параметрів поверхні, а також у відповідності до оброблюваного матеріалу обираємо тип різальної пластинки VNMG 160404-MA та інструментальний матеріал UE6020

Лінійні розміри



Кути пластини	35 градусов
D1	9.52 мм
D2	3.18 мм
S1	4.76 мм
Re	0.2 мм

Параметри з каталогу MITSUBISHI:

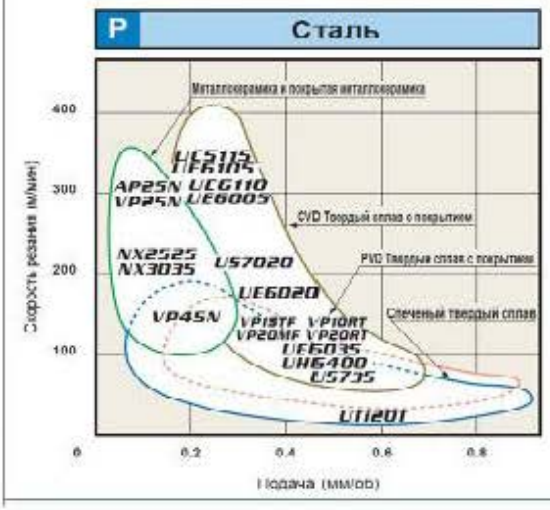


Рис. 3.11. Параметри пластинки для чистового точіння

Режими обробки вибираємо у відповідності до рекомендацій виробника. Для сталі рекомендується:

– подача 0.2-0.35 мм/об ;

– глибина різання – 0.05 - 0.2 мм;

– швидкість різання 100-200м/хв.

Проведемо розрахунок дійсного значення режимів різання:

– значення подачі приймаємо із діапазону наданого виробником із врахування параметрів верстата та приймаємо як єдине доступне для верстату значення з діапазону, подача – 0.32 мм/об;

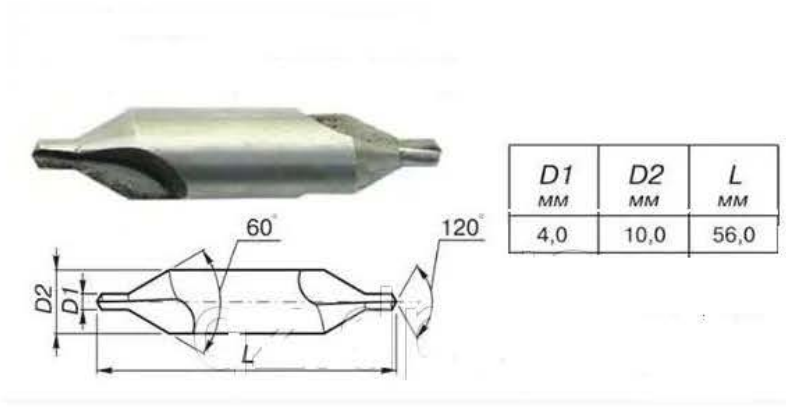
– глибину різання призначаємо у відповідності до табличних рекомендацій – 0.1 мм;

– дійсну швидкість різання розраховуємо із врахування дійсної частоти обертання шпинделя 1000 та діаметра обробки, який становить 55 мм.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 55 \cdot}{1000} = 174 \text{ м/хв} \qquad (3.11)$$

Для розточування внутрішнього діаметра, який забезпечуватиме базування підшипників у підшипниковому вузлі, спочатку проводимо обробку осьовим інструментом, а саме центрувальним та спіральним свердлами.

В якості центрувального свердла використовуємо свердло діаметром 4 мм що виготовлена із швидкорізальної сталі Р6М5



D1 мм	D2 мм	L мм
4,0	10,0	56,0

Рис.3.12 Геометричні характеристики центрувального свердла

Режими різання призначаємо у відповідності до ГОСТ 14952-75 і приймаємо наступними:

– подача - 0.08 мм/об;

– швидкість різання – 12 м/хв ;

– глибина свердлування – 8.9 мм-

Для свердлування обираємо спіральне свердло діаметром 30 мм із швидкорізальної сталі Р6М5, свердлування проводимо на токарному за допомогою задньої бабки. Для базування свердла в бабці використовуємо його конічний хвостовик, та перехідні втулки.

Режими різання призначаємо табличним методом:

– подача – 0.4 мм/об; -

– швидкість різання - 69 м/хв;

– глибина різання - 15 мм;

Для розточування вибираємо різець S20R - MCLNR12, вибір якого обумовлений діаметром отвору та жорсткістю яка при розрахованих нами режимах зможе забезпечити точність обробки та якість поверхні. Різальну пластину обрано марки CNMG120404-MS виготовлену із сплаву VP15TF який призначений для обробки чавуну, сталі та нержавіючої сталі.

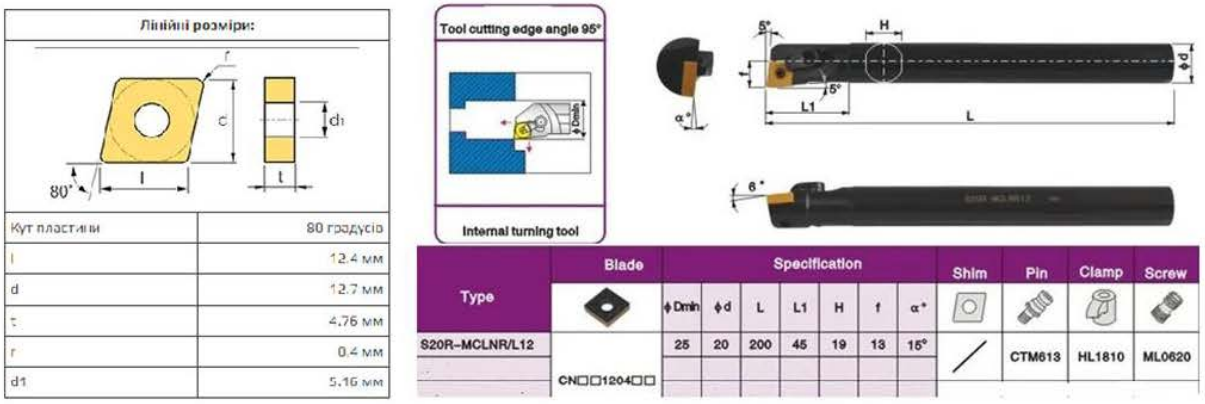


Рис. 3.13. Лінійні розміри державки та ріжучої пластинки

Режими різання вибираємо у відповідності до рекомендованих виробником. Для сталі вибираємо наступні значення:

– швидкість різання : 110-160 м/хв;

– подача: 0.14-0.28 мм/об;

– глибина різання- 0.1 -3 мм;

Розраховуємо дійсні режими різання враховуючи параметри обладнання. Виходячи із технічних можливостей верстату отримуємо наступні значення:

– подача – 0.17;

– глибина різання – 0.2 мм;

– швидкість різання: 113мм/хв;

– частота обертання шпинделя: 1000 об/хв.

3.2. Технологія виготовлення кронштейну головного приводу

Досягнення необхідні параметрів точності криволінійних поверхонь деталі кронштейн, на верстатах універсального типу неможливе без виготовлення додаткових пристосувань. Враховуючи економічну складову та трудомісткість процесу нами було прийнято рішення виготовити деталь на фрезерному ЧПК верстаті.

Для виготовлення деталі в якості заготовки використовується полоса із розмірами, що показані на рис. 3.15.

В якості матеріалу заготовки вибрано алюмінієвий сплав Д16Т через співвідношення його параметрів жорсткості до ваги.

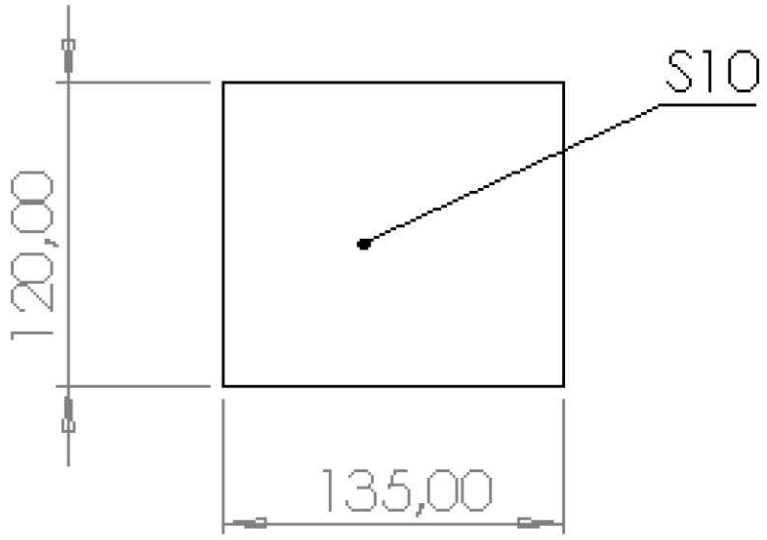


Рис.3.14 . Заготовка для виготовлення кронштейну

Сплав Д16Т є одним із найбільш затребуваним серед дюраль алюмінієвих сплавів через його стабілізовану структуру та високі характеристики міцності. Марка сплаву розшифровується наступним чином:

Д – позначення матеріалів групи дюралюмінію. Вона суттєво відрізняється від звичайного алюмінію, що пов'язано із включенням до складу різних легуючих елементів. Концентрація інших хімічних елементів дозволяє змінити багато експлуатаційних якостей.

16 – номер металу. Насправді ця цифра не вказує на будь-які властивості, але вона використовується для позначення сплаву з певними властивостями.

Т – символ, що означає проведення загартування та природного старіння. Термічна обробка, пов'язана із загартуванням, передбачає надання дії високої температури, за рахунок чого відбувається перебудова поверхневого шару.

Алюмінієвий сплав, що розглядається (Д16Т), відноситься до групи Al-Cu-Mg з легуванням марганцю. Хімічний склад сплаву Д16Т характеризується таким чином:

1. Більша частина сплаву – алюміній, концентрація якого сягає показника 94,7%.
2. Решта маси посідає магній, мідь та інші різні домішки. Включення до складу марганцю визначає суттєво збільшення корозійної стійкості сплаву Д16Т та збільшити деякі механічні властивості.
3. До складу включається невелика частка титану та заліза. Негативний вплив на метал Д16Т надає надмірна концентрація заліза. Це пов’язано з тим, що хімічний елемент не розчиняється в алюмінії, і створює неоднорідні пластини.
4. Концентрація заліза витримується у суворі межі, оскільки неоднорідна структура може призвести до погіршення суттєвого погіршення властивостей сплаву.

Таблиця 3.2.

Хімічний склад сплаву Д16Т

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Домішки	-
до 0.5	до 0.5	0.3 - 0.9	до 0.1	до 0.15	90.9 - 94.7	3.8 - 4.9	1.2 - 1.8	до 0.25	ішні,кожна0.05. всього 0.15	Ti+Zr < 0.2

Розглянемо основні властивості матеріалу:

1. Висока стабільність структури. За рахунок чого вироби, що виготовляються, можуть прослужити довго і витримують істотний вплив з боку навколишнього середовища.
2. Щільність матеріалу визначає його низьку питому вагу, рівень якого становить 2800 кг/м^3. За рахунок цього вироби, що отримуються, стають легкими. Саме тому Д16Т набув поширення в авіабудуванні та при виготовленні елементів, що застосовуються при виготовленні обладнання для космічної промисловості.

Проведені дослідження вказують на те, що деталі які мають однакові умови роботи виготовлені із Д16Т в 3 рази легші за сталеві.

3. Підвищений опір мікроскопічної деформації в процес експлуатації. Це з тим, що модуль пружності має досить високе значення
4. Висока межа міцності Д16Т досягається за рахунок включення до складу великої кількості легуючих елементів, наприклад, титану. При цьому твердість металу Д16Т становить 42 МПа.

Вибравши заготовку, визначившись із її геометричними параметрами та матеріалом переходимо до вибору обладнання.

Обладнанням для виготовлення деталі кронштейн вибрано 3-ох координатний ЧПК фрезер власної конструкції. Конструкція фрезера дозволяє обробляти кольорові метали із високою точністю та якістю поверхонь. Загальний вигляд фрезерного верстату показано на рис. 3.16.

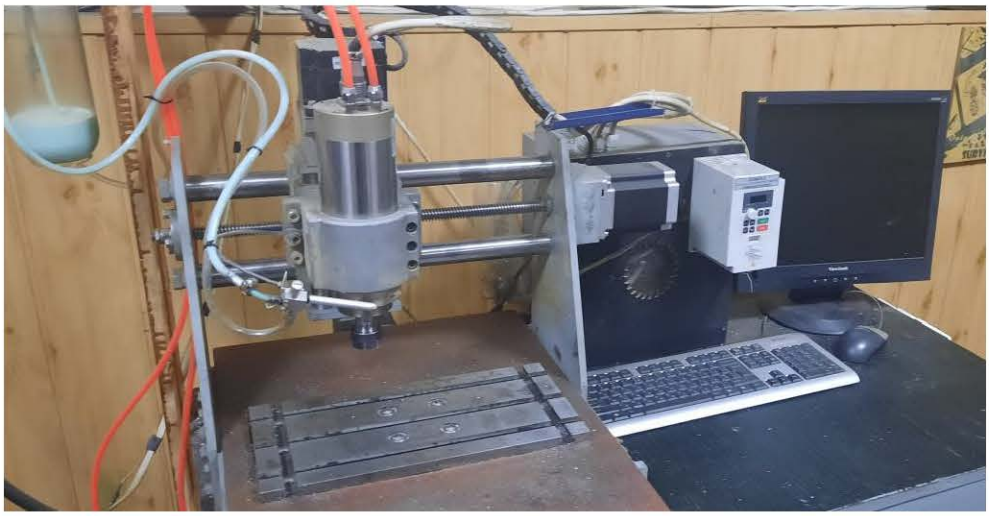


Рис.3.15. Загальний вигляд фрезерного верстату з ЧПУ власної конструкції

Фрезерний верстат оснащений 2.2 кВт двигуном із водяним охолодженням та частотним перетворювачем. Використання шпинделя із частотним перетворювачем дозволяє отримати сталі оберти обертання шпинделя а також їх регулювання в залежності від параметрів операції що виконується.

Верстат має робочу область 360x260x150 мм яка представлена у вигляді столу із т-подібними пазами що призначені для кріплення фрезерного оснащення.

В якості приводів осей встановлені драйвери та трифазні крокові двигуни, що достатній крутний момент для фрезерування вибраної марки сплаву із розрахованими параметрами. Характеристики двигунів показано на рис.3.17.

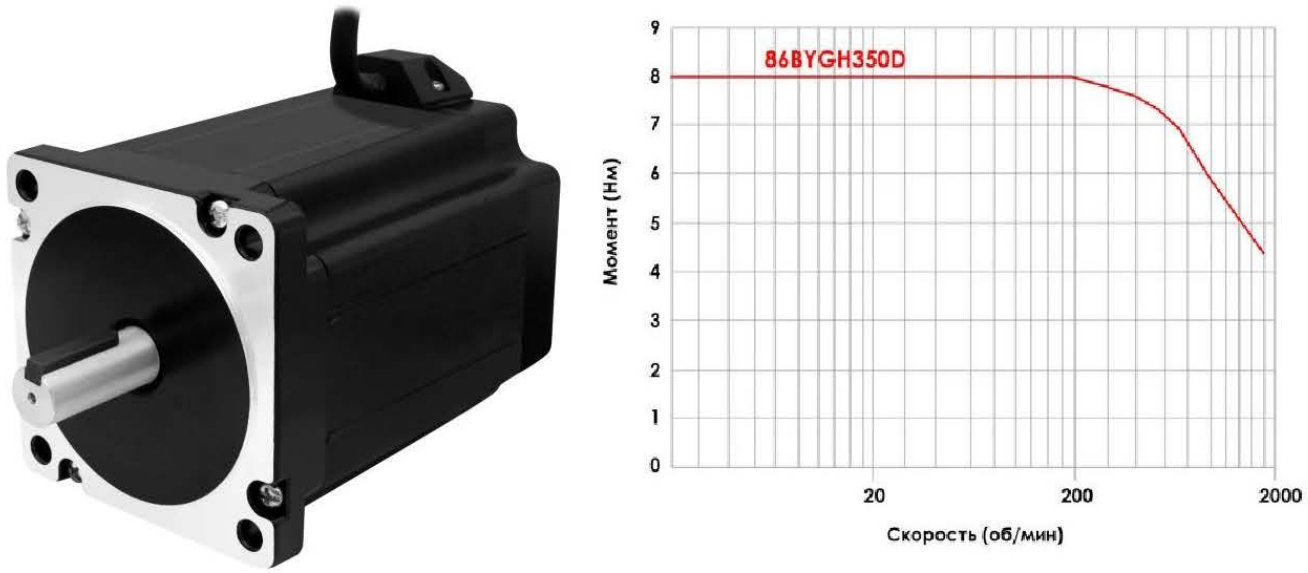
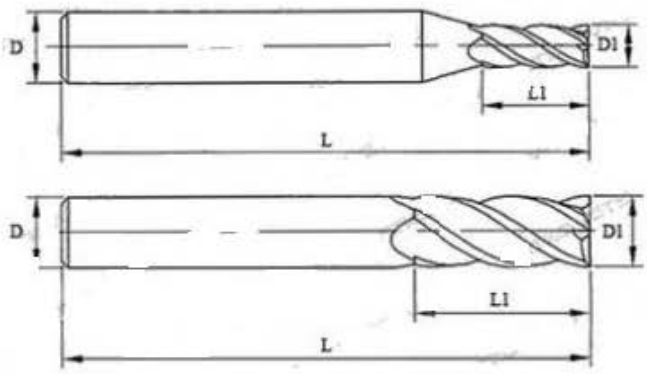


Рис. 3.17. Графік зміни параметрів моменту від швидкості для двигуна подачі фрезерно верстата власної конструкції

Подачу МОТС реалізовано системою FogBuster, принцип роботи якої заснований на подачі капель МОТС під тиском безпосередньо у зону різання. Особливістю якої є протистояння формуванню туману, який є шкідливий при довготривалому потраплянні у диханні шляхи людини.

В якості інструменту для обробки нами було обрано кінцеву спіральну фрезу призначену для обробки алюмінієвих сплавів. Фреза по алюмінію - це різальний інструмент, який за рахунок специфічної будови, особливої форми кромки, вдосконаленого кута різання і канавки спіральної форми, оптимально підходить для обробки алюмінію та інших в'язких металів. В якості матеріалу використовується твердий карбід (твердість за шкалою Роквелла - HRC50), що дозволяє даними фрез впоратися з налипанням металу в канавках, уникнути неточностей, викривлення, відхилень в заданих параметрах під час обробки матеріалу.



Модель	кількість зубів	D1	D (мм)	L1 (мм)	L (мм)	кут спіралі	Твердість	Вага
D6*18*D6*L50	2	6	6	18	50	45	HRC50	16.6

Рис.3.18. Загальний вигляд та параметри фрези.

Режими різання підбираємо у відповідності до рекомендацій виробника.

- Подача на зуб – 0.042-0.044 мм;
- Швидкість різання – 245 м/хв;

Розраховуємо швидкість обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_ф} = \frac{245 \cdot 1000}{\pi \cdot 6} = 13\,000 \frac{об}{хв} \quad (3.12)$$

Де V_c – швидкість різання; $D_ф$ - діаметр фрези ;

Розрахуємо швидкість подачі

$$Vf = n \cdot f \cdot z = 13000 \cdot 0.043 \cdot 2 = 1118 \text{ мм/хв} \quad (3.13)$$

Визначаємо глибину фрезерування у відповідності до діаметру фрези та параметрів верстату. Для верста із сталевою рамою рекомендується визначення глибини різання за наступним співвідношенням:

$$t \leq 0.25 \cdot D_ф = 0.25 \cdot 6 = 1.5 \text{ (мм)} \quad (3.14)$$

З врахуванням проведеного розрахунку приймаємо глибину різання рівною 1 мм, при фрезеруванні використовуємо ЗОР. Подачу якої здійснюємо системою FogBuster безпосередньо у зону різання.

Створення керуючої програми.

Для створення керуючої програми верстату використовуємо середовище SolidWorks CAM. Використання середовища обумовлено попереднім створенням моделі кронштейну у SolidWorks, а також можливістю налаштування у програмі постпроцесора Mach 3, котрий необхідний через використання у верстаті для управління контролера CNC Mach.

SOLIDWORKS® CAM – це рішення для 2,5-осьової фрезерування та точіння на базі CAMWorks®. SOLIDWORKS CAM пропонує можливості машинної обробки "3+2", а також повну підтримку конфігурацій, деталей та робочих процесів збирання. У основі SOLIDWORKS CAM лежить машинна обробка з урахуванням правил, що дозволяє навчити систему важливим стандартним стратегіям машинної обробки. Потім ці правила можна застосовувати автоматично на основі типу матеріалу та геометрії елемента. Використовуючи інтерфейс SOLIDWORKS для деталей та збірок, користувачі можуть легко та швидко навчитися працювати з SOLIDWORKS CAM та з мінімальними витратами почати користуватися перевагами машинної обробки на базі правил.

Перелік переваг системи (визначений виробником):

1. Спрощення спільної роботи завдяки єдиному середовищу проектування та програмування зі спрощеним переходом на CAM.
2. Використання паралельної розробки дозволяє швидше виконувати завдання, виявляти проблеми на ранніх етапах і скорочувати витрати на внесення змін.
3. Машинна обробка на основі правил допомагає новим користувачам легко адаптуватися до процесів машинної обробки, прийнятих у компанії.
4. Машинна обробка з урахуванням допусків забезпечує оптимальну стратегію процесів та швидке внесення коригувань у міру зміни проектів, матеріалів та

допусків.

5. Розпізнавання елементів побудови деталі пропонує їх повний контроль серед CAD/CAM.
6. Високошвидкісна машинна обробка допомагає створити траєкторії, які скорочують час циклу, продовжуючи термін служби інструментів та зменшуючи зношування верстатів.
7. Редактор ЧПУ спрощує та прискорює перевірку G-коду. Крім того, користувачі можуть створити зворотну епюру G-коду, щоб переглянути файл та відправити його безпосередньо на стійку ЧПУ за допомогою можливостей DNC.
8. Простий зв'язок між програмуванням та налаштуванням завдяки виведенню траєкторій у eDrawings®. Оператори можуть переглядати тривимірні моделі зі зв'язаними траєкторіями, щоб краще розуміти порядок машинної обробки.
9. Проста візуалізація кріплень та оснастки за допомогою збірок SOLIDWORKS Коли оснастка спроектована, SOLIDWORKS CAM може автоматично відкоригувати траєкторії, щоб уникнути зіткнень із її компонентами.
10. Моделювання траєкторії в SOLIDWORKS CAM дозволяє перевірити правильність стратегій машинної обробки та відомості про налаштування на кожному виробі.

Створення керуючої програми у SOLIDWORKS CAM починається із вибору верстату. Через використання верстату власної конструкції це етап включає задання параметрів верстату. Після вибору обладнання ми вибираємо параметри заготовки та визначаємо систему координат. Параметри заготовки вибираємо у відповідності до рис.3.25, задаємо центр координат у нижньому лівому куті.

Додаємо до бази інструменти потрібні нам для обробки. Для всіх операцій використовуємо вибрану вище фрезу діаметром 6мм. Параметри різання задаємо у відповідності до розрахованих. Завершуємо налаштування інструменту, задані параметри інструменту показано на рис. 3.19.

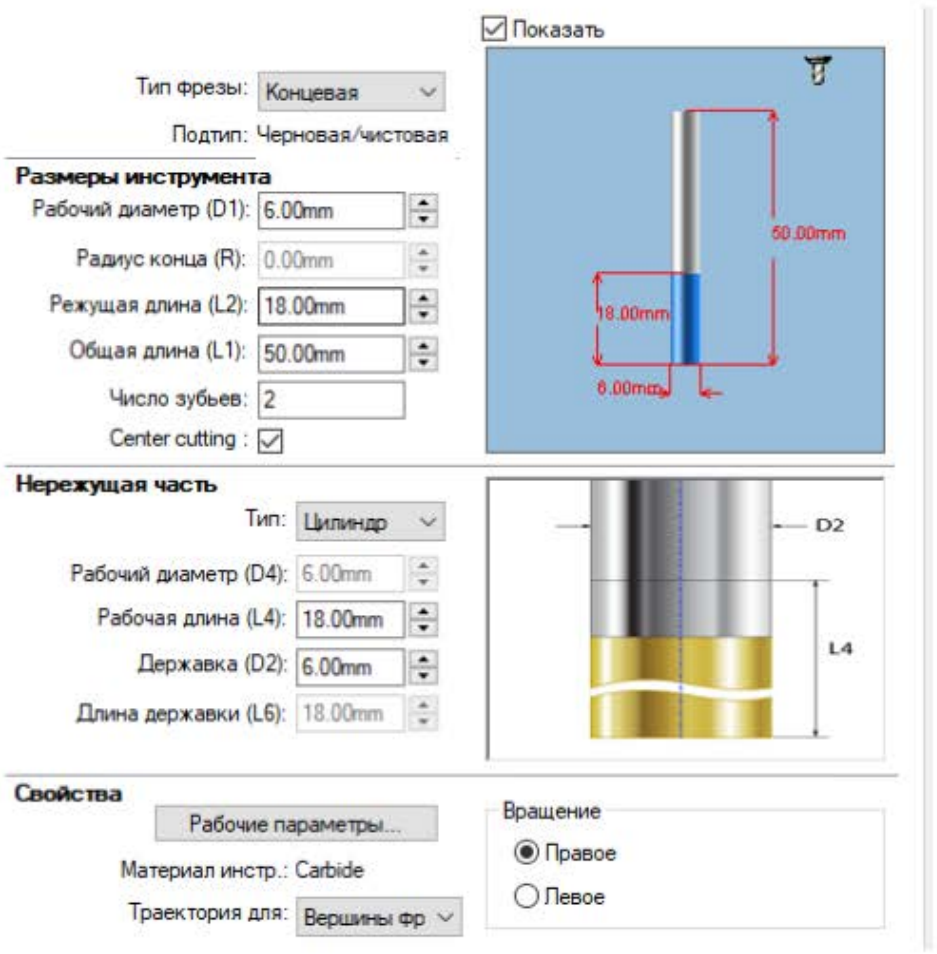


Рис. 3.19. Параметри фрези у SOLIDWORKS CAM

Створюємо елементи для обробки та формуємо траєкторії. Спершу проводимо обробку отворів. Корегуємо режими різання для цієї операції та отримуємо результат показаний на рис. 3.20.

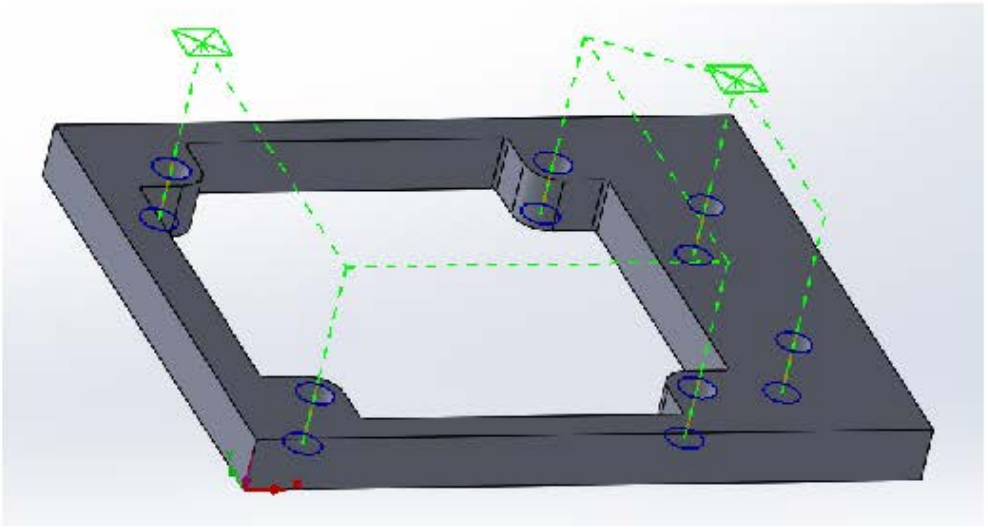


Рис. 3.20. Траєкторія обробки отворів кінцевою фрезою

Наступним елементом фрезеруємо внутрішній карман. Фрезерування відбувається із використанням розрахункових режимів попутнім методом. Для фрезерування обираємо 2.5 д фрезерну операцію. Фрезеруємо по замкненому контуру. Отриману траєкторію обробки показано на рис. 3.21.

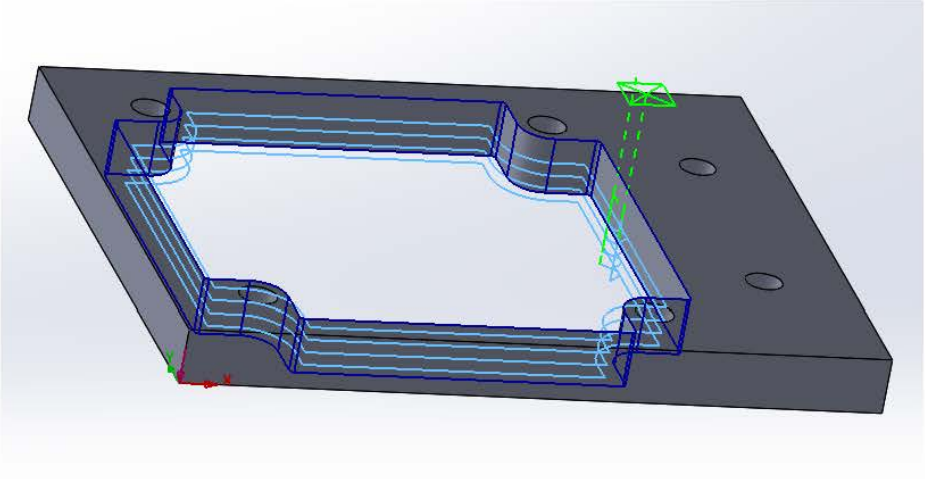


Рис. 3.21. Траєкторія обробки внутрішнього карману.

Завершуємо фрезерну обробку обробкою зовнішнього контуру деталі. Для фрезерування зовнішнього контуру використовуємо розраховані режими різання. Створюємо загальну траєкторію обробки деталі та запускаємо симуляцію обробки, щоб переконатися у правильності вибраних параметрів.

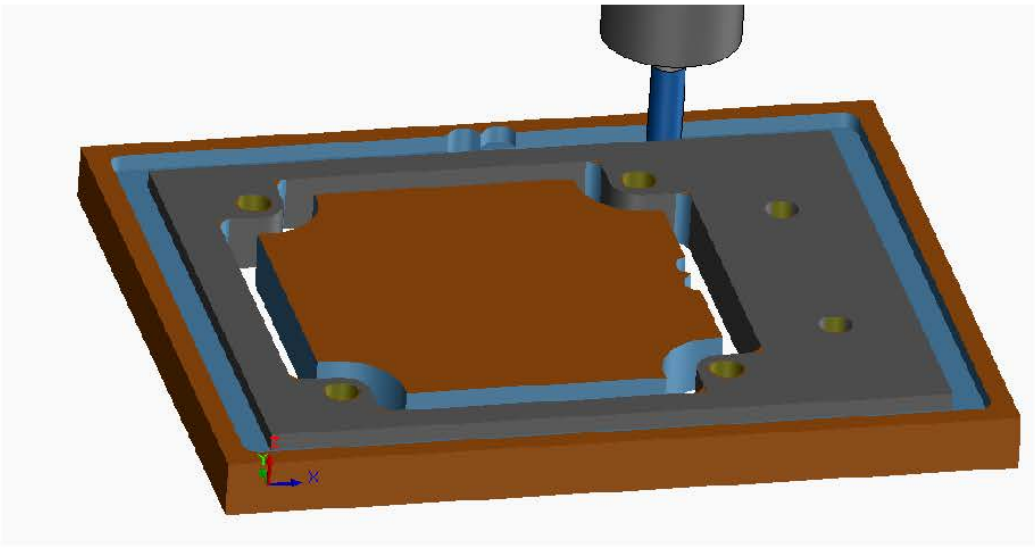


Рис.3.22. Загальна траєкторія обробки.

Вибираємо постпроцесор та формуємо керуючу програму для верстату. Виділимо фрагмент керуючої програми:

(Material Size) (X=135.00, Y=120.00, Z=10.000)

(Tool Number:1) (6.000 мм діаметр циліндричної фрези)

G21 G49 G80 G90

G0Z5.0000

M3 S13000

G0 X23.8135 Y34.7500 Z5.0000

Z2.0000

G1 Z-10.0000 F360

G0 Z5.0000

G0 X46.5634 Y21.2500

Z2.0000

G1 Z-10.0000 F360

G0 Z5.0000

G0 Y-21.2500

Z2.0000

G1 Z-10.0000 F360

G0 Z5.0000

G0 X23.8135 Y-34.7500

Z2.0000

G1 Z-10.0000 F360

G0 Z5.0000

G0 X-45.6865

Z2.0000

G1 Z-10.0000 F360

G0 Z5.0000

G0 Y34.7500

Z2.0000

G1 Z-10.0000 F360

G0 Z5.0000

3.3 Програмування контролера головного приводу

Програмування вибраний нами раніше контролера Arduino Uno R3 відбувалося у відкритому середовищі Arduino IDE. Після збирання схеми контролера яка показана на рисунку 3.45. переходимо до написання прошивки у середовищі за допомогою мови програмування C++.

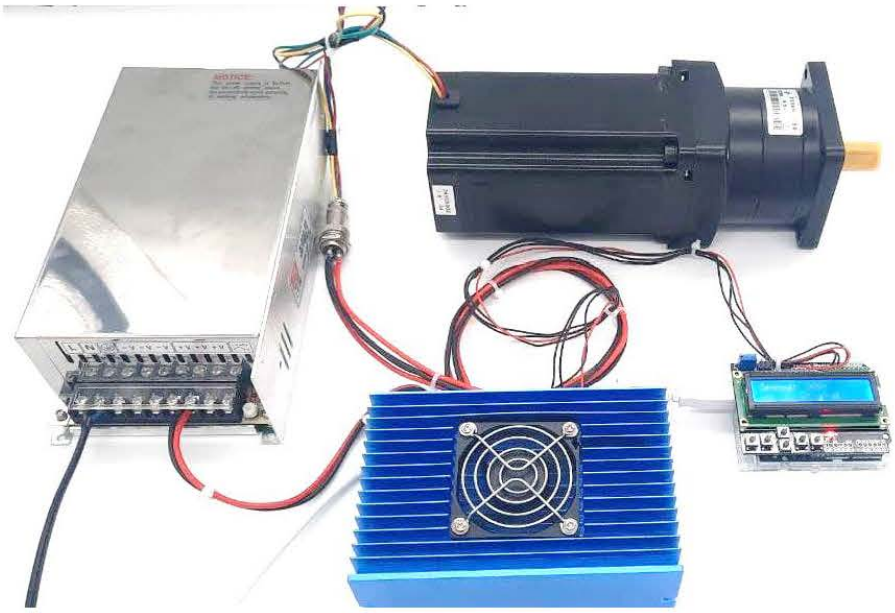


Рис.3.23. Схема контролера управління двигуном

При програмуванні контролера увесь код розділено на дві функції. Функція «Setup» яка виконується одноразово при ввімкнені контролера і його перезавантаженні. Зазвичай у даній функції задають параметри режимів роботи пінів, відкривають необхідні протоколи зв'язку встановлюють з'єднання із додатковими модулями та налаштовують підключені бібліотеки. У нашому коді він представлений параметрами відображеними на рис. 3.24.

```
//Підключення бібліотек
#include <LiquidCrystal.h>
#include "GyverTimers.h"
LiquidCrystal  lcd (8,9,4,5,6,7);
#define DRIVER_STEP_TIME 6
#include "GyverStepper.h"
GStepper< STEPPER2WIRE> stepper(800, 11, 12, 13);

// Ініціалізація змінних
char msgs[5][15] = {"Right Key OK ",
                    "Speed +100   " ,
                    "Speed -100    ",
                    "Stoped       ",
                    "Started      " };
int  adc_key_val[5] ={30, 150, 360, 535, 760 };
int NUM_KEYS = 5;
int adc_key_in;
int key=-1;
int oldkey=-1;
int motorspeed = 800; // крок за замовчуванням
int maxspeed = 1500; // макс. шаг/сек.
int speedstep = 100; // крок збільшення швидкості
int flag = -1;
```

Рис.3.24. Параметри функції «Setup».

Показані на рис.3.46. параметри мають чітку структуру і відповідають за включення до програмного коду за допомогою перемінної #include бібліотек які призначені для налаштування роботи вибраних нами компонентів.

Бібліотека «LiquidCrystal.h» дозволяє платам Arduino керувати рідкокристалічними дисплеями (LCD) на основі контролера HD44780 (або аналогічним), який використовується в більшості символьних LCD дисплеїв.

Бібліотека працює або у чотирьох, або у восьми бітному режимі (тобто використовується 4 або 8 ліній даних на додаток до ліній управління RS, EN і, за необхідності, RW).

Синтаксис:

LiquidCrystal(rs, enable, d4, d5, d6, d7)

LiquidCrystal(rs, rw, enable, d4, d5, d6, d7)

LiquidCrystal(rs, enable, d0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7)

LiquidCrystal(rs, rw, enable, d0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7)

Де параметри:

- rs: номер виходу плати Arduino, який підключений до виходу RS LCD дисплея;
- rw: номер виходу плати Arduino, який підключений до виходу RW LCD дисплея (не обов'язково);
- en: номер виходу плати Arduino, який підключений до виходу ввімкнення EN LCD дисплея;
- d0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7: номера виходів плати Arduino, які підключені до відповідних виходів LCD дисплея. d0, d1, d2 и d3 не обов'язкові; якщо вони пропущені, LCD буде керуватися за допомогою тільки чотирьох ліній даних (d4, d5, d6, d7).

Для управління за допомогою цієї бібліотеки дисплей підключають за наступною схемою:

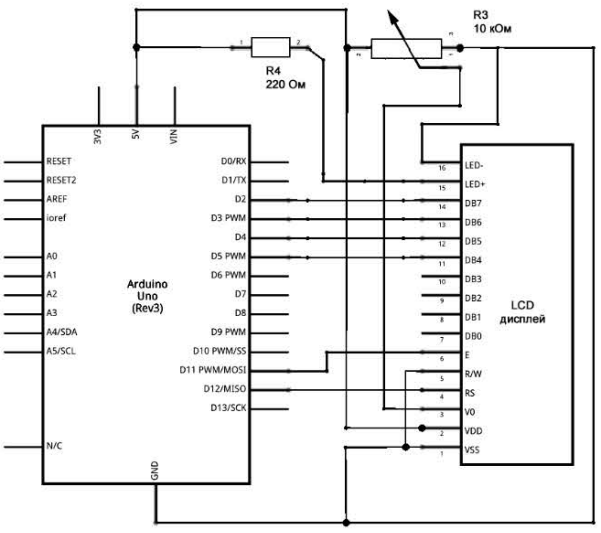


Рис.3.25. Електрична принципова схема для підключення LCD дисплею до Arduino.

Бібліотека «GyverTimers.h» призначена для створення параметрів де необхідні функції таймера. Таймер може працювати в режимі інтервалів та в режимі тайм-ауту:

У режимі інтервали. Запуск - метод setInterval(час) із зазначенням часу. У режимі інтервалів таймер спрацьовує (метод isReady() повертає true) щоразу при досягненні зазначеного періоду та автоматично перезапускається. Зручно для періодичних дій

У режимі тайм-аут. Запуск - метод setTimeout (час) із зазначенням часу. У режимі тайм-ауту таймер спрацьовує (метод isReady() повертає true) лише один раз при досягненні зазначеного періоду та автоматично вимикається. Для повторного запуску потрібно викликати .setTimeout() із зазначенням періоду, або просто .start() - запустить таймер на нове коло з попереднім періодом.

Бібліотека «GyverStepper.h» призначена для керування кроковими двигунами за допомогою Arduino.

- Підтримка 4х пінового (крок та півкрок) та STEP-DIR драйверів
- Автоматичне відключення живлення при досягненні мети

Режими роботи:

- Обертання із заданою швидкістю. Плавний розгін та гальмування з прискоренням
- Слідування до позиції з прискоренням та обмеженням швидкості
- Проходження до позиції із заданою швидкістю (без прискорення)
- Швидкий алгоритм керування кроками
- Підтримка "віртуальних" драйверів
- Вбудований багато осьовий планувальник траєкторій

Бібліотека містить набір інструментів для різних сценаріїв роботи з кроковими двигунами:

- StepperCore.h [клас Stepper]: ядро всіх інших класів, вміє швидко натискати пінами (AVR) і робити один крок для налаштованого типу драйвера. Підтримує 4 фази крок/півкрок, а також step-dir драйвери.
- GyverStepper.h [клас GStepper]: основна важка бібліотека, багато налаштувань.

Рух одного мотора із прискоренням до заданої позиції або обертання із заданою швидкістю. Не дуже оптимальна робота у перериванні таймера.

- GyverStepper2.h [клас GStepper2]: нова полегшена версія GyverStepper практично повністю з нею сумісна. Більш оптимальний цілий гібридний алгоритм руху з прискоренням, легка вага. Оптимізовано для роботи у перериванні таймера.
- GyverPlanner.h [клас GPlanner]: багато осьовий планувальник траєкторії, рух з прискоренням (2 порядок). Зупинка у кожній точці. Оптимальна робота у перериванні таймера.
- GyverPlanner2.h [клас GPlanner2]: багато осьовий планувальник траєкторії, рух з прискоренням (2 порядок). Планування швидкості на маршруті, оптимальний рух по точках. Оптимальна робота у перериванні таймера.

Для управління драйвером бібліотекою підключаємо електронні компоненти за схемою зображеною на рис. 3.26.

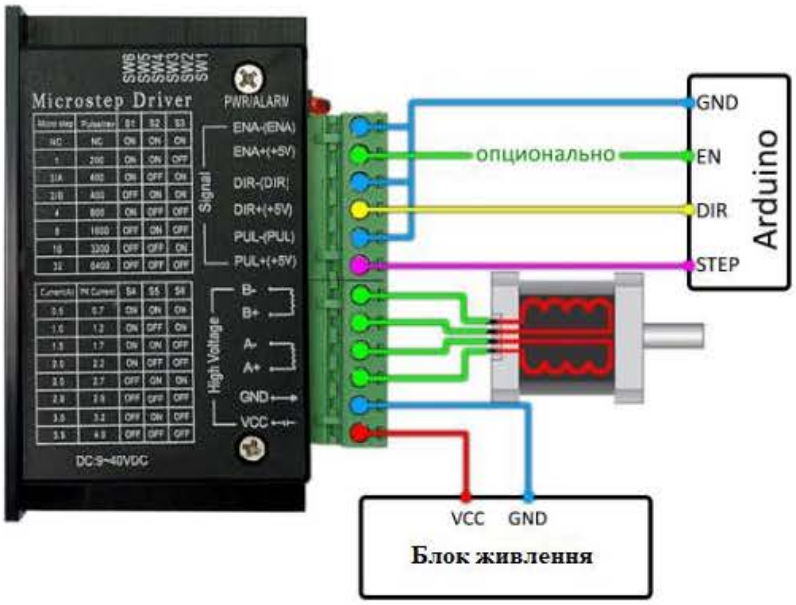


Рис. 3.26. Схема підключення драйвера до Arduino

У функції «Setup» також забезпечується ініціалізація змінних необхідних для подальшої роботи програми.

Функція «Loop» забезпечує виконання команд, які мають виконуватися постійно поки ввімкнена плата Arduino. Починаючи з першої команди, мікроконтролер пройде до кінця і знову повернеться на початок, щоб повторити ту саму послідовність дій. В описаній функції наш контролер чи натиснута будь-яка кнопка. Якщо якась із кнопок натиснута відбувається зміна сигналу та вивід на екран інформації. В залежності від нетисненої кнопки змінюється величина певного параметру на величину яка визначена у попередній функції. Програмний код для управління контролером знаходиться у Додатках.

3.4. Практична частина. Виготовлення складових екструдера.

3.4.1. Виготовлення кронштейну кріплення шпинделя

Для виготовлення кронштейну кріплення шпинделя використовуємо трьохосьовий фрезерний верстат з ЧПК власної конструкції, параметри якого описані у попередньому розділі. Налаштування режимів різання відбувалося ще на етапі підготовки управляючої програми.

Базування заготовки на столі верстату здійснено за допомогою стола з Т-подібними пазами, кріплення заготовки здійснюємо прижимними планками рис. 3.27.



Рис.3.27. Загальний вигляд заготовки на столі верстату

Перед початком фрезерування визначаємо нульові координати для інструменту. Визначення нульової координати проводимо шляхом обкатки заготовки із врахуванням припусків рис.3.28.



Рис.3.28. Нульова координата інструменту

Після визначення нульових координат інструменту переходимо до налаштування режимів для обробки. На вибрані моделі верстату подачі та глибина різання є складовою управляючої програми і задається її параметрами. Однак швидкість обертання шпинделя задається вручну. Для задання швидкості обертання необхідно задати певну частоту на частотному перетворювачі. Задання частоти відбувається за співвідношенням 24 000 об/хв = 400 Гц. Виходячи із цього співвідношення, а також необхідної частоти обертання у 13 000 розраховуємо частоту за співвідношенням:

$$\mu = \frac{13\,000}{24000} \text{x}\, 400 = 216\ \text{Гц} \qquad (3.15.)$$

Вносимо розраховану нами частоту та проводимо тестовий запуск шпинделя, піднявши його на безпечну висоту, як це показано на рис.3.29.



Рис.3.29. Тестовий запуск шпинделя

Після тестового запуску та відпрацювання траєкторії обробки деталі, повертаємо шпиндель з фрезою в нульове положення, запускаємо управляючу програму. Управляюча програма складається із двох частин, перша частина програми відповідає за фрезерування отворів та внутрішнього контуру рис. 3.30.

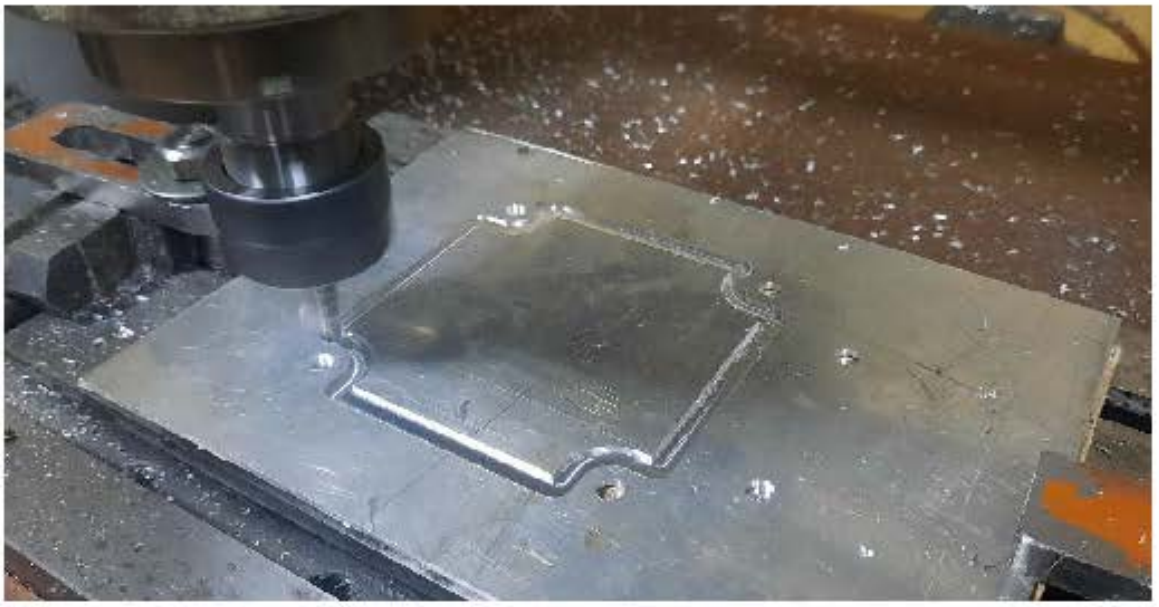


Рис.3.30. Фрезерування внутрішнього контуру деталі

Друга частина відповідає за фрезерування зовнішнього контуру деталі. При фрезеруванні якої фреза (з міркувань безпеки) для запобігання вильоту деталі

залишає перемички, які в подальшому видаляються за допомогою ручного інструменту.

Загальний вигляд останнього етапу фрезерування зображено на рис.3.31.



Рис.3.31. Фрезерування зовнішнього контуру деталі

Після фрезерування отримана деталь проходить етап контролю вимірювальними приладами. Шляхом вимірювання параметрів деталі перевіряємо її відповідність заданим параметрам точності та якості поверхонь. Для перевірки параметрів точності використовуємо штангенциркуль Mitutoyo Absollute рис. 4.6.



Рис. 3.32. Загальний вигляд штангенциркуля Mitutoyo Absollute

Вибраний вимірювальний інструмент дозволяє контролювати розміри деталі із точністю 0.01, що повністю задовольняє наші вимоги до вимірювання.

Здійснивши вимірювання ми отримали значення геометричних розмірів в межах 0.01, що показано на рис. 3.33. а, б, в.

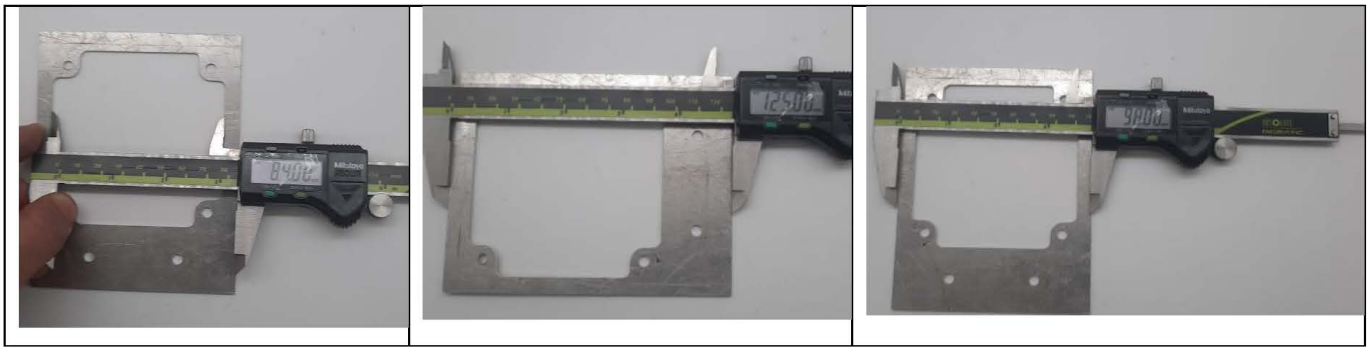


Рис. 3.33. Результати вимірювання

Отримані результати вимірювання деталей дозволяють зробити висновки про правильний підбір режимів різання та обладнання.

3.4.2. Виготовлення корпусу підшипникового вузла

Корпус підшипникового вузла виготовлявся на токарному та свердлильному верстатах. Токарна обробка відбувалася з вибраним в п.п 3.1. інструментом та розрахованими у п.п. 3.1. режимами різання.

Після закріплення заготовки в патрон виконується обробка її торця, для обробки торця використано MWLNR2525N08. Процес обробки торця зображено на рис. 3.34.

Наступною є токарна операція знаття припуску зовнішнього діаметру заготовки, котра була виконана двома інструментами (для чорнового та чистового точіння). Також було застосовано МОТС марки DEFENDER PRO із концентрацією близько 5%.



Рис. 3.34 .Обробка торця заготовки

Процес виконання операції зображено на рис 3.35.



Рис. 3.35. Обробка зовнішнього діаметру заготовки

Після обробки зовнішнього діаметру виконується свердлування центрувального отвору за допомогою центрувального свердла у цанговому патроні, який зафіксований у пінолі задньої бабки. Подачу здійснюємо вручну у відповідності до розрахункових параметрів. Процес свердлування центрувального отвору показано на рис. 3.36.

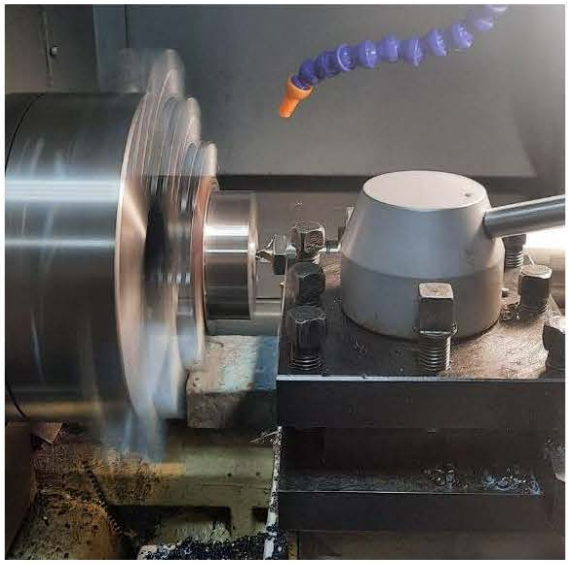


Рис.3.36. Операція свердлування центрувального отвору

Для отримання внутрішнього діаметру 47H7, який забезпечує базування підшипників, застосовуються свердлування та розточування. Спочатку виконується свердлування спіральним свердлом діаметром 30 мм, що необхідно для введення розточного різця. Потім, використовуючи різець S20R – MCLNR12, виконуємо розточування отвору до потрібного діаметру. Режими різання налаштовуємо у відповідності до розрахункових. Операцію розточування відображено на рис. 3.37.



Рис.3.37. Розточування внутрішнього отвору

Відрізання деталі здійснюємо за допомогою відрізного блоку SMBB2526. Після відрізання деталі її встановлюють в патроні для виконання торцювальної операції. Процес торцювання деталі показано на рис. 3.38.



Рис.3.38. Торцювання поверхні деталі

Кінцевою операцією у виготовленні деталі є свердлування кругових отворів на свердлильному верстаті 2Н125 із використанням спеціального оснащення – поворотного столу. Процес свердління зображено на рис. 3.39



Рис. 3.39. Свердлування кругових отворів

Після виготовлення деталі було проведено ряд вимірювань її геометричних розмірів. Для вимірювання використовувалися наступні інструменти:

телескопічні нутроміри - застосовуються як допоміжний інструмент для вимірювання внутрішнього діаметра деталей. Прилад має 2 пружні ніжки, які вставляються в отвір і фіксуються гвинтом на ручці. Для отримання результатів користувач повинен виміряти за допомогою штангенциркуля або мікрометра довжину зафіксованих ніжок, що утворилася.

Для забезпечення точності вимірювань інструментом потрібно дотримуватися наступних вимог у роботі з інструментом:

- вимірювальні поверхні мають бути чистими;
- процедуру вимірювання проводять за температури 20 градусів;
- після вимірювання поверхні, які торкалися вимірюваних площин, промивають чистим бензином, змащують технічним вазеліном;
- нутромір зберігають у футлярі.



Рис. 3.40. Загальний вигляд телескопічних нутромірів

Для роботи з нутромірами ми використовуємо Мікрометр МК 25-50 0.001 кл.1, виготовлений у Тайвані. Він забезпечує точність вимірювання розмірів в межах 0.001мм, що дозволяє оцінити потрібну нам ступінь точності деталі.

Для вимірювання лінійних (вільних) розмірів використовуємо штангенциркуль Mitutoyo Absollute. Здійснення вимірювань за допомогою обраного інструменту дозволило оцінити параметри точності виготовленої деталі, та зробити висновки при її технологічність. Точність розмірів та якість поверхонь деталі говорить про правильність підбору обладнання та розрахунку режимів різання при виготовленні деталі. А можливість забезпечити економічно вигідну та точну обробку усіх поверхонь деталі дозволяє стверджувати, що вибір та проектування геометричних характеристик деталі був проведений правильно. Зважаючи на вище описане, можна стверджувати, що конструкторська та технологічна складові виготовлення деталі виконані.

Проведення вимірювань та їх точність зображено на рис 3.41.



Рис.3.41. Параметри вимірювання деталі корпус підшипникового вузла

3.4.3 Виготовлення алюмінієвої рами

Для виготовлення рами, для кріплення шнекового екструдера, використовуємо верстатний алюмінієвий профіль через простоту його обробки та монтажу. Найважливішими вимогами які висуваються при збірці рами виступає точність лінійних розмірів та перпендикулярність її складових. Для забезпечення висунутих вимог обробка елементів рами у відповідності до специфікації (Додаток 6) відбувалася в два етапи :

- за допомогою торцювальної пилки у відповідності до специфікації нарізаємо у розмір алюмінієвий профіль залишаючи припуск на механічну обробку.



Рис.3.42.Процес нарізання профілю

– фрезерування торців профілю необхідне для забезпечення перпендикулярності складових. Фрезерування відбувалося з двох сторін за одну установку одразу усіх складових. Фрезерування відбувається в лещатах кінцевою фрезою із швидкорізальної сталі яка виготовлена для фрезерування алюмінієвих сплавів.



Рис. 3.43. Фрезерування торців алюмінієвого профілю.

Після фрезерування усіх деталей у відповідності до специфікації було здійснено ручне складання рами, для фіксації елементів використовувалися кутники для верстатного профілю 3030 геометричні параметри яких зображено на рис.3.45.

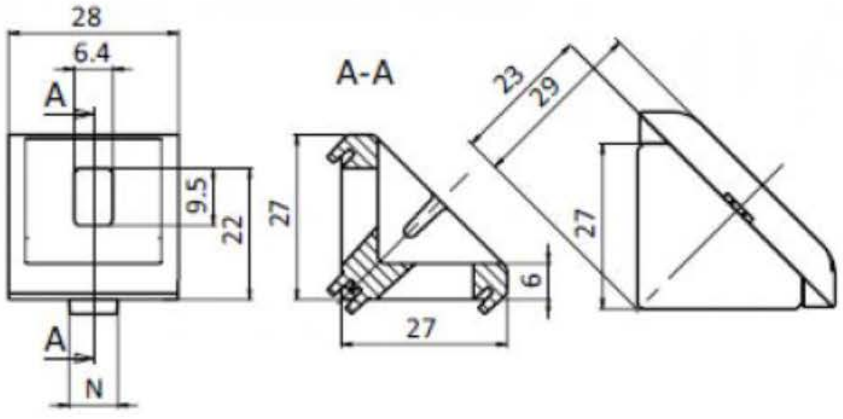


Рис.3.44. Геометричні параметри кутника для алюмінієвого профілю

Кріплення кутників на алюмінієвому профілі відбувалося за рахунок їх фіксації гвинтами із т-подібними гайками. Збірка рами відбувалася в декілька етапів і включала контроль розмірів за допомогою штангенциркуля. Та контроль перпендикулярності деталей за допомогою прецензійного гранітного кутника.

Контроль перпендикулярності відбувався періодично, пед встановленням деталями кутового з'єднувача у вигляді кутника.



Рис.3.45. Процес складання рами екструдера

Отримана після складання модель відповідає конструкторській документації. Досягнені перпендикулярність та точність розташування деталей у межах ,які були визначені під час проектування. Сукупність цих факторів дозволяє зробити висновки про технологічність виробу. А також підтвердити правильність вибору обладнання, режимів, та способу обробки деталей.

ВИСНОВКИ

В ході виконаної роботи спроектовано модель шнекового екструдера для тривимірного друку відходами пластику.

Виконано аналітичний огляд конструкцій екструдерів та обґрунтовано тип та параметри розроблюваного екструдера для друку відходами пластику. Проаналізовано варіанти апаратного забезпечення процесу нагрівання екструдерів.

Виконано проектний розрахунок шнека екструдера. На основі аналітичного огляду варіантів з'єднань шнеків екструдерів з приводами обґрунтованого тип з'єднання у проектованому екструдері.

За допомогою САПР SolidWorks виконано 3D шнека екструдера та розроблено конструкторську документацію. Здійснено вибір матеріалу шнека, виконано перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання в середовищі SolidWorks Simulation.

Виконано проектний розрахунок матеріального циліндру екструдера, його 3D модель та конструкторську документацію. В середовищі SolidWorks Simulation виконано термічні дослідження матеріального циліндру для моделювання розподілу температур при роботі нагрівного блоку екструдера.

На основі прийнятих компонувальних рішень виконано проектування підшипникової опори екструдера, за допомогою імітаційного моделювання процесу нагріву матеріального циліндру встановлено, що температурний режим підшипникової опори задовільний.

Здійснено розробку системи управління приводом екструдера та його нагрівом, зокрема створено контролер управління двигуном та написано програмний код для забезпечення необхідних умов роботи двигуна.

Здійснено вибір обладнання, інструменту та розраховано режими різання для виготовлення складових екструдера, створені керуючі програми для обробки на верстаті з ЧПУ.

Виготовлено ряд складових екструдера та здійснено розмірний та інший контроль виготовлених деталей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Данієлян, Д.Т. Екологічний стан навколишнього середовища та шляхи його оптимізації на прикладі утилізації сміття в Україні [Електронний ресурс] / Данієлян, Д.Т. – Режим доступу до ресурсу: http://dspace.pnpu.edu.ua/handle/123456789/13285.

2. Амстердамський проект “The New Raw” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://thenewraw.org/

3. Відкритий проект Precious Plastic» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://preciousplastic.com/people/global-community.html

4. Відкритий проект Precious Plastic» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://preciousplastic.com/solutions/machines/pro.html

5. Ким. В.С. Теория и практика экструзии полимеров / Ким. В.С.. – Москва, 2005 год;

6. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов. Задачи, методы, рекомендации / Алямовский А.А.., 2015.

7. Дальский А.М., Косилова А.Г. и др. - Справочник технолога-машиностроителя, том 2 - 2003

8. Ю. В. Булига, Н. Р. Веселовська, В. П. Міськов. «Теорія різання. Розрахунок режимів різання» / Ю. В. Булига, Н. Р. Веселовська, В. П. Міськов. – ВІнниця: ВНТУ, 2019.

9. Бортников В. Теоретические основы и технология переработки пластических масс. Учебник. Третье издание / Бортников В..

10. Мельничук, П.П; Боровик, А.І.; Лінчевський, П.А. Технологія машинобудування / Мельничук, П.П; Боровик, А.І.; Лінчевський, П.А.., 2009

11. Ю.А. Абрамов В. Справочник технолога - машиностроителя том 2 / В. Ю.А. Абрамов, Б.И. Горбунов..

12. В.Г. Сорокина. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокина. – Москва "Машинобудування", 1989.

13. И.М. Дунаев В. Технологический контроль в машиностроении / В.Г. Шолкин И.М. Дунаев. – Москва "Машинобудування", 1987.

14. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживания опор - Справочник – Москва "Машинобудування", 1983.

15. Н. Н. Тихонов, М. А. Шерышев. Современные технологии и оборудование экструзии полимеров / Н. Н. Тихонов, М. А. Шерышев., 2019.

16. Ловыгин Андрей Анатольевич. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. Учебное пособие / Ловыгин Андрей Анатольевич., 2016.

17. Thermodynamic Modeling and Control of Screw Extruder for 3D Printing [Електронний ресурс] // Annual American Control Conference (ACC). – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/327080462_Thermodynamic_Modeling_and_Control_of_Screw_Extruder_for_3D_Printing.

18. Dylan Drotman M. R. CONTROL-ORIENTED ENERGY-BASED MODELING OF A SCREW EXTRUDER USED FOR 3D PRINTING [Електронний ресурс] / Mamadou Diagne Robert Bitmead Dylan Drotman // Proceedings of the ASME 2016 Dynamic Systems and Control Coference. – 2016.

19. Single-Screw Extruder [Електронний ресурс] // Encyclopedic Dictionary of Polymers. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/300748220_Single-Screw_Extruder

20. Time-and State-Dependent Input Delay-Compensated Bang-Bang Control of a Screw Extruder for 3D Printing [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: International Journal of Robust and Nonlinear Control.

21. Control-Oriented Energy-Based Modeling of a Screw Extruder Used for 3D Printing [Електронний ресурс] // ASME 2016 Dynamic Systems and Control Conferenc. – 2016.

22. Mamadou Diagne Nikolaos Bekiaris LiberisMiroslav Krstic Miroslav Krstic. Time-and State-Dependent Input Delay-Compensated Bang-Bang Control of a Screw Extruder for 3D Printing [Електронний ресурс] / Mamadou DiagneNikolaos Bekiaris-LiberisMiroslav KrsticMiroslav Krstic // International Journal of Robust and Nonlinear Control. – 2015.

23. M. S. Widmer, P. K. Gupta, L. Lu, R. K. Meszlenyi, G. R. Evans, K. Brandt, et al., "Man-ufacture of porous biodegradable polymer conduits by an extrusion process for guided tissue regeneration", Biomaterials, vol. 19, no. 21, pp. 1945-1955, 1998.

24. I. Zein, D. W. Hutmacher, K. C. Tan and S. H. Teoh, "Fused deposition modeling of novel scaffold architectures for tissue engineering applications", Biomaterials, vol. 23, no. 4, pp. 1169-1185, 2002.

25. S. Bukkapatnam and B. Clark, "Dynamic modeling and monitoring of contour crafting-an extrusion-based layered manufacturing process", Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 129, pp. 135-142, 2007.

26. Данієлян, Д.Т. Екологічний стан навколишнього середовища та шляхи його оптимізації на прикладі утилізації сміття в Україні [Електронний ресурс] / Данієлян, Д.Т. – Режим доступу до ресурсу: http://dspace.pnpu.edu.ua/handle/123456789/13285.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Програмний код контролера

```
//Підключення бібліотек
#include <LiquidCrystal.h>
#include "GyverTimers.h"
LiquidCrystal  lcd (8,9,4,5,6,7);
#define DRIVER_STEP_TIME 6
#include "GyverStepper.h"
GStepper< STEPPER2WIRE> stepper(800, 11, 12, 13);

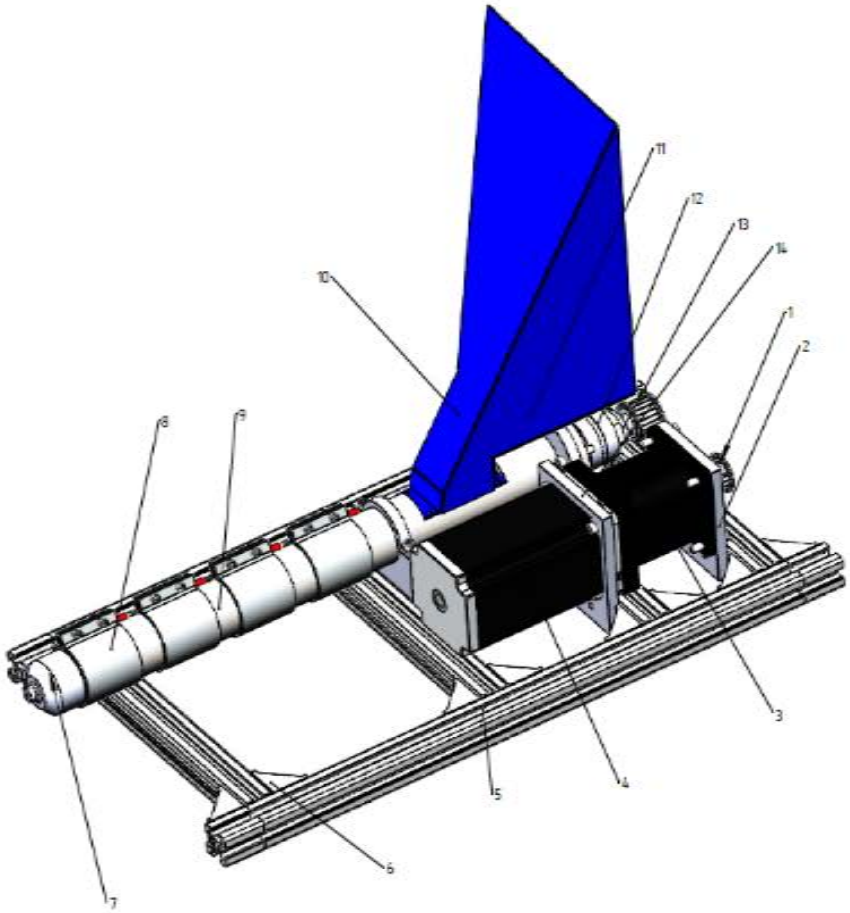
// Ініціалізація змінних
char msgs[5][15] = {"Right Key OK ",
                    "Speed +100   " ,
                    "Speed -100    ",
                    "Stoped       ",
                    "Started      " };
int  adc_key_val[5] ={30, 150, 360, 535, 760 };
int NUM_KEYS = 5;
int adc_key_in;
int key=-1;
int oldkey=-1;
int motorspeed = 800; // крок за замовчуванням
int maxspeed = 1500; // макс. шаг/сек.
int speedstep = 100; // крок збільшення швидкості
int flag = -1;
void setup() {
  //налаштовуємо внутрішній таймер 2
  Timer2.setFrequency(10000);
  Timer2.enableISR(CHANNEL_A);
  //виводимо на екран intro та інф. про швидкість
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.write("    MechLab");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.write("Ready to Work");
  delay(1000);
  lcd.clear();
```

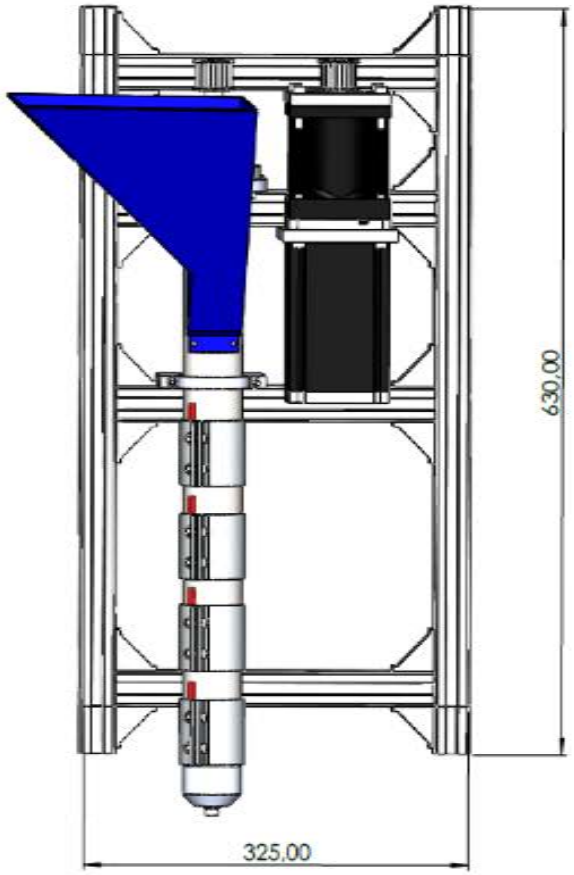
```
  lcd.write(("Speed:") );
  lcd.setCursor(7,0);
  lcd.print(motorspeed);
  stepper.setRunMode(KEEP_SPEED);
  //stepper.setSpeed(motorspeed);
  stepper.setAcceleration(400);
}
//Таймер для роботи крокового двигуна
//Виконується не залежно від циклу loop
ISR(TIMER2_A)
 {
   stepper.tick();
 }

void loop()
{
 //Зчитуємо чи натиснута якась кнопка
  adc_key_in = analogRead(0);
  key = get_key(adc_key_in);
  //якщо натиснута кнопка
  if (key != oldkey)
  {
    delay(50);
    adc_key_in = analogRead(0);
    key = get_key(adc_key_in);
    if (key != oldkey)
    {
      oldkey = key;
      // пеервірка номеру кнопки та вивід на екран відповідного повідомлення
        if (key >0)
        {
        lcd.setCursor(6,2);  //line=2, x=0
        lcd.write(msgs[key]);
            //якщо нажата кнопка 1(збільшення швидкості)
            if(key==1)
              {
              //збільшуємо швидкість на величину speedstep
              motorspeed = motorspeed + speedstep;
                // перевірка чи швидкість не вийшла за допустимі значення
```

```
if (motorspeed > maxspeed)
    {
    motorspeed =  motorspeed - speedstep;
    }
    //виводимо на екран поточну швидкість
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print("    ");
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(motorspeed);
    stepper.setSpeed(motorspeed, SMOOTH);
}
//якщо нажата кнопка 2(зманшення швидкості)
if(key==2)
{
  //Зменшуєм швидкість на величину speedstep
  motorspeed = motorspeed - speedstep;
  // перевірка чи швидкість не вийшла за максимальну
    if (motorspeed < -maxspeed)
      {
        motorspeed =  motorspeed + speedstep;
      }
      //виводимо на екран поточну швидкість
      lcd.setCursor(10,0);
      lcd.print("    ");
      lcd.setCursor(7,0);
      lcd.print(motorspeed);
      stepper.setSpeed(motorspeed, SMOOTH);
 }
 //якщо нажата кнопка 3(Зупинка мотору)
 if(key==3)
 {
    //перевіряємо в якому напрямку крутиться двигун
    if(stepper.getCurrent()>0)
    {
      delay(100);
      //обертаємо двигун у зворотньому напрямку
      stepper.setSpeed(-200, SMOOTH);
      delay(6000);
      //зупиняємо двигун
```

```
                    stepper.stop();
                  }
                  //перевіряємо в якому напрямку крутиться двигун
                  if(stepper.getCurrent()<0)
                  {
                    delay(100);
                    //обертаємо двигун у зворотньому напрямку
                    stepper.setSpeed(200, SMOOTH);
                    delay(6000);
                    //зупиняємо двигун
                    stepper.stop();
                  }
                  //Ставимо на паузу головний таймер роботи крокового двигуна
                  Timer2.pause();
                }
          //якщо нажата кнопка 4(Запуск двигуна)
          if(key==4)
          {
            //відновлюємо таймер
            Timer2.resume();
            //Задаємо двигуну швидкість
            stepper.setSpeed(motorspeed, SMOOTH);
          }
        }
    }
  }
}
//прораховуємо яка кнопка натиснута
int get_key(unsigned int input){
  int k;
  for (k = 0; k < NUM_KEYS; k++){
    if (input < adc_key_val[k]){
      return k;
    }
  }
  if (k >= NUM_KEYS)
    k = -1;
  return k;
}
```





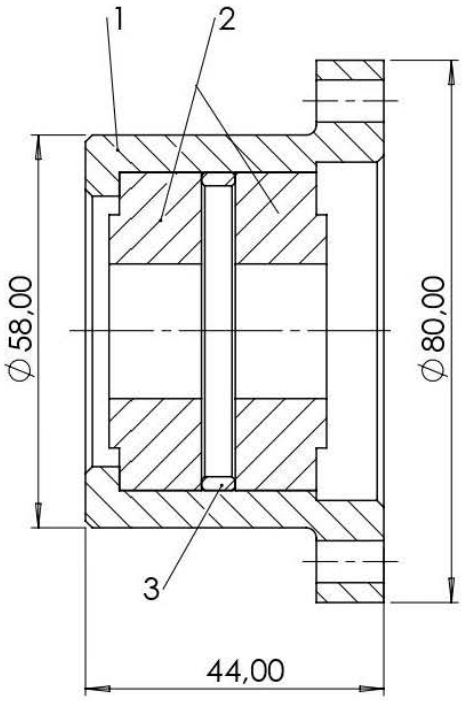
					131.00.1М 342/с 027 01 СБ	
Змн.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Збірка шнекового екструдера	Лист. / Маса / Масштаб: 1:4
Розроб.		Козяр Я.А.				Лист 1
Перев.		Мельник О.Л.				Державний університет "Житомирська Політехніка" гр. ПМ-137м
Т. контр.						
Н. контр.						
Затв.						

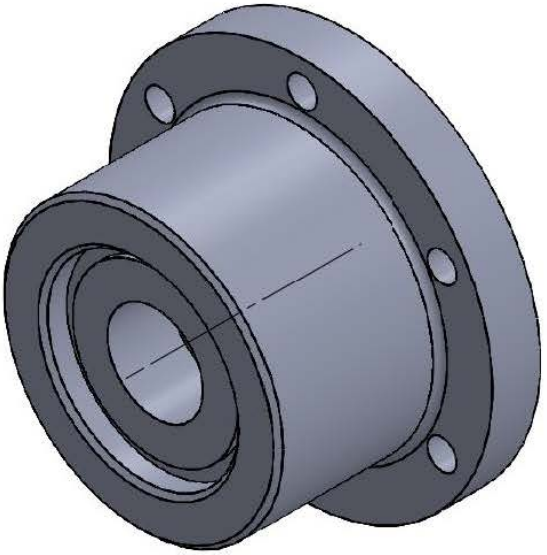
Перед. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

131.00.1М 342/с 027 02 -12

Перв. примен.

Справ. №





А

А

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

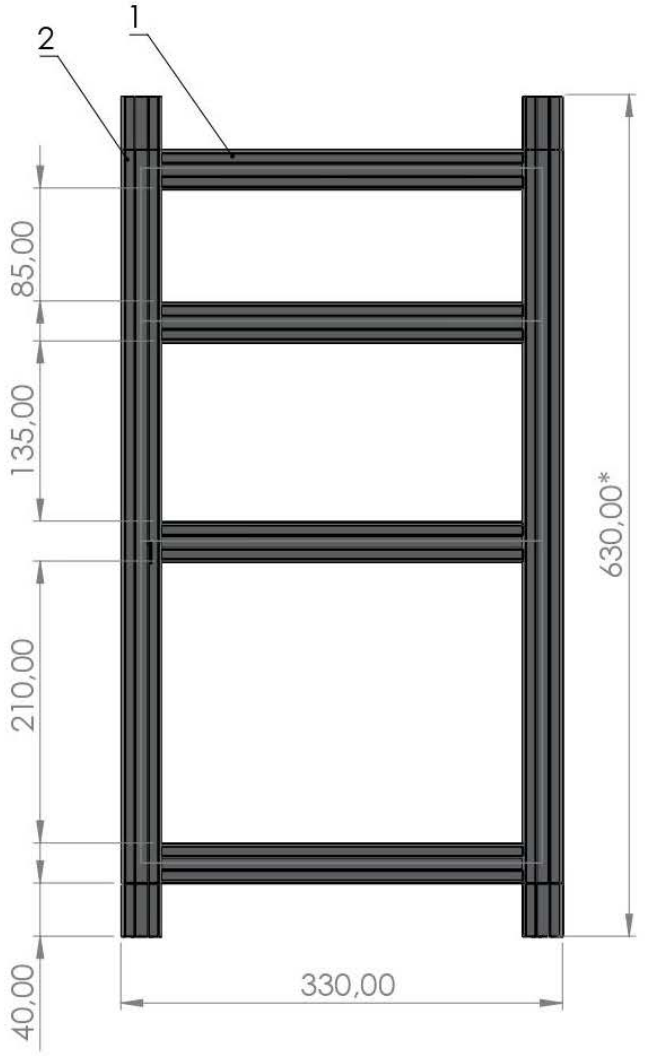
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Козяр Я.А.		
Перев.		Мельник О.Л.		
Т. контр.				
Н. контр.				
Затв.				

131.00.1М 342/с 027 02 -12

Підшипниковий вузол

Лит.	Маса	Масштаб
		1:1

Державний університет "Житомирська Політехніка гр. ПМ-137м



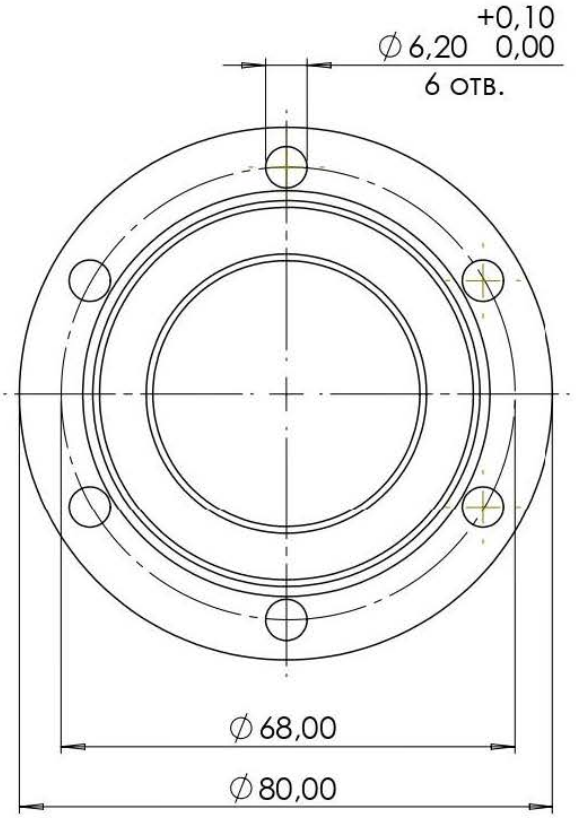
№	Кількість	Найменування	Довжина (мм)
1	4	JL-6-3030EB	330
2	2	JL-6-3030EB	630

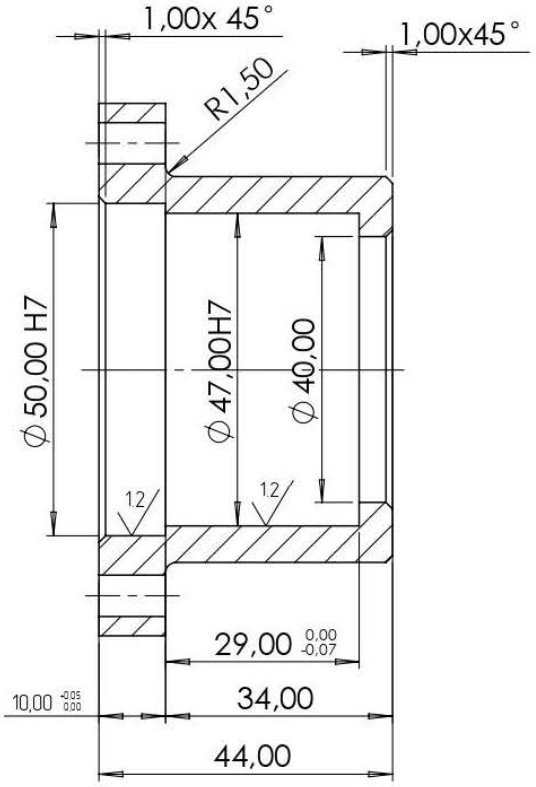
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	131.00.1М 342/с 027 05			
Розроб.		Козяр Я.А.			Рамка для кріплеення екструдера	Лит.	Масса	Масштаб
Перев.		Мельник О.Л.						1:5
Т. контр.								
					АД 31 ДСТУ 7809	Державний університет "Житомирська Політехніка гр. ПМ-137м		

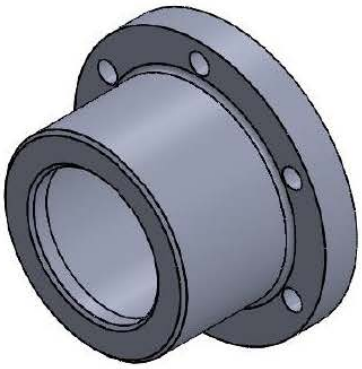
Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

131.00.1М 342/с 027 002-12-1

3.2







*

Невказані граничні відхилення розмірів h11, H11, IT 11/2

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Розроб.		Козяр Я. А.		
Перев.		Мельник О.Л.		
Т. контр.				

131.00.1М 342/с 027 002-12-1

Корпус підшипникового вузла

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1

Сталь 45 ДСТУ 7809

Державний університет "Житомирська Політехніка" гр. ПМ-137м

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

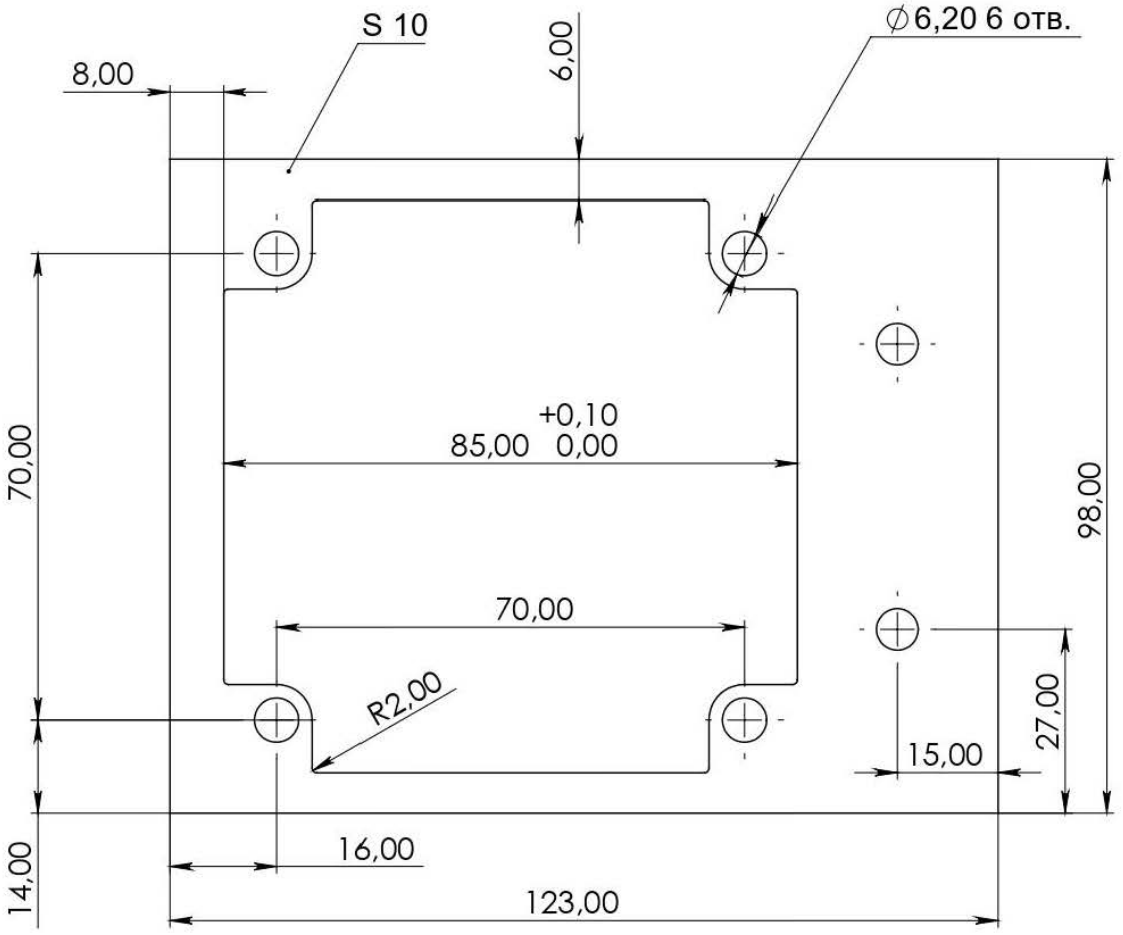
Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

131.00.1М 342/с 027 14

3.2 ( )



*Невказані граничні відхилення розмірів h11, H11, IT 11/2

Изм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Козяр Я.А.		
Перев.		Мельник О.Л.		
Т. контр.				
Н. контр.				
Утв.				

131.00.1М 342/с 027 14

Кронштейн двигуна

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1

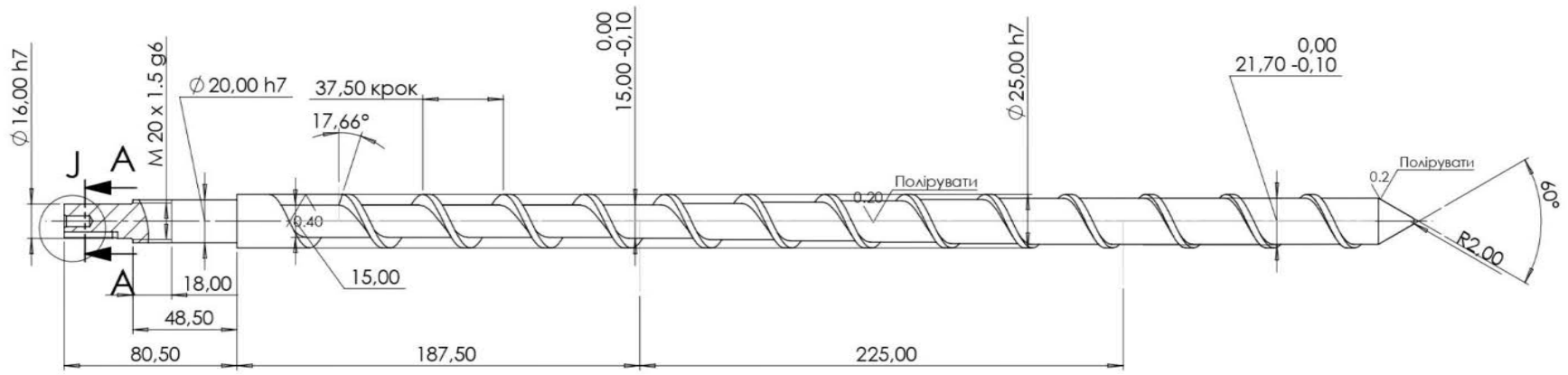
Д16Т ДСТУ 7809

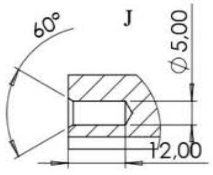
Державний університет "Житомирська Політехніка" гр. ПМ-137м

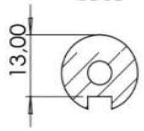
Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

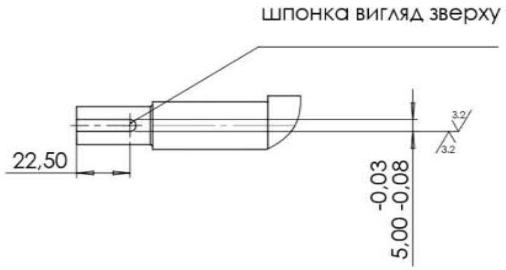
131.00.1М 342/с 027 09

3.2 ( )





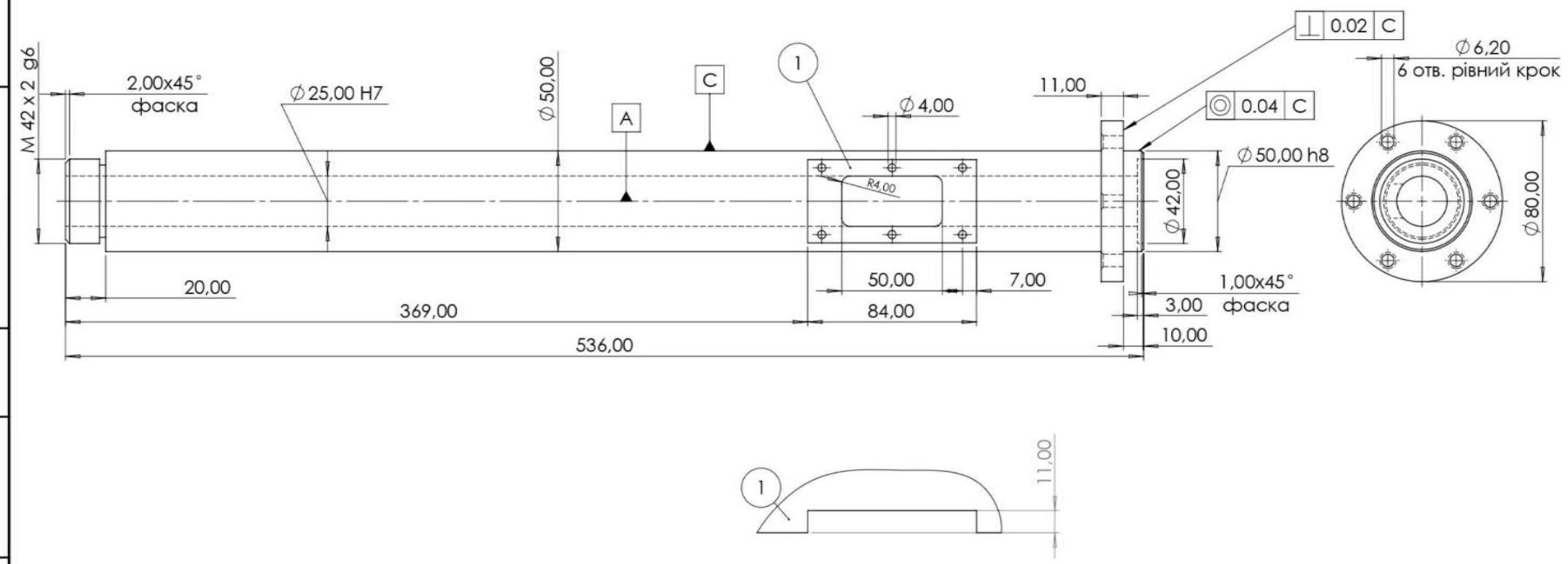




Азотувати на глибину 0.4...0.6
* Шорсткість після нанесення покриття
* Зазор шнекової пари 0.025 мм ± 0.005 мм
*Невказані граничні відхилення розмірів h11, H11, IT 11/2

Изм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	131.00.1М 342/с 027 09			
Розроб.		Козяр Я.А.			Шнек	Лит.	Масса	Масштаб
Перев.		Мельник О.Л.						1:2
Т. контр.								
Н. контр.					38Х2М10А ДСТУ 7809	Державний університет "Житомирська Політехніка гр. ПМ-137м		
Утв.								

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



*Невказані граничні відхилення розмірів h11, H11, IT 11/2

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	131.00.1М 342/с 027 09-1			
Розроб.		Козяр Я.А.			Матеріальний Циліндр	Лит.	Масса	Масштаб
Перев.		Мельник О.Л.						1:2
Т. контр.								
Н. контр.					38Х2М10А ДСТУ 7809	Державний університет "Житомирська Політехніка" гр. ПМ-137м		
Утв.								

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

131.00.1М 342/с 027 09

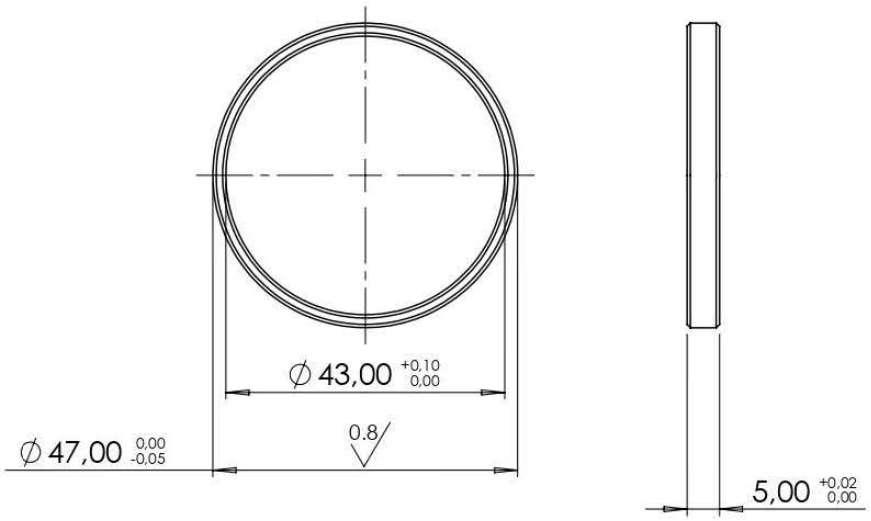
3.2 ( )

A

110

131.00.1М 342/с 027 02 -12-3

3.2

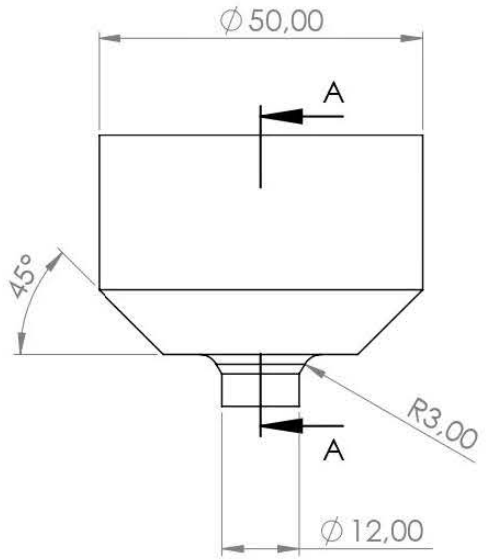


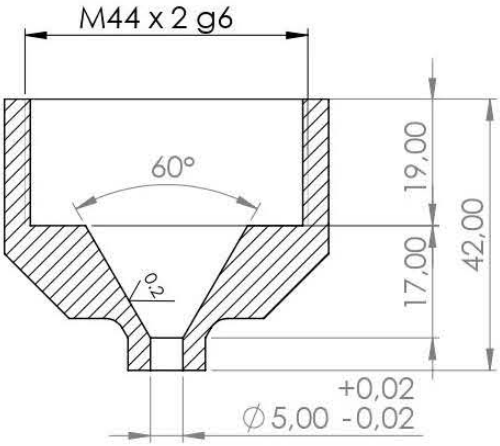
*Невказані граничні відхилення розмірів h11, H11, IT 11/2

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

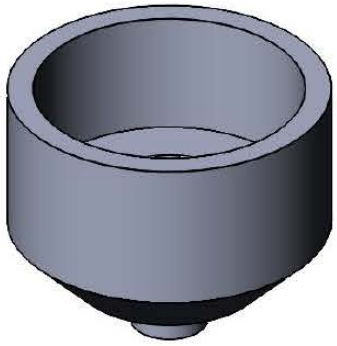
Изм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	131.00.1М 342/с 027 02 -12-3			
		Козяр Я.А.			Дистанційна втулка	Лит.	Масса	Масштаб
		Мельник О.Л.						1:1
					Сталь 45 ДСТУ 7809	Державний університет "Житомирська Політехніка гр. ПМ-137м		

131.00.1М 342/с 027 07





СЕЧЕНИЕ А-А



*Невказані граничні відхилення розмірів h11, H11, IT 11/2

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Розроб.		Козяр Я.А.		
Перев.		Мельник О.Л.		
Т. контр.				

131.00.1М 342/с 027 07

Сопло

Лит.	Маса	Маштаб
		1:1

ЛС-59 ДСТУ 7870

Державний університет "Житомирська Політехніка гр. ПМ-137м

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.