

До захисту допущено
Завідувач кафедри
_____ **О.Л.Сокольський**
« _____ » _____ 2023 р.

Київ 2023 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського» Інженерно–хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного
машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

Програма професійного спрямування – інжиніринг пакувань та пакувального обладнання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **О.Л.Сокольський**

«__»
2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студента

Гурін Роман Сергійович

1. Тема проекту «Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару», керівник проекту Гондляр Олександр Володимирович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом по університету від «26. 05» 2023 р. № 2024–с від 26.05.2023
2. Термін подання студентом проекту 21.06.2023р.
3. Вихідні дані до проекту Об'єкт розробки – екструдер; Массова продуктивність $Q_v = 7,8 \text{ кг} / \text{год}$, радіус труби $r = 25 \text{ мм}$, густина матеріалу $\rho = 1021 \text{ кг} / \text{м}^3$, вихідна температура $T_{\text{вих}} = 160^\circ$, еквівалентний діаметр $d_{\text{екв}} = 0,02 \text{ м}$.
4. Зміст пояснювальної записки Реферат (укр.); Реферат (англ); Перелік позначень; Пояснювальна записка; Розрахунки; Технологія машинобудування; Загальні висновки; Список літератури; Додатки.
5. Перелік графічного матеріалу Лист 1 – Лінія для виробництва наномодифікованих двошарових полімерних труб (А1). Лист 2 – Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару (А1). Лист 3 – Головка для соекструзії двошарових полімерних труб (А1). Лист 4 – Затискний механізм (А1). Лист 5 – Плакат результату дослідження впливу внутрішнього

наномодифікованого шару ANSYS(A1). Лист 6 – Плакат результату дослідження впливу внутрішнього наномодифікованого шару ANSYS (A1).

6. Консультанти розділів проекту□

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МАТ. МОДЕЛЮВАННЯ	д.т.н. професор Гондлях О.В.		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	ст. викладач Борщик С.О		
ОХОРОНА ПРАЦІ	к.т.н. ст. викладач Ковтун А.І.		

Дата видачі завдання

Календарний план			
№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання від дипломного керівника та проходження перед дипломної практики	17.04.23–19.05.23	
2	Робота в бібліотеці, а також пошуку відповідної літератури на інтернет ресурсах. Проведення літературно–пвтентного огляду.	21.05.23–26.05.23	
3	Вибір модернізації, яка є вирішенням недоліків.	27.05.23–28.05.23	
4	Підготовка розділу “Пояснювальна записка”	29.05.23–1.06.23	
5	Виконання параметричних розрахунків базової конструкції. Розрахунків модернізованої конструкції, а також базової та модернізованої конструкції в CAD–системі та порівння їх між собою.	2.06.23–6.06.23	
6	Підготовка розділу “Розрахунки”	7.06.23–8.06.23	
7	Підготовка розділу” Технологія машинобудування”	9.06.23–12.06.23	
8	Виконання креслень: загального вигляду, технологічної лінії виробництва, екструдера, модернізованої частини, технології машинобудування , а також створення пракату з результатами розрахунку в CAD–системі	13.06.23–19.06.23	

Студент _____ Гурін Р.С.

Керівник проекту _____Гондлях О. В.

ЗМІСТ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Титульний лист	1
Завдання та календарний план виконання робіт	2
Зміст дипломного проекту	4
Реферат українською мовою	5
Реферат англійською мовою	6
Перелік позначень	7
I. Пояснювальна записка	8
II. Розрахунки	42
III. Технологія машинобудування	71
Висновки	81
Перелік використаних джерел інформації	82
Додатки	85

Реферат

Дипломний проект на тему "Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару" освітньо–кваліфікаційного рівня «бакалавр» зі спеціальності "Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів"/ НТУУ «КПІ»; Керівник О.В. Гондляр, Виконавець Р.С. Гурін.

Дипломний проект містить текстову і графічну частини. Текстова частина має 3 розділи і додатки, загальний обсяг – 77 сторінок, 23 джерел посилань. Графічна частина містить 6 креслень (загальний обсяг 3 аркуші креслень формату А1, 1 аркуш креслення формату А3, 2 плакати з результатами розрахунків).

Мета роботи – зробити дослідження внутрішнього наномодифікованого шару двошарової труби, яка буде стійка до значного тиску. Виконано розрахунки екструдера, які підтверджують його працездатність.

Досліджена двошарова пройшла всі етапи перевірки на міцність та була доведена її працездатність.

Результати були представлені на засіданні кафедри ХПСМ.

ДОСЛІДЖЕННЯ, ПОЛІМЕРНА СУМІШ, ЧЕРВ'ЯЧНИЙ ЕКСТРУДЕР, ГОЛІВКА, ШНЕК, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЕКСТРУДЕР, ДВОШАРОВА ТРУБА, УГЛЕРОДНА НАНОТРУБКА.

Abstract

Bachelor's degree project on the topic "Extruder for the production of dual-layer polymer pipes with investigation of the strength of the internal nanomodified layer" in the educational qualification level of "Bachelor" in the specialty "Engineering, Computer Modeling, and Design of Equipment for the Production of Polymer and Construction Materials and Products" at NTUU "KPI"; Supervisor: O.V. Gondlyakh, Performer: R.S. Hurin.

The diploma project consists of a textual and graphical part. The textual part has 3 chapters and appendices, with a total volume of 100 pages and 23 references. The graphical part includes 6 drawings (total volume of 3 sheets of A1 format drawings, 1 sheet of A3 format drawing, 2 poster with calculation results).

The aim of the work is to conduct research on the internal nanomodified layer of the dual-layer pipe, which will be resistant to significant pressure. Extruder calculations have been performed, confirming its functionality.

The investigated dual-layer pipe has passed all strength tests and its functionality has been proven.

The results were presented at a meeting of the HPCM department.

RESEARCH, POLYMER MIXTURE, JUNE EXTRUDER, HEAD, SCREW, MODERNIZATION, EXTRUDER, DUAL-LAYER PIPE, CARBON NANOTUBE.

Перелік позначень

Умовні позначення:

D, d – діаметр;

t – крок нарізки витків черв'яка;

l_1 – довжина зони завантаження;

l_3 – довжина зони стискання;

l_2 – довжина зони дозування;

h_1 – глибина каналу в зоні завантаження;

h_2 – глибина каналу в зоні стискання;

W – осьовий момент опору;

τ – дотичні напруження;

$M_{кр}$ – крутний момент ;

$P_{ос}$ – осьова сила;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості;

σ – напруження;

n – запас міцності;

E – модуль пружності;

K – коефіцієнт геометричної форми головки;

R – радіус;

γ – швидкість зсуву;

Q – продуктивність;

N – потужність;

$Q_{\text{ч}}$ – масова продуктивність;

η – ККД (коефіцієнт корисної дії);

$Q_{\text{вт}}$ – втрати тепла в оточуюче середовище;

Критерії:

Nu – критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Gr – критерій Гросгофа

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

**на тему: «Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з
дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару»**

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

Вступ2

1 Призначення та галузь застосування виробу, який проектується.....4

2 Технічна характеристика базової машини5

3 Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії (із загальним виглядом).....6

4 Літературний та патентний огляд стану питання, обґрунтування запропонованої модернізації.....10

 4.1 Обґрунтування доцільності використання рішення для здійснення модернізації черв'ячного екструдера13

5 Охорона праці та навколишнього середовища17

 5.1 Мікроклімат17

 5.2 Електробезпека19

 5.3 Пожежна безпека21

 5.4 Виробничий шум21

 5.5 Виробниче освітлення22

6 Механіко–економічні показники та висновки24

					ЛУ91.05114.001-90ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Гурін Р.С.				Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів	Гондляр О.В.						1	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		

Вступ

Новітня технологія коекструзії двошарових наномодифікованих полімерних труб здобула значну популярність в останні роки завдяки своїм покращеним властивостям порівняно з традиційними трубами з немодифікованих полімерів. Додавання наноматеріалів до полімерної матриці призводить до отримання труб з покращеними механічними, термічними та хімічними властивостями, зокрема, включення вуглецевих нанотрубок, графену та металевих наночастинок в полімерну матрицю може значно підвищити міцність труб і збільшити їхню стійкість до різних впливів. У цьому контексті, важливо розглянути основні особливості технології коекструзії та її переваги порівняно з іншими методами виготовлення полімерних труб.

Процес коекструзії передбачає одночасну екструзію двох різних полімерних шарів через одну головку. Процес екструзії потребує використання спеціальних компонентів, таких як головка екструдера, спеціально розроблену для виготовлення двошарових наномодифікованих полімерних труб, що забезпечує точну і рівномірну екструзію обох шарів. Для досягнення оптимальних результатів також потрібно підібрати правильну комбінацію полімерів та наноматеріалів, яка дозволить досягти необхідних властивостей кінцевого продукту. Дана технологія має великий потенціал для подальшого вдосконалення та застосування в різних галузях промисловості, що робить її цікавою для досліджень та розвитку. [1]

Для досягнення бажаної якості виробу, необхідно виконувати контроль за всіма параметрами екструзії, включаючи температуру, тиск, швидкість обертання гвинта та розміри екструдата. Також необхідно використовувати якісний сировинний матеріал та правильно налаштувати обладнання для кожного конкретного випадку.

У даній роботі буде досліджено процес виготовлення двошарових наномодифікованих полімерних труб з використанням коекструзії та вивченню вплив різних факторів на властивості отриманих труб.

В цілому, дослідження коекструзії двошарових наномодифікованих полімерних труб відкриває перспективний шлях для розробки покращених труб з покращеними властивостями. Потенційні застосування в різних галузях роблять цю технологію цікавою для подальшого дослідження та розробки. Результати цього дослідження сприятимуть кращому розумінню процесу коекструзії та його потенційного впливу на промисловість, та суспільство в цілому.

					ЛУ91.05114.001-90ПЗ	Л/м
Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		3

1 Призначення та галузь застосування виробу, який проектується

Призначення та обсяг застосування екструдерів є величезними та постійно розширюються.

Екструдер має широкий спектр застосувань в різних галузях промисловості, включаючи пластмаси, харчову продукцію, фармацевтику та хімічну продукцію.

У полімерній промисловості екструдери використовуються для виробництва широкого спектру продукції, включаючи труби, трубки, листи, плівки та профілі.

У харчовій промисловості екструдери використовуються для виробництва різних типів снєків, круп, кормів для домашніх тварин. Екструдери також використовуються для виробництва м'ясних та рибних продуктів, таких як ковбаси, шинки, сосиски, рибні палички тощо.

У фармацевтичній промисловості екструдери використовуються для виробництва систем доставки лікарських засобів, імплантатів таблеток, капсул, плівок, мазей тощо.

У будівельній та технічній промисловості екструдери використовуються для виробництва різних продуктів, таких як труби для водопроводу, електричні кабелі, покрівельні матеріали, плитки, тощо. [2]

Отже, область застосування екструдерів є великою, з застосуванням у багатьох галузях, такі як сантехніка, промислові трубопроводи, сільське господарство, транспортування газу та нафти та будівництво, включаючи виробництво полімерних труб. Ці труби можуть бути використані в медичній галузі для доставки ліків або в автомобільній промисловості для паливних трубопроводів.

2 Технічна характеристика базової машини

Технічна характеристика черв'ячного пресу наведена в таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Технічна характеристика черв'ячного пресу

Параметри	Значення	Розмірність
Номінальний діаметр черв'яка	25	мм
Відношення робочої довжини черв'яка до його номінального зовнішнього діаметру	25	Одиниць
Продуктивність	8	кг/год
Частота обертання черв'яка	158	об/хв
Продуктивність машини не більш	10	кг/год
Повітропостачання: Матеріал	стиснуте повітря. ПВХ.	
Електропостачання: – сітка змінного струму; – трифазна з глухозаземленою нейтраллю; – напруга, – частота,	380/220 50	В Гц
Загальна встановлена потужність: Електродвигуна, Електронагрівачів,	8 45	кВт кВт

3 Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії (із загальним виглядом)

На рис. 3.1 представлена технологічна схема виробництва [6] з використанням машини, що проектується.

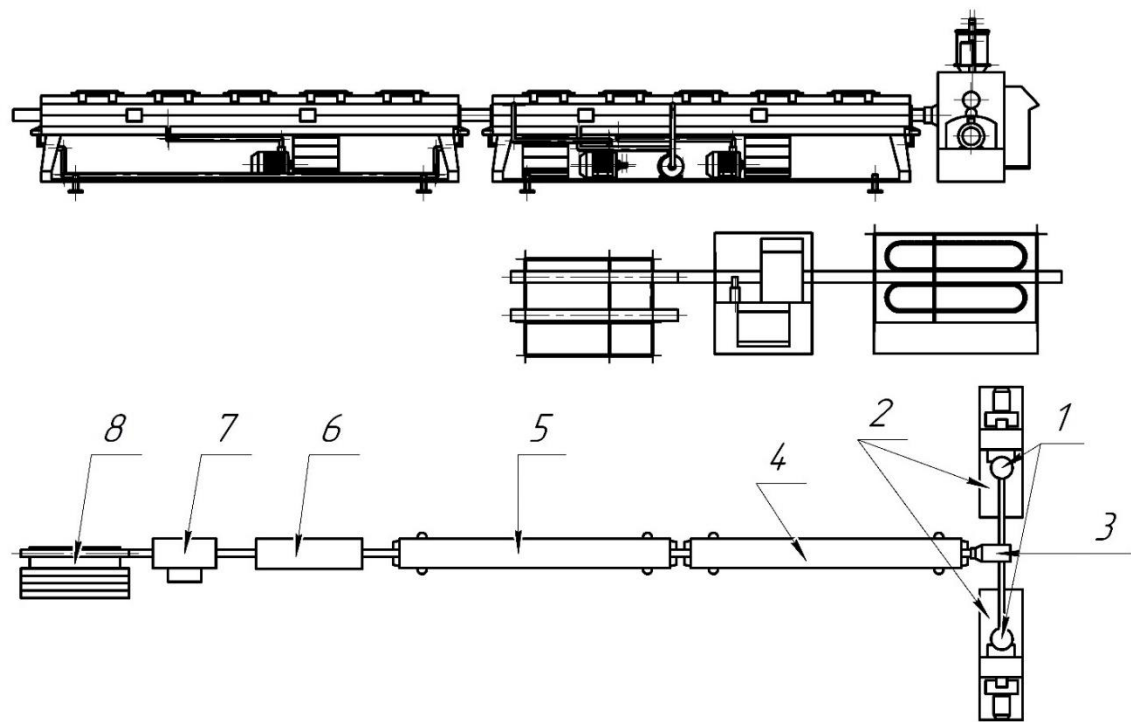


Рисунок 3.1 – Лінія для соекструзії двошарової полімерної труби

Спочатку гранули з нанодомішками вводяться в бункери 3 екструдерів. Розплав з екструдерів, що оснащені формуючою головкою 8, неперервно виштовхується у вигляді заготовки кільцевого перерізу. Процес коекструзії передбачає одночасну екструзію двох різних полімерних шарів через одну головку. Після екструзії двошарова труба охолоджується. Заготовка подається до калібруючого пристрою 4, Цей пристрій забезпечує більш точне формування та охолодження труби після виходу з екструдера.

Охолоджувальна ванна містить воду або іншу рідину, яка допомагає швидко охолодити трубу, щоб вона зберігала свою форму та не деформувалася.

Вакуум у ванні видаляє повітря з – під труби, створюючи рівномірний тиск навколо труби, що дозволяє їй зберігати точну форму. [3]

Калібруючі ролики всередині ванни допомагають визначити та підтримувати потрібний діаметр та товщину стінок труби. Вони також допомагають переконатися, що труба має правильну геометрію та гладку поверхню. Вакуумна калібруюча охолоджувальна ванна також може бути оснащена системою вимірювання температури, щоб переконатися, що труба охолодилася до необхідної температури для подальшої обробки та використання. Далі труба просувається в охолоджувальну ванну 5, де труба остаточно охолоджується. Витягування та транспортування розкладки здійснюються тягучим пристроєм 6, який складається з двох гусеничних транспортерів з зажимними підкладками гусениць. Привід транспортера здійснюється за допомогою варіатора від електродвигуна. Труби розрізаються на потрібну довжину та упаковуються для відправки заданих розмірів спеціальним пристроєм 7, наприклад, дискового або фрезерного типу, та згодом складаються на накопичувально – перекидний пристрій. Протягом всього процесу важливо контролювати температуру та швидкість екструзії, щоб забезпечити оптимальні властивості кінцевого продукту. [4]

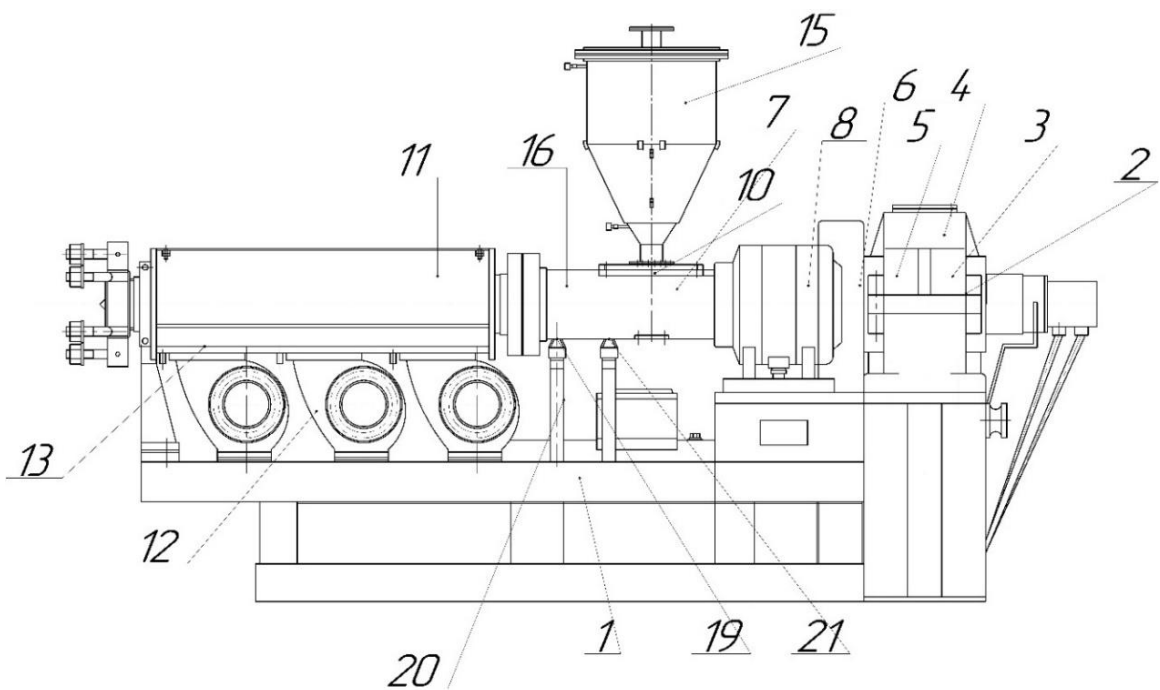


Рисунок 3.2 – Екструдер

В лінії з виготовлення двушарових полімерних наномодифікованих труб використовуються два однакові екструдери. Розглянемо конструкцію та принцип роботи одного з них.

Одногвинтовий екструдер складається з рами 1, приводного пристрою, корпусу з черв'яком, формуючої головки та приладдя.

Приводний пристрій має електродвигун, від якого шків 2 клинопасової передачі, привідний вал 3, пару шестерень 4, циліндричну зубчасту передачу 5 та вал 6 приводять в обертання черв'як 7. Осьові сили, які виникають під час роботи гвинтового вала, сприймаються опорним кулькопідшипником 8. Число обертів гвинтового вала визначається тахогенератором.

Гвинтовий вал, що встановлений у циліндричному корпусі 16, нагрівається за допомогою індукційних нагрівачів 11. Повітря для охолодження циліндра надходить вентилятором 12 через клапани 13 з незалежним регулюванням для кожної зони.

Конструктивно машина поділена на три зони:

- 1. Зону завантаження.
- 2. Плавлення.
- 3. Дозування.

Процес безперервного екструдуювання в значній мірі залежить від температури в різних зонах циліндра та черв'яку. У зв'язку з цим передбачений тепловий автоматичний контроль та регулювання температури по зонах. Температура регулюється терморегуляторами, які отримують імпульси від термопари. Робочий процес переробки термопластичного матеріалу полягає в наступному. [5]

Зона завантаження: З бункера 15 полімерний матеріал поступає в завантажувальну воронку 17, а звідти в приймальну частину корпусу 10, де підхоплюється черв'яком 7, який транспортує масу вперед.

Зона плавлення: Черв'як тисне масу вперед, одночасно намагається повернути її, що може призвести до проковзування маси відносно внутрішніх стінок циліндра. В цій зоні глибина гвинтового нарізання та відстані між витками черв'яку значно менші, ніж на інших ділянках. Під впливом підвищеного тиску полімерна пробка притискається до гарячих стінок і інтенсивно ущільнюється. Крутний момент, який виникає в цю мить, залежить від коефіцієнта тертя матеріалу о поверхню шнека: чим менший цей коефіцієнт, тим менший крутний момент. Для зменшення коефіцієнта тертя черв'як охолоджують водою, яку подають через патрубок 19 із труби 20 внутрішньої порожнини шнека, а вода відводиться через патрубок 21.

Зона дозування: при проходженні вздовж корпусу матеріал нагрівається, розплавляється та при певному тиску протискується крізь сітчасті фільтри з дрібними і великими отворами, розташовані перед головкою. Головне завдання набору сіток – покращення гомогенізації розплаву та видалення найдрібніших забруднюючих часток. І згодом проштовхується через формуючу головку, з якої виходить виріб потрібного трубчастого профілю. [6]

Недивлячись на різноманітність черв'ячних пресів, основні збірні вузли та деталі у них спільні, а основною частиною машини, від якої залежать розміри, продуктивність та якість виробів, є черв'як. Вид виробів та номенклатура визначається формуючою головкою.

4 Літературний та патентний огляд стану питання, обґрунтування запропонованої модернізації

У даному літературно–патентному огляді розглянуто сучасні тенденції та інженерні рішення в галузі модернізації екструдера. Основна мета огляду – проаналізувати запропоновані в патентах та довідковій літературі конструктивні рішення. Будуть розглянуті переваги кожного інженерного рішення та їх можливість впровадження в виробничий процес.

Патент № US20050170122A1 [7] описує вдосконалення для багатошарової пластикової труби для перекачування рідин, зокрема для автомобілів. Існуючі багатошарові труби мають недоліки, пов'язані з неповним бар'єрним ефектом та залежністю від типу пластика, що призводить до виробництва різних систем та труб для різних стандартів, що є складним та коштовним. Запропонована труба складається з кількох шарів, включаючи підкладку з поліаміду, бар'єрний шар та проміжні шари, і вирішує проблему недостатнього захисту від проникнення різних компонентів перекачуваної рідини через бар'єрний шар.

Патент № CN107755455 [8] пропонує метод виробництва двошарової труби, яка використовується в бетононасосних машинах. Метод включає підготовку зовнішньої та внутрішньої труб, встановлення зовнішньої труби на внутрішню трубу та проведення гарячої прокатки для з'єднання двох шарів разом. Флюсування може бути використано як додатковий крок для дезоксидації під час процесу. Використання радіального тиску дозволяє виконувати процес без досягнення температур плавлення, покращуючи міцність з'єднання та збільшуючи термін служби труби.

Патент № AU2006300983A1 [9] описує винахід багатошарової труби для транспортування води та газу, яка складається з трьох шарів: фторополімерного, поліолефінового та бар'єрного. В патенті описується процес створення спеціального матеріалу – функціоналізованого (тобто з доданням функціональних груп або до молекули полімеру, що може покращити його

властивості) флуорополімера за допомогою радіаційного графтингу, що означає введення нових молекулярних груп до полімеру під дією радіаційного випромінювання та використання функціоналізованих поліолефінів для створення міцних труб.

У патенті: №US4201532A [10] розглянута головка для виготовлення пластикових труб має спіральний мандрил, який містить групи крос-отворів та гелікальних каналів. Кожна група містить щонайменше два крос-отвори, розташовані один над іншим, ідеально – три або чотири. Ця структура дозволяє забезпечити велику кількість крос-отворів, залишаючи проміжки для інших каналів. Всі канали з'єднані з каналом потоку розплаву в пресформі. Це допомагає отримати потрібну однорідність круглого потоку від отвору пресформи.

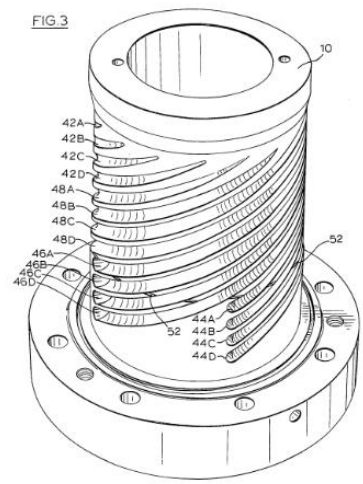


Рисунок 4.1 – Мандрил для екструзії

У статті [11] розглядається 3D моделювання, основні геометричні розміри та особливості спіральної матричної головки та аналізується потік розплавленого полімеру, який проходить через спіральні матричні канали. Мета дослідження була у визначенні оптимальних параметрів процесу екструзії труб з полімерного матеріалу. З використанням програмного забезпечення було проведено чисельне моделювання процесу руху розплавленого полімеру через усю матрицю.

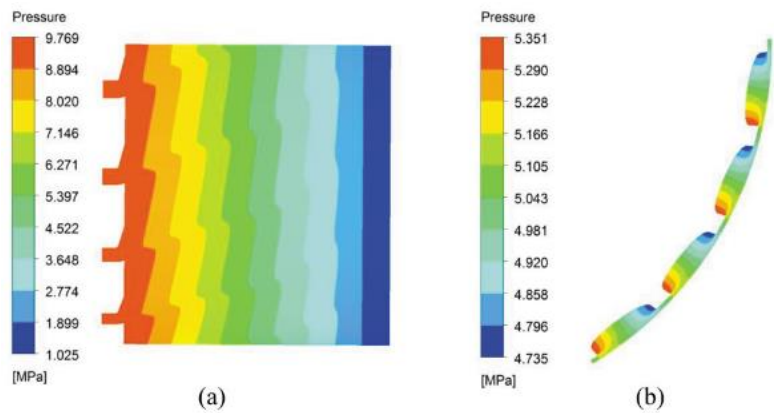


Рисунок 4.2 – Розподіл тиску в спіральній частині (а) розподіл тиску на зовнішній станції в спіральному відрізку, (б) розподіл тиску на перерізі ($y=0.3\text{м}$)

У результаті дослідження було встановлено, що параметри спіральних матричних каналів мають великий вплив на якість та характеристики екструдованих труб. Було виявлено, що збільшення кута спіралі та зменшення ширини променя каналу призводить до зниження витрат полімеру та підвищення якості виготовлених труб. Було виявлено, що при збільшенні кута спіралі та зменшенні ширини променя каналу полімер має меншу вірогідність для розділення на окремі шари, що сприяє його більш кращій гомогенізації. Автор приводить результати своїх досліджень, а саме: розподіл швидкості потоку, максимальний тиск поперечного перерізу, розподіл тиску в спіральній частині, розподіл напруження на стінці в розділах розподілу та спіралі та аксимальну температуру поперечного перерізу

У статті [12] було досліджено дві альтернативні конфігурації гільз: одна голівка з чотирма входами, а інша голівка з восьми входами.

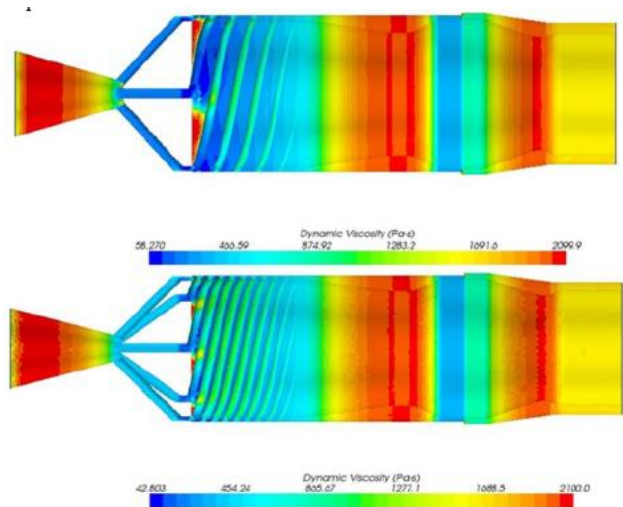


Рисунок 4.2 – Динамічна в'язкість рідинного матеріалу вздовж довжини гільзи з чотирма входами (відповідно для головки з восьми входами).

З результатів, отриманих у дослідженні, було встановлено, що екструзія з використанням гільзи з головкою з восьми входами дає кращу якість труби загалом. Ця конструкція була успішно впроваджена на промисловій лінії виробництва.

Реологічні результати були кращими, коли для екструзії пластикових труб з HDPE використовувалася головка з восьми входами, оскільки в цілому отримувалися нижчі значення тиску, швидкості та в'язкості. Потік полімерного рідинного матеріалу мав кращі характеристики, ніж у головки з чотирма входами. Якість та надійність продукту труби покращилися після заміни головки з чотирма входами на головку з восьми входами на лінії виробництва.

4.1 Обґрунтування доцільності використання рішення для здійснення модернізації черв'ячного екструдера

Патент № US20120305083A1 [13] пропонує пристрій та метод для виробництва двошарової труби з поліетилену, що має чудову міцність та стійкість до УФ–випромінювання на зовнішньому шару, а збільшену стійкість до впливу окислювальних агентів, таких як хлор та гіпохлорна кислота на внутрішньому шару. Для цього використовується метод коекструзії поліетиленових шарів з

використанням інертного газу, який запобігає кисню в атмосфері взаємодіяти з розплавленим шаром труби, який найбільше вразливий до окислювання. Це важливо, оскільки УФ–промені можуть спричинити деградацію та пошкодження полімерних матеріалів, що призводить до втрати міцності та появи тріщин.

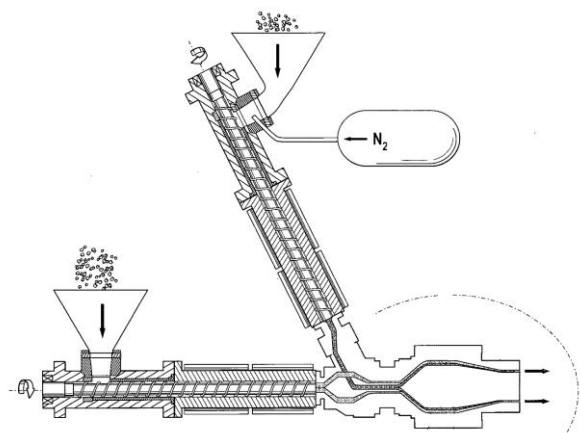


Рисунок 4.3 – схематичне зображення подвійної екструзійної лінії

Отже, важливість і корисність цього патету для виробництва двошарової труби з поліетилену полягають у забезпеченні високої міцності, стійкості до УФ–випромінювання та стійкості до окислювальних агентів. Це робить такі труби надійними та довговічними в різних застосуваннях, включаючи хімічну промисловість, транспортування рідин та газів, системи водопостачання та багато іншого.

Стаття [14] описує новий дизайн головки для екструзії полімерних труб, особливо з поліетилену. Найбільш значущою особливістю цієї головки є те, що конічне ядро конічної насадки та насадка ядра мають на своїх поверхнях катушки, виконані по спіралі, які зсуваються відносно один одного. В результаті канал, створений між цими частинами, сприяє спіральному перекрученню у потоку полімеру. Спіральний потік викликає каскадні напруження, які є результатом орієнтації макромолекул в напрямку потоку. Це забезпечує підвищену міцність труби до внутрішнього тиску.

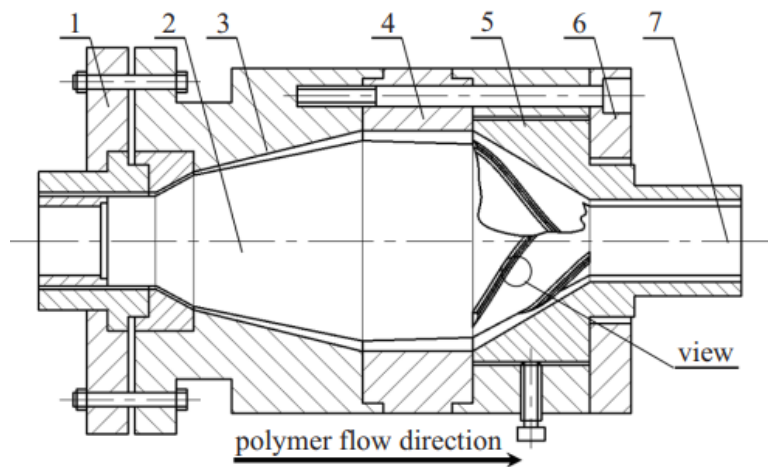


Рисунок 4.4 – Головка екструзії (вздовжний розріз, згідно з 1121): 1 — кільце, 2 — конічне ядро з гвинтовою лінією, 3 — корпус, 4 — з'єднуюче кільце, 5 — корпус насадки, 6 — кришка? 7 — частина насадки з гвинтовою лінією

В роботі також було представлено поточний стан знань про цей тип головок для екструзії та математичну інтерпретацію підвищення міцності полімерних труб під час процесу екструзії. Запропонована нова головка для екструзії дозволяє виготовляти полімерні труби з підвищеною механічною міцністю за допомогою дуже простого та недорогого методу. Іншими словами данній статті, використовується геліовидний канал з геліксальним рухом пластичного полімеру всередині екструдера. Це призводить до орієнтації макромолекул полумеру вздовж геліксального шляху, що створює тангенціальні напруження всередині матеріалу. Ці напруження, в свою чергу, збільшують міцність труби при внутрішньому тиску.

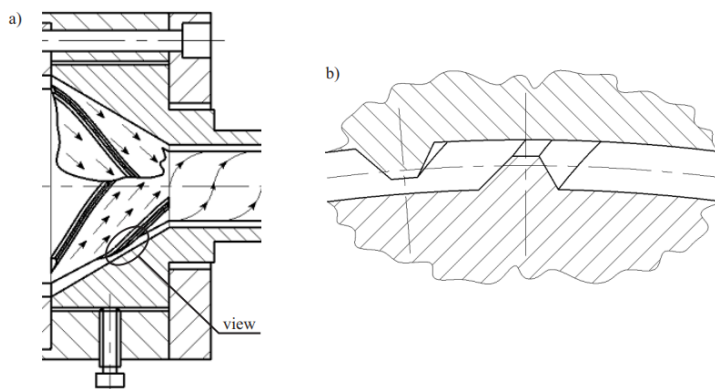


Рисунок 4.5 – а) напрямок потоку полімеру в головці, б) поперечний розріз каналу шнека

Внутрішній шар, що стійкий до тиску, забезпечує надійну бар'єрну функцію для транспортування рідин або газів під високим тиском. Він утримує тиск в межах допустимих значень, запобігаючи витокам, протіканням або руйнуванню труби. Це важливо для запобігання аваріям, забрудненню навколишнього середовища та захисту людей, які працюють або користуються цими системами.

Використання стійкого до тиску шару полімерної труби дозволяє забезпечити ефективну транспортацію рідин або газів під високим тиском. Це особливо важливо у випадках, коли потрібно забезпечити стабільний потік та високу продуктивність системи. Наявність внутрішнього шару, що стійкий до тиску, допомагає зменшити втрати тиску та опір у системі, що покращує її роботу та ефективність.

Отже, наявність внутрішнього стійкого до тиску шару полімерної труби має велике значення для безпеки, ефективності та надійності систем транспортування рідин або газів. Використання такого шару допомагає запобігти аваріям, забезпечити стабільний потік та зберегти довговічність системи.

5 Охорона праці та навколишнього середовища

Основним законодавчим актом в галузі охорони праці є Закон «Про охорону праці», прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року. Законом уточнюються основні положення щодо забезпечення охорони здоров'я громадян у «Законі про працю», встановлюється механізм організації охорони праці за участю відповідних державних органів з охорони праці та навколишнього середовища. Дотримання законодавства про охорону праці може зменшити травматизм на виробництві.

Тема дипломного проекту – Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару.

У цьому розділі ми розглядаємо умови експлуатації лінії з виробництва двошарових труб. Розглянута установка призначена для переробки термопластичних матеріалів та для формування труб діаметром 25 мм. Подібні лінії можуть використовуватися в різних галузях промисловості.

Науковий аналіз умов праці для мінімізації травм операторів виявлених факторів ризику, які виникають під час роботи з лінією. Оператори знаходяться в цеху, площа приміщення $S = 900\text{м}^2$, об'єм приміщення $V = 1800\text{м}^3$. Небезпеки для операторів та небезпечні виробничі фактори:

- мікроклімат;
- ураження електричним струмом,
- пожежа,
- промисловий шум,
- промислове освітлення в робочій зоні.
- виробниче освітлення;

5.1 Мікроклімат

Робота оператора по обслуговуванню лінії відноситься до категорії легких робіт категорії Іб (енерговитрати 121–150 ккал/год.) за ДСН 3.3.6.042–99.

Умови роботи на розроблюваному екструдері та лінії вцілому за відносяться до категорії середньої тяжкості Іа (енерговитрати 151...200 ккал/год).

Температура повітря в робочій зоні складає 20–23 °С в теплий період року та 18–22 °С в холодний період року, відносна вологість 40–70 %, швидкість руху повітря 0,3 м/с, дані параметри та вміст шкідливих домішок відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042–99 „Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”.

Склад повітря робочої зони залежить від параметрів метеорологічних умов: температури, відносної вологості, а також кількості шкідливих речовин, що виділяються машиною. Допустимі і фактичні параметри температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні зводимо в таблицю.

Фактичні параметри умов відповідають нормам і забезпечуються наступними заходами:

Таблиця 5.1

Період року	Категорія роботи – легка		
	Температура	Відносна вологість	Швидкість руху повітря
	°С	%	м/с
Холодний або перехідний	Факт. 20 – 23	60 – 40	0,2
Теплий	Факт. 22 –25	60 – 40	0,2

В холодну пору року підігрів приміщення батареями з теплоносіями, нагрітими до температури 50 ÷ 60°С. В теплу пору року – вентиляцією через верхні пройоми.

Під час роботи лінії відбувається виділення токсичних речовин – газів, пилу з відкритих ємностей, шляхом виходу газу через нещільність технологічного обладнання, з завантажувального бункера. Для видалення цих шкідливих

компонентів встановлена місцева вентиляція, в цеху встановлена також загально обмінна вентиляція, відповідно до ДБН В.2.5–67:2013.

5.2 Електробезпека

Лінія, котра проектується, буде знаходитись в закритому сухому приміщенні. Температура і вологість буде дотримуватись норм. Оскільки апарат має металевий каркас, встановлений на залізобетонному перекритті, за класифікацією приміщень та за ступенем небезпеки ураження електричним струмом данне приміщення належить до приміщень з підвищеною небезпекою (ПУЕ). В цій лінії використовується напруга 220/380 В і частота 50 Гц, для живлення ми використовуємо трифазну трипровідну мережу з глухою ізоляцією нейтралі. Відповідно до ДСТУ 7237:2011 основними причинами аварій, спричинених електричним струмом, є:

- старіння ізоляції та втрата ізоляційних властивостей;
- помилкове вмикання установки;
- доторкання до відкритих частин електроустаткування, що проводить електричний струм;
- коротке замикання.

У зв'язку з цим, основними заходами запобігання ураженню електричним струмом є:

- ізоляція;
- недоступність струмоведучих частин;
- використання спеціальних ізолюючих трансформаторів;
- в особливих випадках перемикачі живлення блокуються;
- при роботі з електроінструментом використовувати ізолюючі рукавички, засоби індивідуального захисту, такі як гумові килимки тощо.

Забороняється:

- розбирати і ремонтувати лінію без відключення від мережі;
- кидати металеві предмети для запобігання іскрам;

– палити, запалювати сірники, запалювати відкритий вогонь, зварювати;
– залишати без нагляду працюючу лінію;
– допускати в приміщення осіб, які не пройшли навчання та перевірку знань техніки безпеки.

Вимоги до заходів захисту від ураження електричним струмом регламентуються ДСТУ Б В.2.5–82:2016. Електричні засоби безпеки: А) В робочому режимі

– Забезпечуються існуючі зони доступності (ізоляція, розташування на неймовірній висоті, більше 2,5 метрів, огорожа);
– подвійна катаракта; Наявність маркування на електронних частинах (фарбування, розпис, знаки); Б) В аварійному режимі – Ручка безпеки. Ці етапи виконували згідно з ДНАОП 0.00–1.21–98.

Для попередження травматизму працівників впроваджено такі заходи:

– автоматичні вимикачі встановлені в спеціальних шафах;
– пульт управління обладнанням лампами, які сигналізують про ввімкнення установки;
– наявність сигнального маркування на електричних частинах, виділення за кольором, написи тощо;
– передбачені затискачі для підключення заземлення вузлів установки, які можуть перебувати під напругою;
– встановлення струмоведучих частин у важкодоступному місці, на висоті або за огорожею;
– передбачено захисне відключення електродвигунів при ураженні електричним струмом;
– подвійна ізоляція.

Заземлення установки виконується згідно з ПУЕ. Опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом. Біля датчиків заземлення нанести незмивні знаки «Земля».

					ЛЧ91.05114.001-90ПЗ	Л/т
Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		20

5.3 Пожежна безпека

За вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення, де знаходиться агрегат відноситься до категорії В згідно вимогам ДСТУ Б В.1.1–36:2016. Відповідно до ДБН В.1.1–7:2016 будинок відноситься до першого класу вогнестійкості. У виробничому цеху при роботі черв'ячних пресів використовуються горючі мастильні матеріали, а також поліетиленові суміші при високій температурі $T = 160^{\circ}\text{C}$.

Майстерня — приміщення, розташоване на першому поверсі. Ширина шляху евакуації повинна бути не менше одного метра, двері на шляху евакуації повинні бути не менше 0,8 метра, а засоби пожежогасіння повинні бути ефективними і розміщуватися в легкодоступному місці. Можливими причинами пожежі можуть бути:

- порушення технічних норм;
- несправність електрообладнання та електромережі;
- куріння у невстановлених місцях.

Протипожежні заходи включають вибір негорючих матеріалів та організаційні заходи. Як засіб гасіння пожежі використовується порошковий вогнегасник САМ–9 (75 шт.). Для гасіння електромереж приймаємо 4 вогнегасники ОУ–3 CO2. У разі виникнення пожежі спрацьовує пожежна сигналізація – наприклад, тепловий сповіщувач про аварію. Інформація із зондів надходить на приймальну станцію. У разі виникнення пожежі персонал повинен залишити приміщення. Відповідно до ДБН В.1.1–7:2016 в приміщенні є два евакуаційних виходи.

5.4 Виробничий шум

Шум, створюваний екструдером та іншим обладнанням на виробничій лінії, є постійним під час роботи. Джерела шуму під час роботи екструдерів та іншого обладнання в виробничій лінії:

- електродвигуни;
- редуктори;
- обертові вали та черв'яки;
- системи охолодження.

Під час роботи обладнання значення шуму може $L_{вж}$ досягати 80–100 дБА. Прийняті такі межі захисту від промислового шуму:

- змащування всіх поверхонь терття, наявність сальників;
- використання захисних покриттів.

Це знижує рівень шумового впливу на людей під час робочої зміни до допустимого $L=60...65$ дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037–99. Джерелами вібрації є: обертові частини двигуна і гусениця. Сили вібрації починаються з неакуратної установки обертових частин, де тіло обертової частини має слабе з'єднання з фундаментом. У цьому випадку технічні вібрації передаються оператору через опорні поверхні. При цьому спостерігалися технічні вібрації, які через опорні поверхні передавалися оператору. Працівник незначно піддається вібрації, тому що він знаходиться далеко від нижньої частини машини – біля панелі керування. Тому вібрація не впливає на тіло оператора. Рівень технічної вібрації у виробничому цеху не перевищує 90 дБ на частоті 4 Гц, що відповідає ДСН 3.3.6.039–99.

5.5 Виробниче освітлення

У приміщенні, де встановлена лінія висотою до 6м, використовується змішане освітлення, при якому у світлий час доби недостатність природного освітлення доповнюється штучним.

Візуальною роботою операторів, що обслуговують ТПА, є регулярне загальне спостереження за виробничим процесом. Тому виробниче приміщення відноситься до IV розряду зорової роботи. Відповідно до IV розряду зорової роботи, по підрозділу (г), та виду освітлення (загальному) знаходимо нормативне значення освітлення – 150 лк.

Джерелом штучного освітлення промислового приміщення є лампи денного освітлення типу ЛД (ЛД 80Ж; потужність 80 Вт; довжина: 1514,2 мм; діаметр: 40 мм; кількість: 990шт, $E_{факт} = 300_{лк}$), які мають більшу світові віддачу порівняно з лампою накаливання (до 75 лм/вт) та більший термін служби (8–12 тис.годин). Для освітлювачів штучного освітлення також влаштовують світильники типу ДРЛ 400 (діаметр: 395 мм; висота: 552 мм; потужність: 250Вт; кількість 90 штук; світловий потік: $\Phi = 19000$ Лм; $E_{факт} = 300_{лк}$). Положення лампи повинно забезпечувати її фіксовану надійність, безпеку, легкість обслуговування та зручність обслуговування при потребі. Світло, яке виробляє лампа, за яскравістю наближається до природного. Для приміщення також передбачене бічне освітлення (через отвори у зовнішній стіні).

Дане освітлення відповідає вимогам ДБН В.2.5–28:2018.

6 Механіко–економічні показники та висновки

В результаті проектування лінії для виробництва двошарових труб була проведена модернізація екструзійної головки, внаслідок якої кінцевий продукт (полімерна труба) отримала підвищену стійкість до внутрішнього тиску.

Збільшена стійкість до тиску дозволить використовувати труби з меншою товщиною стінки, зменшуючи витрати на сировину та знижуючи загальну вагу продукту. Це матиме позитивний економічний вплив, зокрема у зв'язку зі зниженням витрат на виробництво, транспортування та установку труб.

Підвищена стійкість до внутрішнього тиску полімерних труб може сприяти збільшенню їхньої експлуатаційної тривалості. Такі труби менше піддаються деформаціям, пошкодженням та зносу, ці фактори дозволяють зберігати їх ефективність та надійність протягом тривалого періоду часу.

Ще варто відзначити, що ці труби можуть сприяти зниженню витрат на ремонт та обслуговування систем, де вони використовуються. Зменшення ризику пробоя або виток рідини зменшує необхідність в регулярних ремонтних робіт та заміні пошкоджених труб, що призводить до економії коштів та зниження затрат на утримання інфраструктури.

Завдяки підвищеній стійкості до внутрішнього тиску полімерні труби можуть бути використані для транспортування різних речовин, включаючи такі речовини як: агресивні та хімічні речовини. Це розширює їхнє застосування у промисловості, де вимагається перевезення різних речовин у безпечних умовах.

Необхідно звернути увагу, що підвищена стійкість до внутрішнього тиску може сприяти зменшенню енергетичних витрат у системах, де вони використовуються. Труби зменшеної товщини стінки можуть мати кращу теплову ізоляцію та знижений опір стоку рідини, що призводить до ефективнішого використання енергії при транспортуванні рідини або газу.

В цілому, модернізація екструзійної головки та підвищена стійкість до внутрішнього тиску полімерних труб мають значний потенціал для покращення

якості трубопровідних систем, зниження витрат та підвищення ефективності у різних сферах економіки та інфраструктури. [15]

Висновки: В ході роботи над дипломним проектом була розроблений екструзійний агрегат з сучасною екструзійною голівкою для виробництва двошарових полімерних труб.

У дипломному проекті розглянуто призначення та галузь використання даної лінії. Досліджено конструкцію та принцип роботи черв'ячного екструдера. Також описується коротка інформація про черв'ячний екструдер у вигляді технічних характеристик.

На основі літературно–патентного огляду було обрано найбільш вдалу модернізацію екструзійної головки для виробництва двошарових полімерних труб.

Було проведено розділ з охорони праці, на якій розглянуто правила і норми безпеки праці громадян щодо запобігання виникнення небезпечних ситуацій.

Проект містить креслення: технологічна лінія для виробництва двошарових полімерних труб, екструдер та екструзійна голівка для виробництва двошарових полімерних труб.

Для того щоб, впевнитися у працездатності модернізованої екструзійної голівки для виготовлення двошарових полімерних труб було проведено розрахунки в програмі Solidworks.

До креслень додаються специфікаці

Розрахунки

до дипломного проекту

**на тему: «Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з
дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару»**

Київ – 2023 рік

ЗМІСТ

1 Розрахунки які підтверджують працездатність та основні геометричні розміри28

1.1 Параметричні розрахунки28

1.2 Розрахунок черв'яка на міцність31

1.2.1 Розрахунок черв'яка на стиск32

1.2.2 Розрахунок черв'яка на кручення36

1.3 Тепловий розрахунок черв'ячного преса37

1.3.1 Енергетичний баланс та тепловий розрахунок черв'ячної машини38

1.4 Розрахунок на міцність деталі за допомогою САЕ – системи43

1.5 Розрахунок модернізованої голівки46

2 Дослідження міцності внутрішнього наномодифікованого шару двошарової полімерної труби.....48

3 Розрахунок геометричних параметрів черв'ячного екструдера за допомогою мови програмування Fortran.....65

					ЛУ91.05114.001-90РР								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розробив		Гурін Р.С.				Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару	Літ.		Арк.		Акрушів		
Перевірив		Гондляр О.В.											
							КПІ ім. Ігоря Сікорського						

1 Розрахунки які підтверджують працездатність та основні геометричні розміри

Завдання: Розрахувати параметри екструдера для виробництва певного продукту. Використовуючи метод параметричного розрахунку, встановити оптимальні значення основних параметрів екструдера, щоб забезпечити задані технічні вимоги та вимоги до якості продукту.

Мета розрахунку:Забезпечити відповідність розрахованого екструдера вимогам технічних характеристик і виробничих умов.

Вихідні дані: Технічні вимоги до продукту.

1.1 Параметричні розрахунки

Крок гвинтової лінії черв'яка:

t = (0,8...1,2) * D=1*25=25 мм.

Кут підйому гвинтової лінії:

φ = arctg $\frac{t}{\pi D}$ = arctg $\frac{25}{3,14*25}$ =17,66°.

Товщина гребеня черв'яка:

е = (0,06...0,12) × D= 0,12×25 = 3 мм,

при цьому менші значення приймаються для діаметрів черв'яка більше 125 мм, більші – для діаметрів менше 125 мм.

Зазор між черв'яком і гільзою:

$$\delta = (0,002...0,003) \times D = 0,003 \times 25 = 0.1 \text{ мм},$$

при цьому менші значення приймаються для більших величин діаметрів черв'яків.

Глибина гвинтового каналу в зоні завантаження:

$$h_1 = (0,12...0,16) \times D = 0,16 \times 25 = 4 \text{ мм}.$$

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування складає:

$$\begin{aligned} h_3 &= 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right] = \\ &= 0,5 \left[32 - \sqrt{32^2 - \frac{4 \cdot 4}{3,9} \cdot (32 - 4)} \right] = 0,9 \text{ мм}, \end{aligned}$$

де $i = 3,9$ – ступінь стиску поліетилену.

Діаметр стержня під завантажувальною воронкою:

$$d_1 = D - 2 \times h_1 = 25 - 2 \times 4 = 17 \text{ мм}.$$

Діаметр стержня в зоні дозування:

$$d_3 = D - 2 \times h_3 = 25 - 2 \times 0,9 = 23 \text{ мм}.$$

Довжина торпеди з мішалкою:

$$L_{\text{торп}} = (0,6...0,8) \times D + 70 = 0,625 \times 25 + 70 = 86 \text{ мм}.$$

Довжина робочої частини черв'яка приймається:

					ЛУ91.05114.001-90PP	Лист
Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$L_{роб} = 25 \times D = 25 \times 25 = 625 \text{ мм.}$

Довжина зони завантаження приймається:

$L_{зав} = (1,5 \dots 3) \times D = 2,24 \times 25 = 56 \text{ мм.}$

Довжина зони дозування приймається:

$L_{доз} = (3 \dots 6) \times D = 4 \times 25 = 100 \text{ мм.}$

Довжина зони стиснення приймається:

$L_{ст} = L_{роб} - L_{доз} - L_{зав} = 625 - 100 - 56 = 469 \text{ мм.}$

Довжина опори і евольвентного зачеплення приймається:

$L_{ев} = 170 \text{ мм;}$

Довжина відбійної частини приймається:

$L_{відб} = (0,1 \dots 0,5) \times D = 0,28 \times 25 = 7 \text{ мм.}$

Загальна довжина черв'яка:

$L = L_{роб} + L_{торп} + L_{ев} + L_{відб} = 625 + 86 + 170 + 7 = 888 \text{ мм.}$

Критична частота обертання черв'яка в зоні завантаження може бути визначена по наступному співвідношенню (с – 1):

$n_{кр} = \frac{42,2}{60\sqrt{D}} = \frac{42,2}{60\sqrt{0,025}} = 4.4 \text{ с}^{-1},$

					ЛЧ91.05114.001-90PP	Лист
Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

де D – діаметр черв'яка, м.

Робоча частота обертання черв'яка:

$$n_p = (0,2...0,7) \cdot n_{кр} = 0,6 \cdot 4,4 = 2,64 \text{ с}^{-1}$$

Приблизна об'ємна продуктивність:

$$\begin{aligned} Q &= 0.68D^{2.5} = \\ &= 0.68 \cdot 25^{2.5} = 2.125 \cdot 10^6 \frac{\text{см}^3}{\text{хв}} = \\ &= 127.5 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \end{aligned}$$

Приблизна масова продуктивність:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{60 \cdot Q \cdot \rho}{10^6} = \frac{60 \cdot 127.5 \cdot 1021}{10^6} = 7.8 \text{ кг/год}$$

де $\rho = 1021 \text{ кг/м}^3$ щільність розплаву ПВХ на виході з екструдера при температурі розплаву 160^0С . [16]

1.2 Розрахунок черв'яка на міцність

Завдання: Розрахувати міцність черв'яка для заданого матеріалу і геометричних параметрів.

Мета розрахунку: Визначити міцність черв'яка для забезпечення безпечної та надійної роботи відповідно до вимог проекту та використовуваних стандартів.

Вихідні дані: Матеріал черв'яка, геометричні параметри черв'яка.

1.2.1 Розрахунок черв'яка на стиск

Метою розрахунку є визначення працездатності черв'яка.

На черв'як діють такі силові фактори:

- осьове зусилля $P_{ос}$;
- рівномірно розподілене навантаження від власної ваги q ;
- обертальний момент $M_{об}$.

Схема навантаження черв'яка та епюри напружень зображені на рисунку 2.

Розраховуємо крутний момент:

$$M_{кр} = \frac{9550 * N}{n} = \frac{9550 * 8}{158} = 483.5 \text{ Н} * \text{м}$$

де $N=8$ – потужність, яка споживається черв'яком, кВт;

$n=2,64\text{об/с}=158\text{об/хв}$.

Осьове зусилля:

$$P_{ос} = \frac{2 * M_{кр}}{D} = \frac{2 * 483.5}{0.025} = 38.7 \text{ кН}$$

де $D=0.025$ – зовнішній діаметр черв'яка, м

$\varphi = 17,66^{\circ}$ – кут підйому нарізки.

Розподілене навантаження від власної ваги:

$$q = \frac{9.81 * G}{l_p} = \frac{9.81 * 2.4}{0,625} = 37,67 \text{ Н/м}$$

де G – маса черв'яка, кг;

$l_p=0.625$ – довжина робочої частини, м.

					ЛУ91.05114.001-90РР	Лист
Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G = \frac{\pi * D^2}{4} * \rho * l_p = \frac{3.14 * 0.025^2}{4} * 7710 * 0.625 = 2.4 \text{ кг}$$

$$M_{\max} = \frac{1}{2} * q * l_o^2 = \frac{1}{2} * 37.67 * 0.625^2 = 7.4$$

W_x — осьовий момент опору:

$$W_x = \frac{\pi * d^3 (1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3.14 * 0.025^3 (1 - 0.68^4)}{32} = 1.206 * 10^{-6}$$

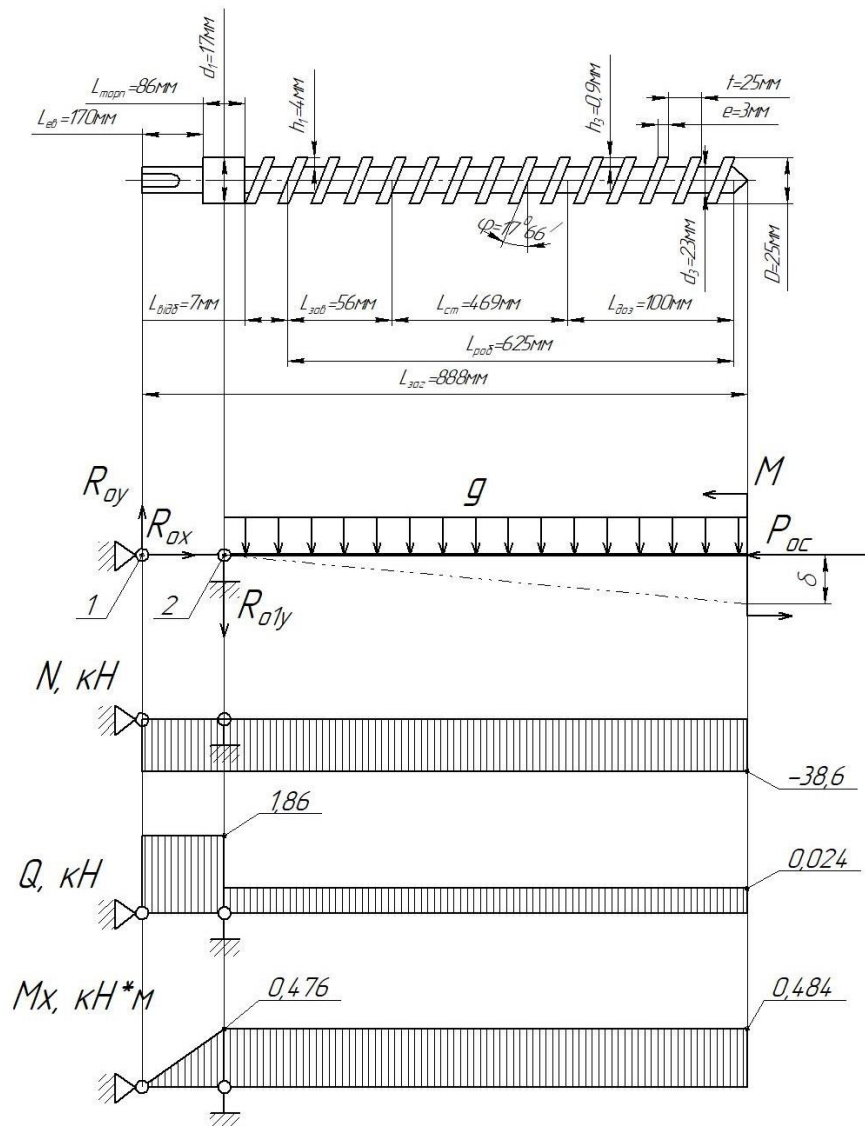


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема шнека та епюри напружень.

Осьова сила N кН, поперечна сила Q кН, та обертальний момент Мх, кН*м:

Реакції опор:

Рівняння рівноваги:

$$\sum_x = R_{0x} - P_{oc} = 0$$

$$\sum_y = R_{0y} - R_{01x} + q * (L_{роб} + L_{відб}) = 0$$

$$\sum_{M1} = R_{01y} * (L_{ев} + L_{торп}) + q * (L_{роб} + L_{відб}) * (\frac{L_{роб} + L_{відб}}{2} + (L_{ев} + L_{торп})) - M = 0$$

$$\sum_{M2} = R_{0y} * (L_{ев} + L_{торп}) + q * (L_{роб} + L_{відб}) * \frac{(L_{роб} + L_{відб})}{2} - M = 0$$

Підставивши числа отримуємо:

$$\sum_{M1} = R_{01y} * 0.256 + 0.038 * 0.632 * ((\frac{0.632}{2}) + 0.256) - 0.484 = 0 \Rightarrow R_{01y} = 1.84кН$$

$$\sum_{M2} = R_{0y} * 0.256 + 0.038 * 0.632 * (\frac{0.632}{2}) - 0.484 = 0 \Rightarrow R_{0y} = 1.86кН$$

$$\sum_x = R_x - 38,6 = 0 \Rightarrow R_x = 38,6кН$$

$$\sum_y = 1,86 - 1,84 + 0,038 * 0,632 = 0$$

Останнє рівняння підтверджує вірність попередніх розрахунків.

Осьова сила:

$$N_1 = N_2 = -P_{oc} = -38.6кН$$

Поперечна сила:

$$Q_1 = R_{0y} = 1.86 \text{кН}$$
$$Q_2 = R_{0y} - R_{01y} = 1.86 - 1.84 = 0.024 \text{кН}$$

Обератальний момент:

$$M_1 = R_{0y} * (L_{ев} + L_{торп}) = 1.86 * 0.256 = 0.476 \text{кН * м}$$
$$M_2 = M = 0.484 \text{кН * м}$$

Стискне напруження:

$$\sigma_{ст} = \frac{P_{ос}}{F} + \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{38.6 * 10^3}{2.639 * 10^{-4}} + \frac{7.3}{1.206 * 10^{-6}} = 152.3 \text{МПа}$$

де F – площа небезпечного перерізу (під завантажувальною воронкою в місці початку нарізки, де найбільші навантаження і найменша площа, без урахування площі перерізу витків):

$$F = \frac{\pi * d_1^2}{4} (1 - \alpha^2) = \frac{3,14 * 0.025^5}{4} (1 - 0.68^2) = 2.639 * 10^{-4} \text{м}^2$$
$$\alpha = \frac{d_0}{d_1} = \frac{0.017}{0.025} = 0.68$$

d_0 – діаметр осердя в зоні завантаження;

Дотичне напруження:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} = \frac{483.5}{2.412 * 10^{-6}} = 200 \text{Мпа}$$

					ЛУ91.05114.001-90РР	Лист
Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Де W_p – полярний момент опору:

$$W_p = \frac{\pi * d_1^3(1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3.14 * 0.025^3 * (1 - 0.68^4)}{16} = 2.412 * 10^{-6} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження за третьою теорією міцності:

$$\sigma_{ст1} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4 * \tau^2} = \sqrt{152^2 + 4 * 200^2} = 428 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу повинен перевищувати допустиме значення:

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} \geq [n]$$

Матеріал черв'яка сталь 20Х2Н4А для якої $\sigma_t = 780 \text{ МПа}$

Значення допустимого коефіцієнта запасу зазвичай 1,6...2

$$n = \frac{780}{428} = 1.8$$

Умова міцності черв'яка виконується.

1.2.2 Розрахунок черв'яка на кручення

Перевіряємо найбільш слабкий переріз на кручення:

$$N_\tau = \frac{\tau_1}{\tau_p(\frac{k_\tau}{\beta * \epsilon_\tau} + \zeta_\tau)} = \frac{200 * 10^6}{2.215 * 10^7(\frac{1.9}{0.9 * 0.59} + 0.05)} = 2.5$$

де $\tau_1 = 200 * 10^6$ – межа втоми при крученні для сталі 40ХН2МА, Па;

					Лист
Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Лист

ЛУ91.05114.001-90РР

$\beta = 0.9$ – коефіцієнт стану поверхні;
 $K_{\tau} = 1.9$ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень;
 $\varepsilon_{\tau} = 0,59$ – коефіцієнт, що враховує вплив змінної складової напруження;
 $\zeta = 0.05$ – коефіцієнт, що враховує вплив постійної складової напруження.
Розрахункове напруження кручення
:

$$\tau_p = \frac{M_{kp}}{2 * W_{ro}} = \frac{483.5}{2 * 1.095 * 10^{-5}} = 22.15 \text{ МПа}$$

де W_{ro} – полярний момент опору крученню перерізу черв'яка з врахуванням жорсткості витків

$$W_{ro} = 2 \cdot \frac{I}{R} = 2 \cdot \frac{9,278 * 10^{-8}}{0,017} = 1,092 * 10^{-5} \text{ м}^3$$

$I = 7.352 * 10^{-8} \text{ м}^4$ – полярний момент інерції перетину черв'яка;
 $R = 0.017 \text{ м}$ – радіус сердечника черв'яка.

Підставивши всі значення в формулу, отримуємо запас міцності 2.5 що задовольняє умови. [17]

1.3 Тепловий розрахунок черв'ячного преса

Завдання: Виконати тепловий розрахунок черв'яка з метою визначення температурного режиму роботи та забезпечення оптимальних умов експлуатації.
Мета розрахунку: Визначити розподіл температур у черв'яку з урахуванням теплових навантажень, теплових втрат та властивостей матеріалу з метою підтримки безпечного та ефективного функціонування системи, до якої він входить.

Тепловий розрахунок даної машини зводиться до розрахунку найбільш відповідального за температурні характеристики елементу – корпусу і

черв'яка, який являє собою обичайку до якої підводиться як тепло, так і охолодження.

Вихідні дані:

Потужність встановленого електродвигуна $N=45\text{кВт}$.

Початкова температура матеріалу $t_{\text{поч}} = 20\text{C}^0$

Кінцева температура матеріалу $t_{\text{кін}} = 160\text{C}^0$

1.3.1 Енергетичний баланс та тепловий розрахунок черв'ячної машини

Теплофізичні властивості полімерних сумішей, що перероблюються
Питома теплоємність для поліетилену:

$$C_{\text{сум}} = 0.9\text{кДж}/(\text{кг} * ^0\text{C})$$

Коефіцієнт теплопровідності:

$$\lambda = 0.16\text{Вт}/(\text{м}^2 * \text{K})$$

Вхідна температура полімеру:

$$T_{\text{вх}} = 20^0\text{C}$$

Температура полімеру на виході з машини:

$$T_{\text{вих}} \leq 160^0\text{C}$$

Температура охолоджувального повітря:

$$t_{\text{п}} = 27^0\text{C}$$

Охолодження корпусу преса – повітряне від індивідуальних вентиляторів.

Максимальна температура нагріву у вторинному контурі – 70 оС.

Кількість тепла, що передається від полімерної суміші до охолоджувального повітря через розділяючі поверхні, знаходимо за основним рівнянням теплопередачі:

$$N_{\text{охол}} = K * F * \Delta t_{\text{сер}}$$

де К – коефіцієнт теплопередачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$;

F – площа поверхні теплообміну, м²;

$\Delta t_{\text{сер}}$ – середньологаритмічний температурний напір між полімерною сумішшю та охолоджувальним повітрям.

Коефіцієнт теплопередачі визначимо за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\sigma_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від полімерної суміші до стінки

$\delta_{\text{ст}} = 0.01\text{м}$ –товщина тепловіддаючої стінки;

$\lambda_{\text{ст}} = 55 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}}$ – коефіцієнт теплопровідності стінки;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря:

$$\alpha_2 = \frac{Nu * \lambda_n}{d_{\text{екв}}},$$

де $\lambda_n = 2.689 * 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря при 30⁰С;

$d_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр охолоджувального каналу , м

					ЛУ91.05114.001-90PP	Лист
Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

де $f_k = \frac{\pi \cdot (d_2^2 - d_1^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (0.06^2 - 0.04^2)}{4} = 0.00157 \text{ м}^2$ – площа перетину охолоджувального каналу;

$$\Pi = \pi \cdot d_2 + \pi \cdot d_1 = \pi \cdot 0.06 + \pi \cdot 0.04 = 0.314 \text{ м}$$

Змочуваний периметр охолоджувального каналу (в поперечному перетині):

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot f_k}{\Pi} = \frac{4 \cdot 1.571 \cdot 10^{-3}}{0.314} = 0.02 \text{ м}$$

Для вибору критеріального рівняння, що визначає значення Nu, знайдемо режим руху охолоджувального повітря в рубашці секції ЧМ.

При вимушеній течії:

$$Re = V_{\text{в}} \cdot d_{\text{екв}} \cdot \rho / \mu = V_{\text{в}} \cdot d_{\text{екв}} / \nu$$

де $V_{\text{сер}}$ – середня швидкість руху повітря в охолоджувальних каналах.

Попередньо приймемо витрати повітря на одну секцію машини ЧПК 25*25 орієнтовно 320 м3/год. Тоді швидкість повітря в рубашці охолодження складатиме:

$$V_{\text{в}} = \frac{G_{\text{в}}}{3600 \cdot f_k} = \frac{320}{3600 \cdot 0.00157} = 56.588 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$\nu = 16.42 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря при 40⁰С

Тоді:

$$Re = V_{\text{в}} \cdot d_{\text{екв}} / \nu = 79.577 \cdot 0.02 / 16.42 \cdot 10^{-6} = 96927$$
$$96927 \geq 10000$$

Тобто маємо турбулентний режим руху, при якому для визначення Nu рекомендується наступне рівняння:

$$Nu = 0.76 * Re^{0.5} Pr_{\text{рід}}^{0.43} * (\frac{Pr_{\text{рід}}}{Pr_{\text{ст}}})^{0.25},$$

де $Pr_{\text{ст}}$ та $Pr_{\text{рід}}$ критерії Прандтля для рідини при температурі стінки та температурі охолоджувального повітря відповідно.

$Pr_{\text{рід}} = 0.7$ при температурі 40°C ;

Для визначення $Pr_{\text{ст}}$ приймаємо поперенью:

$t_{\text{ст}} = t_{\text{в.сер}} + 15^{\circ}\text{C} = 40 + 15 = 55^{\circ}\text{C}; Pr_{\text{ст}} = 0.7$

$Nu = 0.76 * 68926^{0.5} 0.7^{0.43} * (\frac{0.7001}{0.7})^{0.25} = 171$

$\alpha_2 = \frac{171 * 2.689 * 10^{-2}}{0.02} = 230 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}}$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі:

$K = \frac{1}{\frac{1}{1.75 * 10^3} + \frac{0.01}{55} + \frac{1}{230}} = 196 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}}$

Середньологаритмічний температурний напір визначимо з наступного рівняння:

$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_{\text{м}}}{2.3 * Lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_{\text{м}}}},$

де, $\Delta t_6 = 160 - 40 = 120$ та $\Delta t_{\text{м}} = 60 - 36 = 24$;

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2.3 * Lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{120 - 24}{2.3 * Lg \frac{120}{24}} = 60^{\circ}\text{C}$$

Поверхня охолодження ЧП складається з наступних складових:

а) для машини ЧП25х25:

$$F_k = \pi * D_n * L * \varphi, \text{ м}^2$$

де $D_n = 0.04\text{м}$ – зовнішній діаметр циліндра;

$L = 0.9\text{м}$ – довжина цилінда;

$\varphi = 0.9$ – коефіцієнт, що враховує поверхню, зайняту фланцями:

$$F_k = 3,14 * 0,04 * 0,9 * 0,9 = 0,102\text{м}^2$$

Кількість тепла, що відводиться з охолоджуючим повітрям:

$$N_{\text{охол}}^1 = 230 * 0.102 * 60 = 1.399 * 10^3\text{Вт}$$

На основі енергетичного балансу:

$$N_{\text{охол}} = 1.5\text{кВт} \geq N_{\text{охол}}^1 = 1.4\text{кВт}.$$

Перевіримо зовнішню $t_{\text{ст}}$ поверхні теплопередаючій стінки ЧМ (ПЕ):

$$N_{\text{охол}}^1 = \alpha_2 * F_k * (t_{\text{ст}} - t_{\text{в}}) = \alpha_2 * F_k * \Delta t$$

$$N_{\text{охол}}^1 = 230 * 0.102 * 60 = 1.399 * 10^3\text{Вт},$$

Звідки $\Delta t = \frac{N_{\text{охол}}^1}{\alpha_2 * F_k} = \frac{1400}{230 * 0.102} = 60^{\circ}\text{C}$, що є задовільно.

Остаточно приймаємо сумарну продуктивність вентиляторів 320м³/год.
[18]

1.4 Розрахунок на міцність деталі за допомогою САЕ – системи

Проектування головки екструдера для виробництва двошарових полімерних труб є складною задачею, яку не завжди можна вирішити за допомогою традиційних методів розрахунку та формул. Тому для вирішення цієї задачі використовуються комп'ютерні технології, а саме, САЕ – система, яка дозволяє проводити детальний аналіз та розрахунок перепадів тиску в головці екструдера з високою точністю. Завдяки такому підходу можливо покращити ефективність проектування та оптимізувати виробничий процес, підвищуючи якість та надійність готової продукції.

Втрата тиску плавких полімерів є важливим параметром, за яким ми можемо оцінити споживання енергії під час процесу екструзії.

Створюємо модель головки екструдера в Solidworks з урахуванням всіх геометричних параметрів, розмірів та матеріалів, які використовуються у його конструкції.

Типова геометрія такої головки складається з зовнішнього тіла форми та внутрішнього мандриля з гелікальними канавками, викроєними на поверхні мандриля.

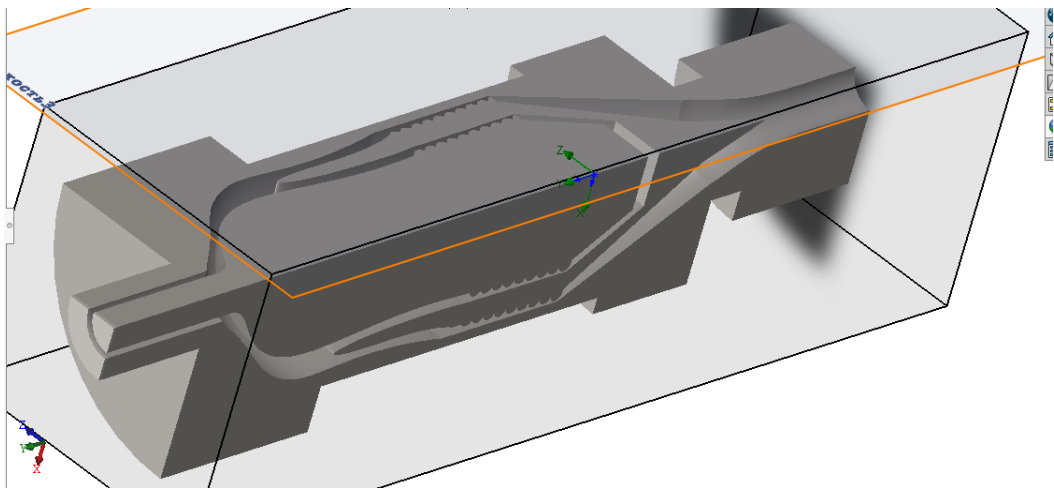


Рисунок 1.2 – Модель головки екструдера в Solidworks

Призначаємо граничні умови задаємо граничні умови, включаючи початкові умови, граничні умови течії та граничні умови теплообміну.

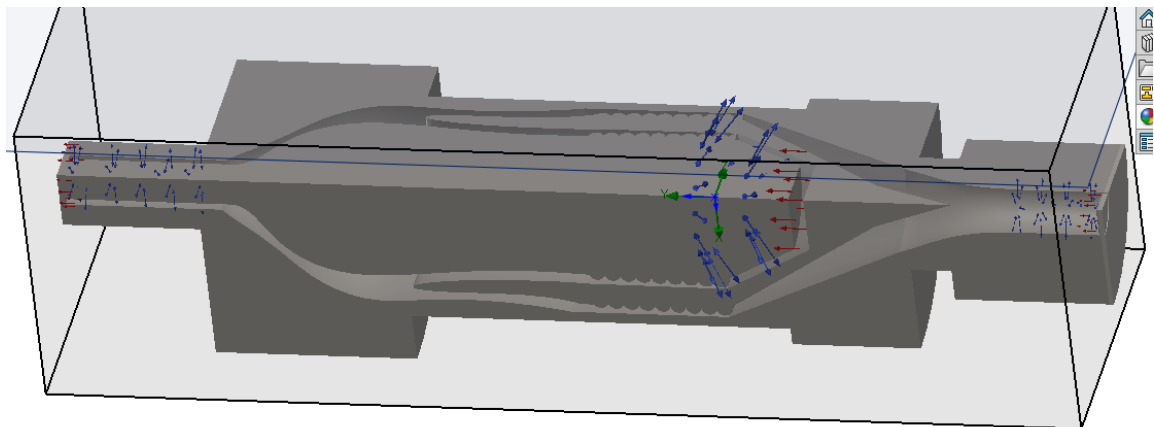


Рисунок 1.3 – Задання граничних умов

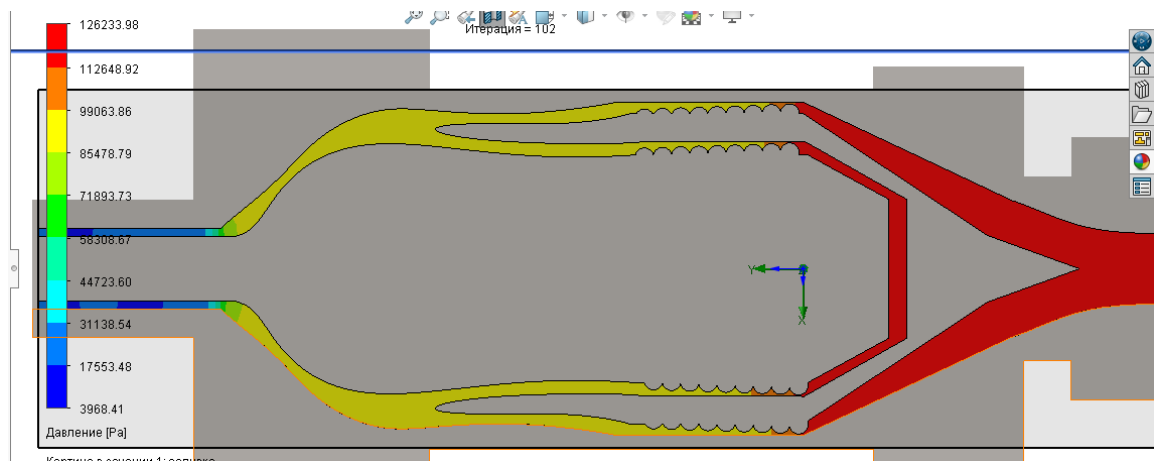


Рисунок 1.4 – Розподіл тиску

На рисунку 1.4 показано розподіл тиску вздовж осі. Проаналізувавши тиск, який виникає у головці при роботі, можна дійти висновку, щ тиск значно зменшується від входу матеріалу до виходу зі спіральної секції. Потік у секції релаксації та розширення має помірне зменшення тиску, тоді як у спіральній секції спостерігається значний спад тиску.

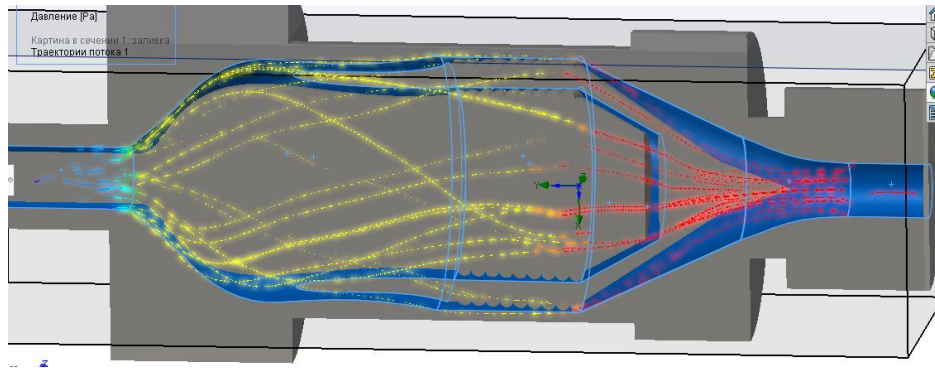


Рисунок 1.5 – Аналіз траєкторії потоку

Аналізуючи траєкторію потоку можна побачити, що розплави полімеру потрапляють в спіральні канавки і течуть по периметру мандриля. Певна кількість розплавів буде витікати в аксіальному напрямку до наступної спіральної канавки. Оскільки глибина спіральних канавок зменшується з відстанню, спіральний потік поступово зменшується, а витікання потоку збільшується. Коли глибина спіральної канавки досягає нуля, потік повністю переходить до кільцевого аксіального потоку. Також бачимо, що основною перевагою спіральної форми є те, що вона розподіляє розплави полімеру. Поступове витікання пластичних розплавів з гелікальних жолобів при обході по периметру призводить до ефекту прослойки. Цей ефект прослойки забезпечує додаткове змішування або гомогенізацію пластичних розплавів, що дає більш однорідний продукт. Крім того, відсутність елементів підтримки мандриля дозволяє уникнути появи зварних ліній на формованому пластиковому трубопроводі.

1.5 Розрахунок модернізованої голівки

Для проведення покращення голівки у цій роботі, стаття "Manufacturing and Modeling of an Extrusion Die Spider Head for the Production of HDPE Tubes" послугувала важливим джерелом інформації. У вищезазначенній статті автори розглядають поліпшення міцності внутрішнього шару труби, завдяки орієнтації макромолекул полімеру. Візьмемо цю технологію для внутрішнього шару нашої голівки, для цього змінимо внутрішній канал голівки та збільшимо довжину самої голівки.

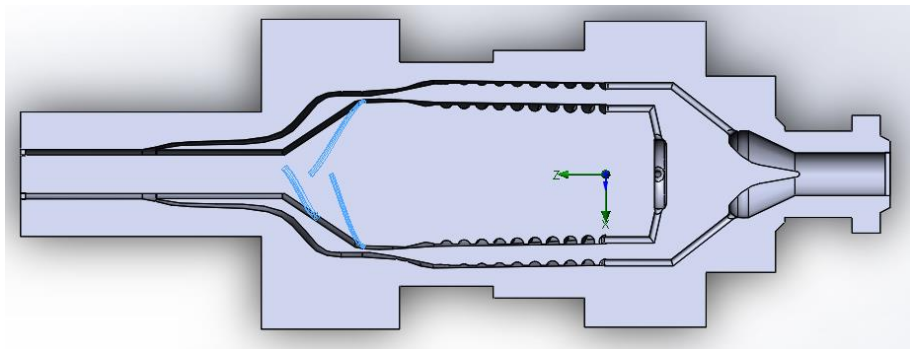


Рисунок 1.6 – Нова голівка

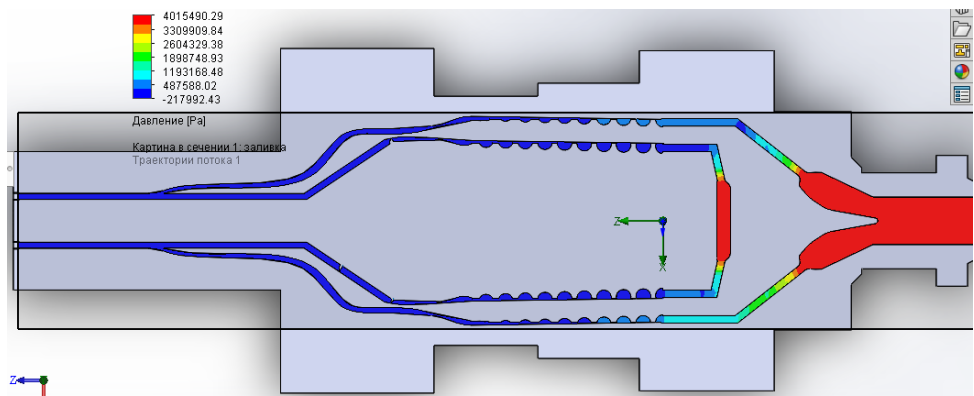


Рисунок 1.7 – Розподіл тиску у новій голівці

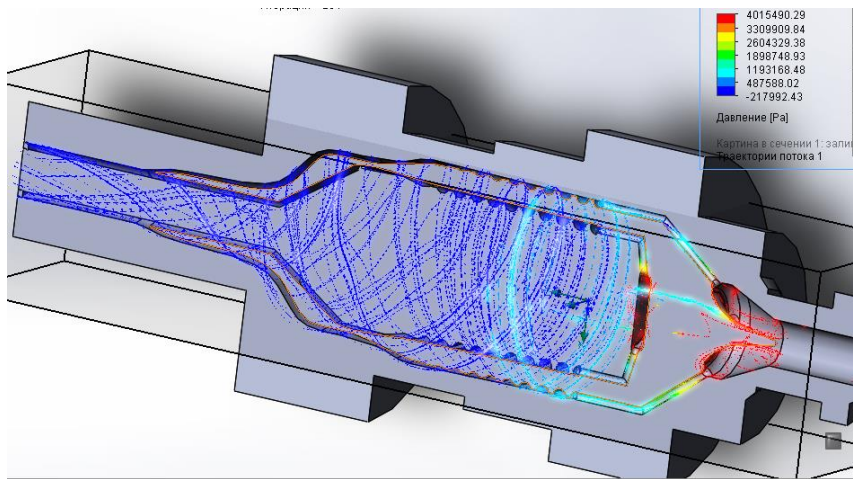


Рисунок 1.8 – Траєкторія потоку у новій голівці

Також для покращення екструзійної лінії, згідно патенту «Co-extruded oxidation-resistant polyethylene pipe and method of manufacture» додамо подачу інертного газу до бункера екструдера внутрішнього шару, як схематично показано на рисунку 1.9.

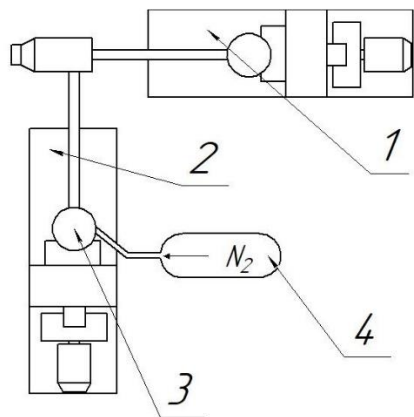


Рисунок 1.9 – Схематичний вид подачі азоту до внутрішнього шару

Це дозволяє запобігати взаємодії кисню в атмосфері з розплавленим внутрішнім шаром труби, який найбільше вразливий до окислювання.

2 Дослідження міцності внутрішнього наномодифікованого шару
двошарової полімерної труби

Метою дослідження є визначення механічних властивостей внутрішнього наномодифікованого шару в двошаровій полімерній трубі, зокрема його міцність, та деформаційні характеристики, оцінити вплив рівня наномодифікації та геометричних розмірів вуглецевих нанотрубок (діаметр та довжина) на фізико-механічні характеристики наномодифікованого полімеру та проаналізувати зміну компонент напружно-деформівного стану двошарової полімерної труби в залежності від зміни коефіцієнта модуля пружності внутрішнього шару труби з метою покращення параметрів міцності досліджуємого об'єкту.

У підсилених полімерних трубах з вуглецевими нанотрубками напруження розподіляється між нанотрубками та полімерною матрицею. Нанотрубки, завдяки своїй високій міцності та жорсткості, можуть витримувати значну частину напруження. Вони приймають на себе значне навантаження та допомагають розподілити його рівномірно по всій структурі наномодифікованого шару труби. Це розподілення напруження залежить від кількох факторів, включаючи діаметр, довжину та об'ємну долю нанотрубок. Для з'ясування як ці фактори впливають на напруження проведемо дослідження.

У статті [19] проводиться аналіз впливу довжини, діаметра та об'ємної долі нанотрубки на модуль пружності за допомогою нижче зазначеної формули. В якості вихідних даних використовуються такі параметри: модуль пружності базового матеріалу, модуль пружності наноматеріалу, що використовується для модифікації, об'ємна доля углеродних трубок в наномодифікованому шарі. Згідно [19] вплив модифікаційних параметрів на модуль пружності наномодифікованого полімеру визначається згідно наступних співвідношень:

$$E_c = \left[\frac{3}{8} \frac{1 + 2(l_{NT} / d_{NT})\eta_L V_{NT}}{1 - \eta_L V_{NT}} + \frac{5}{8} \frac{1 + 2\eta_T V_{NT}}{1 - \eta_T V_{NT}} \right] E_{PS},$$

$$\eta_L = \frac{(E_{NT} / E_{PS}) - 1}{(E_{NT} / E_{PS}) + 2(l_{NT} / d_{NT})},$$

$$\eta_T = \frac{(E_{NT} / E_{PS}) - 1}{(E_{NT} / E_{PS}) + 2}, \quad (2.1)$$

де E_c – модуль пружності композиту, МПа;

l_{NT} – довжина нанотрубки, м;

d_{NT} – діаметр нанотрубки, м;

V_{NT} – об’ємна частка нанотрубок, %;

η_L – коефіцієнт переносу навантаження;

η_T – коефіцієнт термального розширення;

E_{PS} – модуль пружності поліпропілену, МПа;

Для визначення впливу наномодифікації на модуль пружності поліпропілену ‘, в роботі побудовано графіки залежності від діаметру, довжини та об’єму нанотрубок. Результати приведені на рис. 2.1, рис. 2.2, рис. 2.3, відповідно.

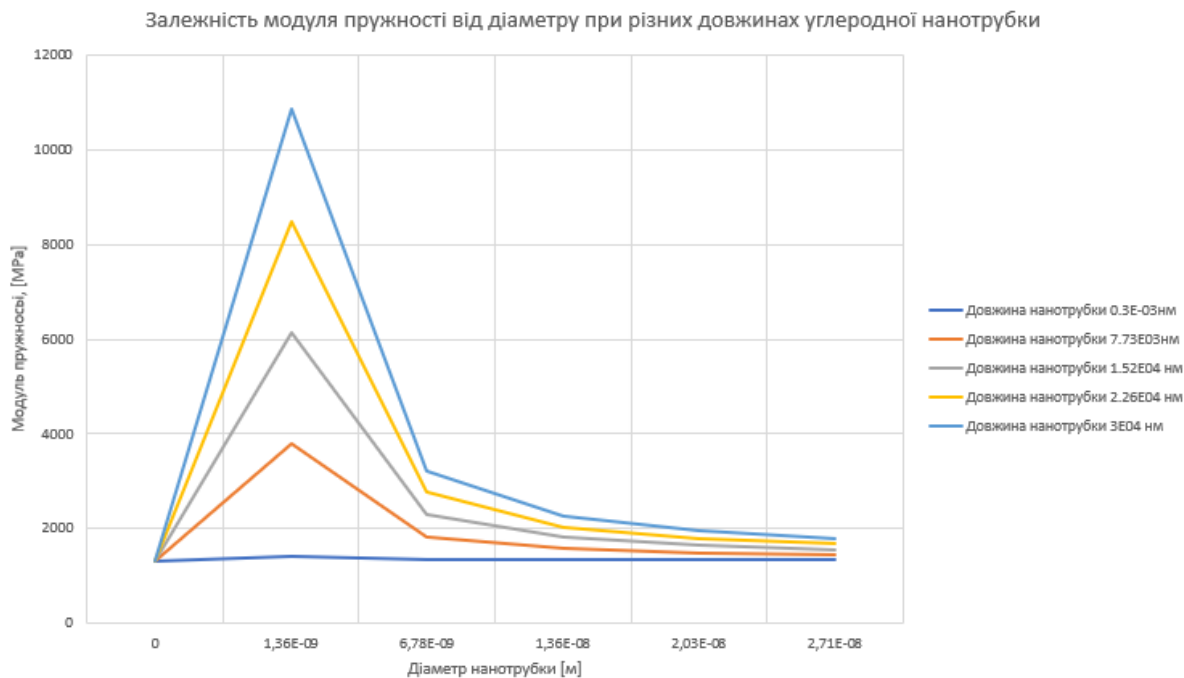


Рисунок 2.1 – Графік залежності модуля пружності від діаметру углеродних нанотрубок для різної довжини нанотрубки



Рисунок 2.2 – Графік залежності модуля пружності від довжини углеродних нанотрубок

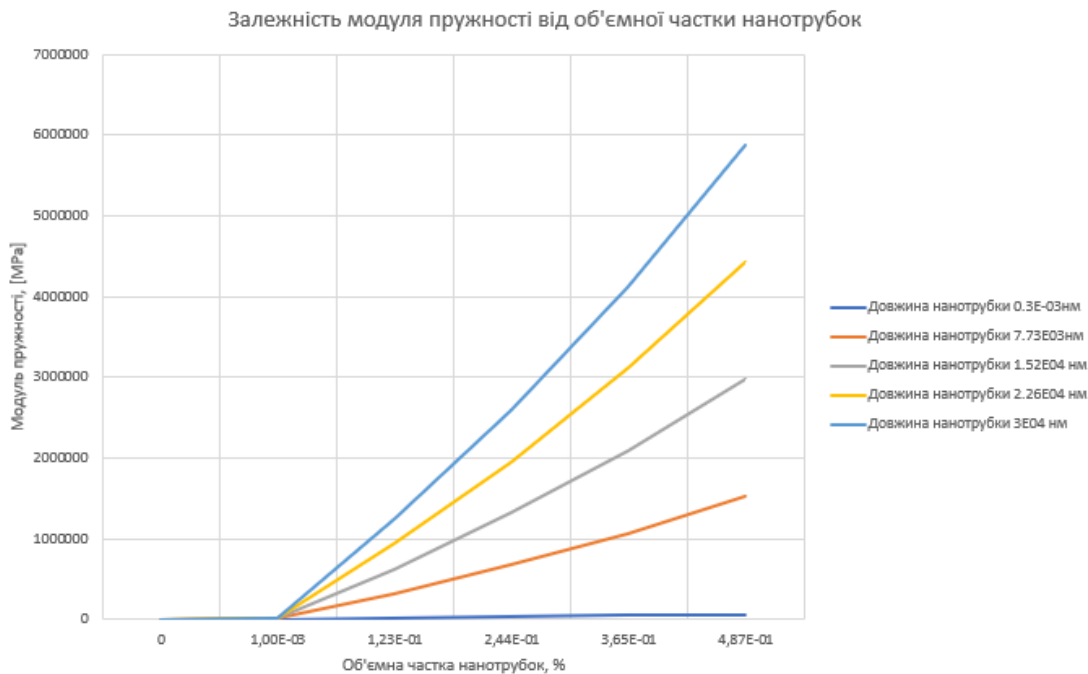


Рисунок 2.3 – Графік залежності модуля пружності від об’ємної частки углеродних нанотрубок для різної довжини нанотрубок

2.1 Чисельне моделювання процесу наномодифікації внутрішнього шару двошарової полімерної труби

Для проведення моделювання процесу наномодифікації внутрішнього шару двошарової полімерної труби були взяті такі параметри: товщина кожного шару складає 2,1мм. Модуль пружності зовнішнього шару дорівнює модулю пружності полімеру $1.325 \cdot 10^3$ МПа, коефіцієнт Пуассона при цьому дорівнює 0,44, межа міцності матеріалу складає 46,5МПа.

Для виконання розрахунків на міцність та одержання інформації про напружено-деформівний стан в роботі побудована розрахункова модель досліджуємого об’єкту на основі системи ANSYS (рис. 2.4).

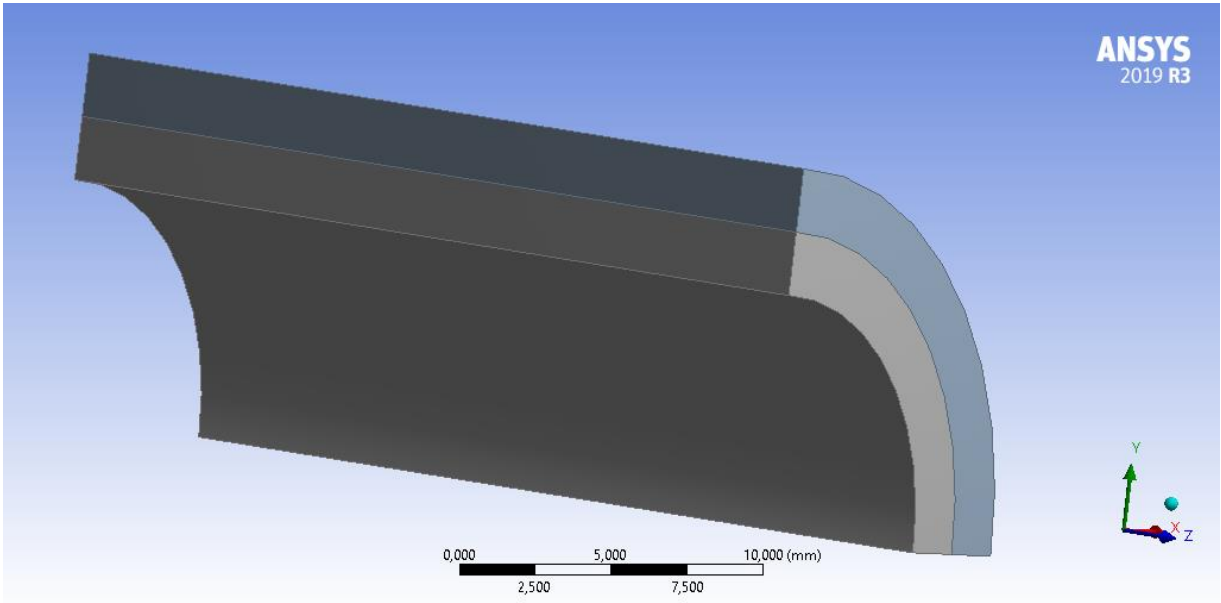


Рисунок 2.4 – 3D модель двошарової полімерної труби

Після виконання геометричного моделювання труби, проведено визначення механічних властивостей двох шарів полімерного матеріалу згідно стандартної процедури системи ANSYS (рис.2.5). Для внутрішнього та зовнішнього шарів створюються два ідентичних матеріали з відповідними механічними властивостями. Слід зазначити, що модуль пружності для внутрішнього шару встановлюється як параметр, який можна змінювати для оптимізації процесу дослідження впливу врахування наномодифікації внутрішнього шару.

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data				Source
2	Material				Description
3	polypropylene external				
4	polypropylene internal				
*	Click here to add a new material				

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	9,0E-10	tonne mm ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modu...			
8	Young's Modulus	1325	MPa		
9	Poisson's Ratio	0,44			
10	Bulk Modulus	3680,6	MPa		
11	Shear Modulus	460,07	MPa		
12	Tensile Yield Strength	34	MPa		
13	Compressive Yield Strength	46,5	MPa		
14	Tensile Ultimate Strength	34	MPa		
15	Compressive Ultimate Strength	67	MPa		

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	9,0E-10	tonne mm ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modu...			
8	Young's Modulus	1325	MPa		
9	Poisson's Ratio	0,44			
10	Bulk Modulus	3680,6	MPa		
11	Shear Modulus	460,07	MPa		
12	Tensile Yield Strength	34	MPa		
13	Compressive Yield Strength	46,5	MPa		
14	Tensile Ultimate Strength	34	MPa		
15	Compressive Ultimate Strength	67	MPa		

Рисунок 2.5 – Процедура задання характеристик матеріалу в системі ANSYS

Таким чином, отримано розрахункову схему в системі ANSYS, де характеристики внутрішнього шару полімерної труби параметризовані. В якості параметра параметризації виступає модуль пружності внутрішнього шару (рис.2.6).

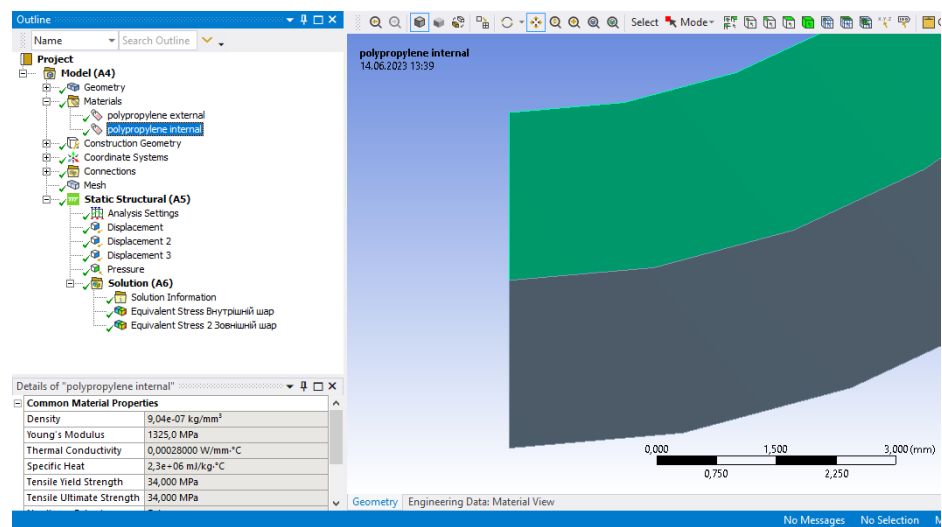


Рисунок 2.6 – Матеріали шарів полімерної труби

Розрахункову схему досліджуємого об'єкта формуємо з урахуванням усіх площин симетрії для $\frac{1}{4}$ елементу труби. Це дозволить уникнути зсувів або обертання труби, що можуть зіпсувати результати розрахунків. Закріплення displacement на всі грані виділеного елемента двошарової труби забезпечить надійність та точність розрахунків, незалежно від розмірів труби. Опис розрахункової схеми доповнюємо параметрами внутрішнього тиску, який дорівнює 2МПа (рис.2.7).

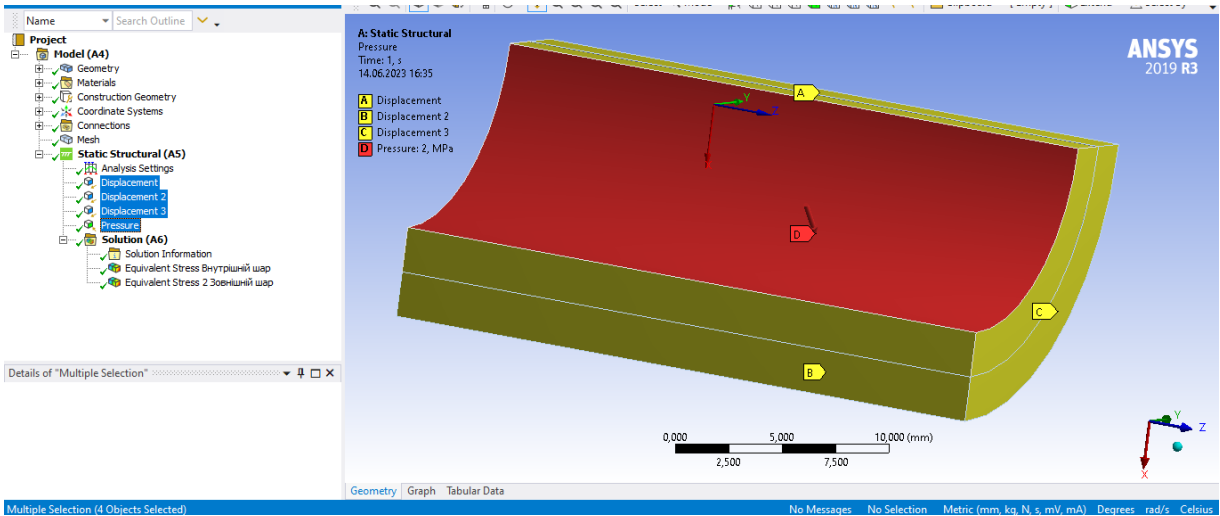


Рисунок 2.7 – Накладання закріплень та внутрішнього тиску

Скінченно елементна модель приведена на рис.2.8, при цьому розмір скінченних елементів дорівнює 0,3мм., що забезпечує необхідну точність чисельних рохрахунків (рис.2.8).

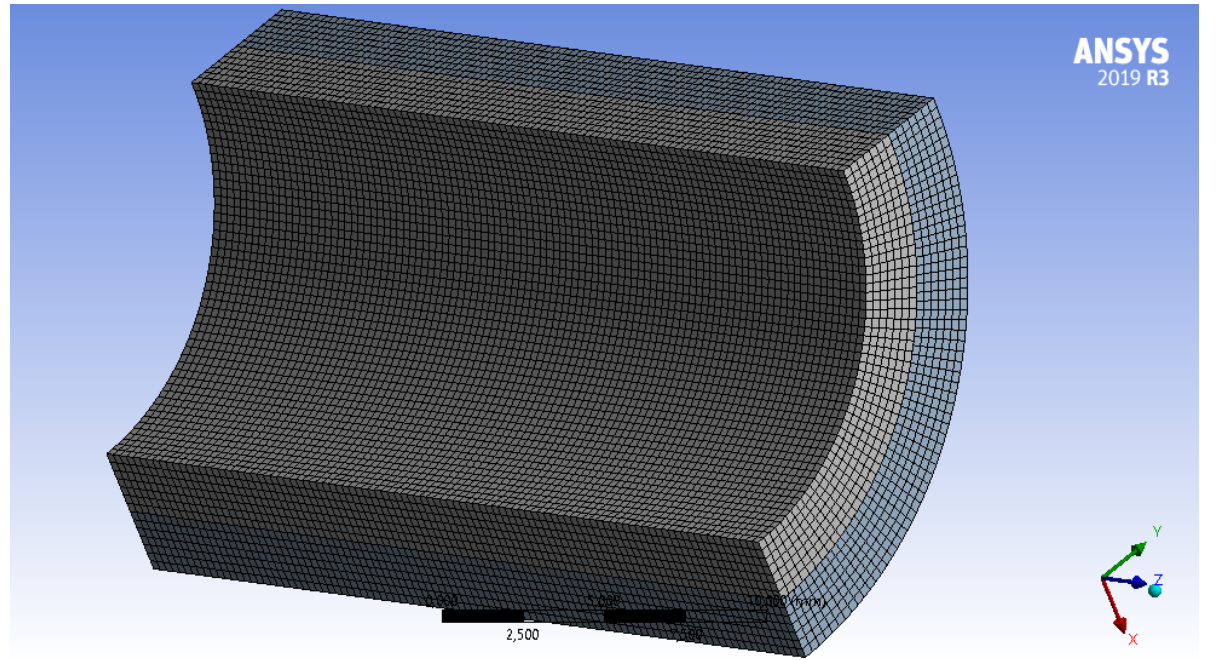


Рисунок 2.8 – Скінченно-елементна модель $\frac{1}{4}$ двохарової труби

Для врахування впливу рівня наномодифікації середнього наномодифікованого шару по роботі був проведений цикл чисельних експериментів для визначення напружено-деформованого стану досліджуваного

об’єкта. Типовий приклад визначення рівня приведених напружень за Мізесом при внутрішньому тиску 2МПа у різних шарах труби наведено на рис. 2.9 і рис. 2.10.

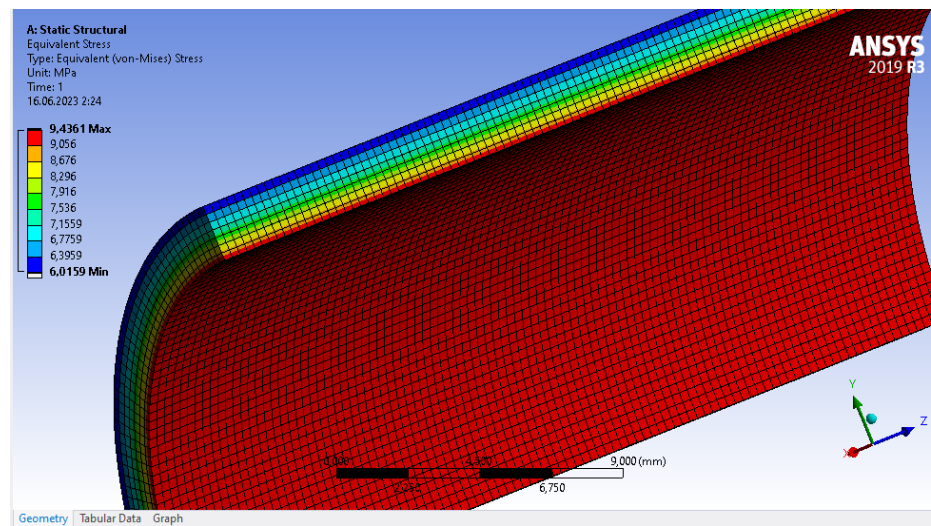


Рисунок 2.9 – Розподіл еквівалентних напружень по товщині внутрішнього шару

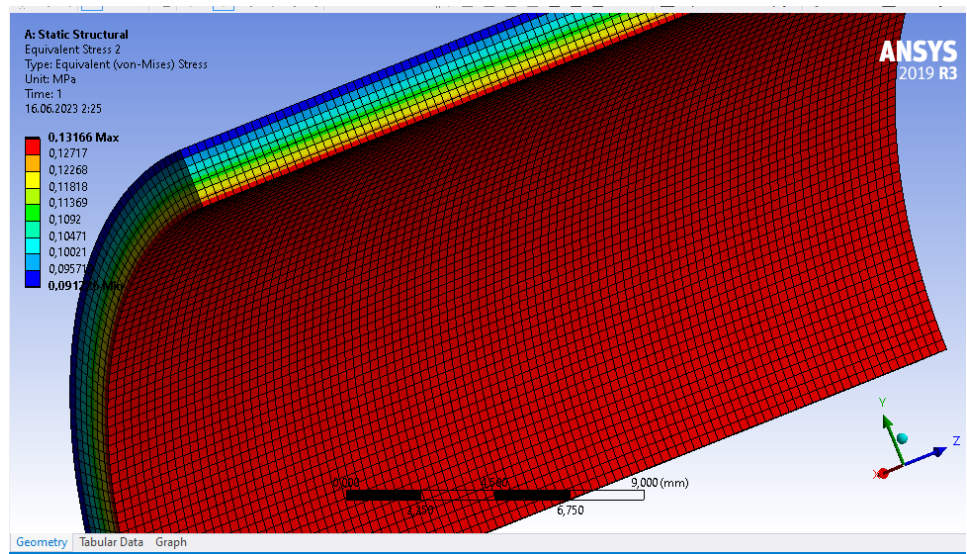


Рисунок 2.10 –Розподіл еквівалентних напружень по товщині зовнішнього шару

Крім цього, отримані залежності зміни еквівалентних напружень в залежності від діаметру вуглеродних нанотрубок. На рис. 2.11, рис. 2.12, рис. 2.13, рис. 2.14 приведені графіки зміни рівня еквівалентного напруження, на

нижній і верхній поверхні наномодифікованого шару та на нижній і верхній поверхні зовнішнього шару.

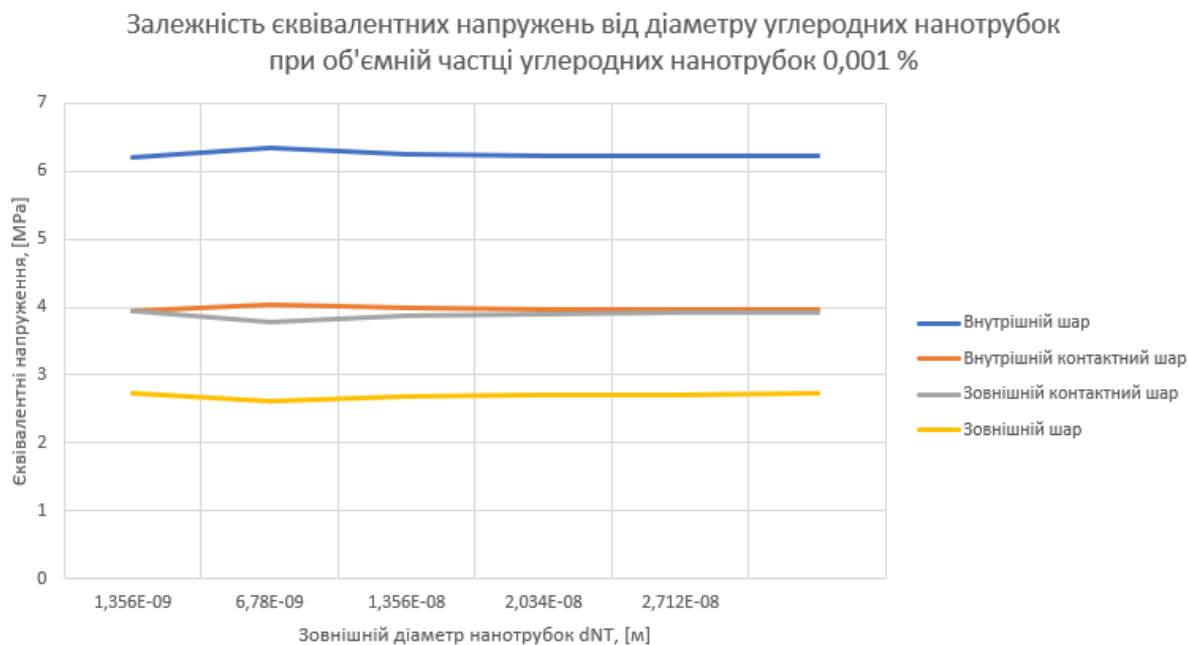


Рисунок 2.11 – Графік залежності еквівалентних напружень від діаметру углеродних нанотрубок при об’ємній частці нанотрубок, що дорівнює 0,001%

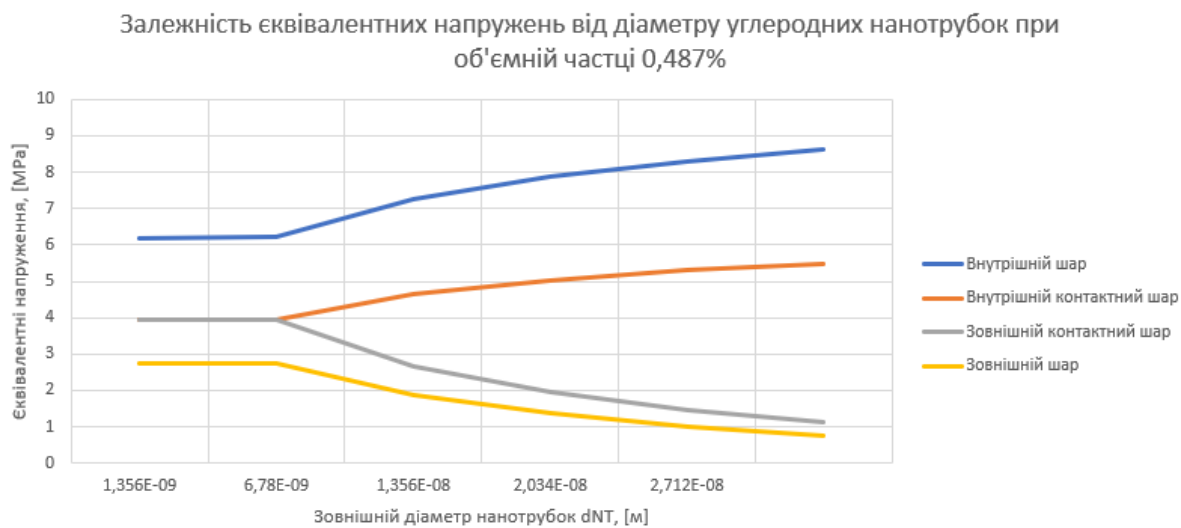


Рисунок 2.12 – Графік залежності еквівалентних напружень від діаметру углеродних нанотрубок при об’ємній частці нанотрубок, що дорівнює 0,487%

У таблиці 2.1 приведені значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від діаметра углеродних нанотрубок для об'ємного заповнення 0,478 % по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару.

Значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від діаметра углеродних нанотрубок для об'ємного заповнення 0,478 % по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару

Таблица 2.1

Внутрішній шар			
Діаметр нанотрубок [м]	Модуль пружності наномодифікованого шару [МПа]	Збільшення модуля пружності наномодифікованого шару по відношенню до модуля пружності зовнішнього шару [%]	Збільшення еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару [%]
1,36E-09	1330	0,37735849	0,12779161
6,78E-09	2320	75,0943396	17,3239207
1,36E-08	3470	161,886792	27,2541387
2,03E-08	4890	269,056604	33,9633181
2,71E-08	6710	406,415094	38,845287

У таблиці 2.2 приведені значення збільшення модуля пружності зовнішнього контактного шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від довжини нанотрубок для об'ємного заповнення 0,478 % по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару.

Значення збільшення модуля пружності зовнішнього контактного шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від

довжини нанотрубок для об’ємного заповнення 0,478 % по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару

Таблица 2.2

Внутрішній контактний шар			
Діаметр нанотрубок [м]	Модуль пружності наномодифікованого шару [MPa]	Збільшення модуля пружності наномодифікованого шару по відношенню до модуля пружності зовнішнього шару %	Збільшення еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару [%]
1,36E-09	1330	0,377358	0,12849582
6,78E-09	2320	75,09434	17,4338289
1,36E-08	3470	161,8868	27,4400755
2,03E-08	4890	269,0566	34,2063254
2,71E-08	6710	406,4151	39,1330814

На рис 2.13 приведені значення змінення еквівалентних напружень у поверхневих та контактних шарах досліджуємої труби від довжини нанотрубок.

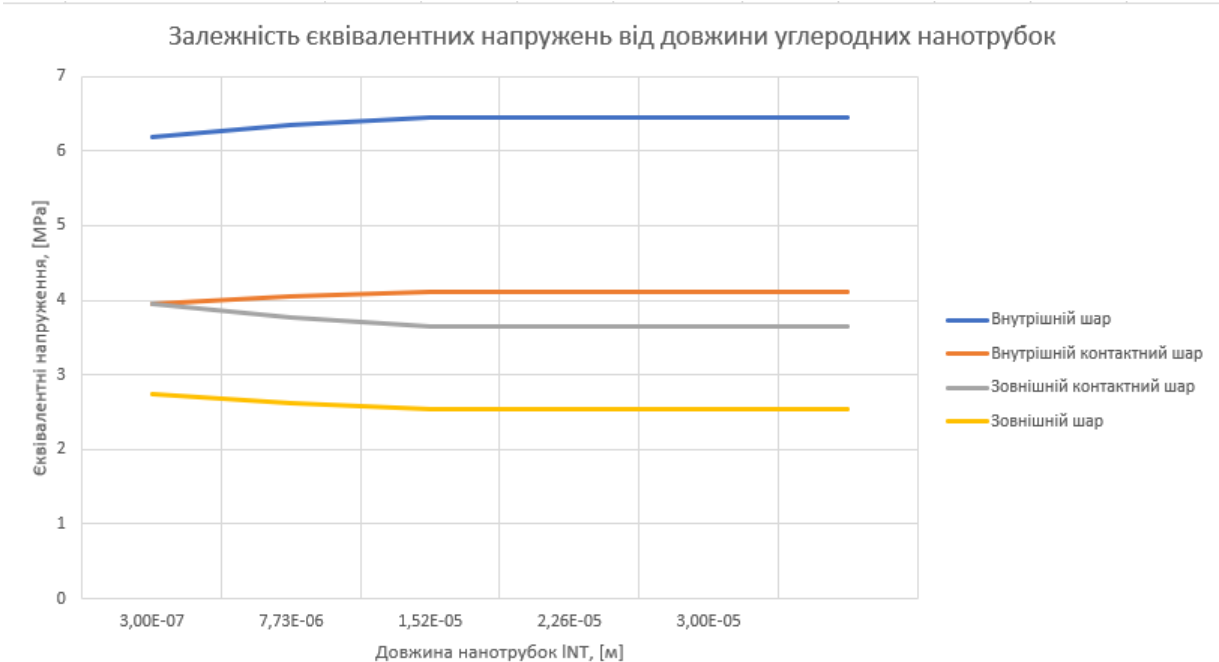


Рисунок 2.13 – Графік залежності еквівалентних напружень від довжини
углеродних нанотрубок

У таблиці 2.3 приведені значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від довжини углеродних нанотрубок по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару.

Значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від довжини углеродних нанотрубок по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару

Таблица 2.3

Внутрішній шар			
Довжина углеродної нанотрубки [м]	Модуль пружності наномодифікованого шару [МПа]	Збільшення модуля пружності наномодифікованого шару по відношенню до модулю пружності зовнішнього шару %	Збільшення еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару [%]
1,36E-09	1422,911632	7,389557132	2,397172326
6,78E-09	1490,867116	12,51827291	3,93970625
1,36E-08	1493,209032	12,69502128	3,99122417
2,03E-08	1494,025587	12,75664808	4,009165038
2,712E-08	1494,441583	12,788044	4,018296537

У таблиці 2.4 приведені значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від довжини углеродних нанотрубок по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару.

Значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від довжини углеродних нанотрубок по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару

Таблица 2.4

Внутрішній контактний шар			
Довжина углеродної нанотрубки [м]	Модуль пружності наномодифікованого шару [МПа]	Збільшення модуля пружності наномодифікованого шару по відношенню до модуля пружності зовнішнього шару %	Збільшення еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару [%]
1,356E-09	1422,911632	7,389557132	2,410646747
6,78E-09	1490,867116	12,51827291	3,962154006
1,356E-08	1493,209032	12,69502128	4,01397666
2,034E-08	1494,025587	12,75664808	4,032018817
2,712E-08	1494,441583	12,788044	4,041211418

На рис 2.14 приведені значення змінення еквівалентних напружень у поверхневих та контактних шарах досліджуємої труби від об’ємної частки нанотрубок.

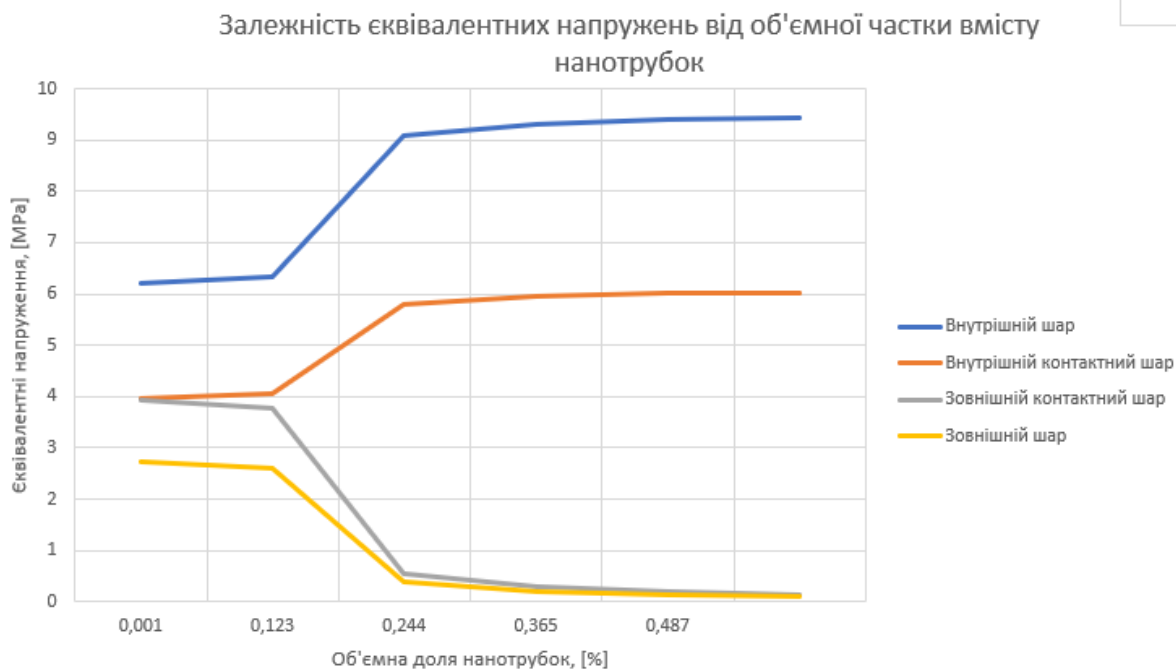


Рисунок 2.14 – Графік залежності еквівалентних напружень від об’ємної частки углеродних нанотрубок

У таблиці 2.5 приведені значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від об’ємної частки углеродних нанотрубок по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару.

Значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від об’ємної частки углеродних нанотрубок по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару

Таблица 2.5

Внутрішній шар

Об'ємна частка углеродної нанотрубки [%]	Модуль пружності наномодифікованого шару [МПа]	Збільшення модуля пружності наномодифікованого шару по відношенню до модулю пружності зовнішнього шару [%]	Збільшення еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару [%]
0,001	1422,911632	7,389557132	2,397172326
0,123	14064,8934	961,5013887	46,38500537
0,244	28146,20329	2024,241758	50,12469565
0,365	44092,37788	3227,726632	51,5260564
0,487	62520,23231	4618,508099	52,26616984

У таблиці 2.6 приведені значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від об'ємної частки углеродних нанотрубок по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару.

Значення збільшення модуля пружності внутрішнього шару досліджуємої труби та збільшення еквівалентних напружень в цьому шарі від об'ємної частки углеродних нанотрубок по відношенню до модуля пружності не наномодифікованого шару

Таблица 2.6

Внутрішній контактний шар			
Об'ємна частка углеродної нанотрубки [%]	Модуль пружності наномодифікованого шару [МПа]	Збільшення модуля пружності наномодифікованого шару по відношенню до модулю пружності зовнішнього шару %	Збільшення еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару [%]
0,001	1422,911632	7,389557132	2,410646747
0,123	14064,8934	961,5013887	46,7486943
0,244	28146,20329	2024,241758	50,53008166
0,365	44092,37788	3227,726632	51,94797168

0,487	62520,23231	4618,508099	52,69704159
-------	-------------	-------------	-------------

Проаналізувавши графіки можна дійти до висновків, що збільшення довжини вуглецевих нанотрубок покращує механічні властивості двошарової полімерної труби при довжині. При довжині углеродних нанотрубок, яка дорівнює $3 \cdot 10^{-7}$ м на внутрішньому шарі спостерігалось мінімальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 2,39 %. А при довжині углеродних нанотрубок, яка дорівнює $3 \cdot 10^{-5}$ м на внутрішньому шарі спостерігалось максимальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 4,02%. Для внутрішнього контактного шару при довжині углеродних нанотрубок, яка дорівнює $3 \cdot 10^{-7}$ м спостерігалось мінімальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 2,41%. А при довжині углеродних нанотрубок, яка дорівнює $3 \cdot 10^{-5}$ м на внутрішньому шарі спостерігалось максимальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 4,04%.

Збільшення діаметра вуглецевих нанотрубок у підсилених полімерних трубах також покращує їх механічні властивості. При діаметрі углеродних нанотрубок, який дорівнює $1.356 \cdot 10^{-9}$ м. та при об’ємній частці нанотрубок, що дорівнюють 0,487% на внутрішньому шарі спостерігалось мінімальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 0,13 %. А при довжині углеродних нанотрубок, яка дорівнює $2.71 \cdot 10^{-8}$ м . та при об’ємній частці нанотрубок, що дорівнюють 0,487% на внутрішньому шарі спостерігалось максимальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 38,8%. Для внутрішнього контактного шару при довжині углеродних нанотрубок, яка

дорівнює $1.356 \cdot 10^{-9}$ м . та при об’ємній частці нанотрубок, що дорівнюють 0,487% спостерігалось мінімальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 0,13%. А при довжині углеродних нанотрубок, яка дорівнює $2.712 \cdot 10^{-8}$ м . та при об’ємній частці нанотрубок, що дорівнюють 0,487% на внутрішньому контактному шарі спостерігалось максимальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 39,13%.

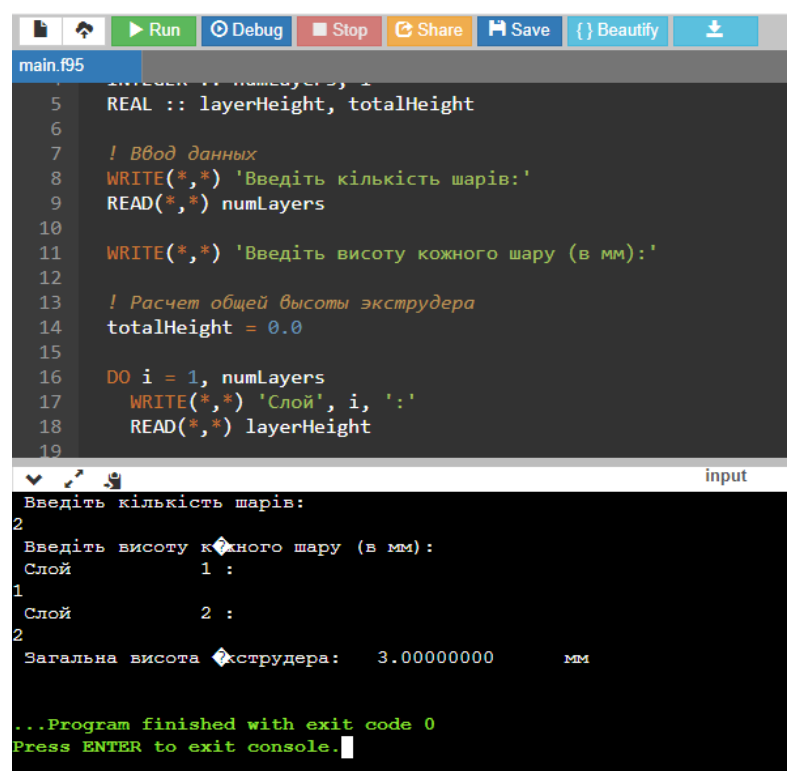
Збільшення об’ємного вмісту вуглецевих нанотрубок у підсилених полімерних трубах також покращує їх механічні властивості. При об’ємній частці углеродних нанотрубок, яка дорівнює 0,001% та при довжині нанотрубок, що дорівнюють $1,356 \cdot 10^{-9}$ м. на внутрішньому шарі спостерігалось мінімальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 2,4 %. А при об’ємній частці углеродних нанотрубок, яка дорівнює 0,487% та при довжині нанотрубок, що дорівнюють $1,356 \cdot 10^{-9}$ м. на внутрішньому шарі спостерігалось максимальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 52,27%. Для внутрішнього контактного шару при об’ємній частці углеродних нанотрубок, яка дорівнює 0,001% та довжині $1.356 \cdot 10^{-9}$ м спостерігалось мінімальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 2,41%. А при об’ємній частці углеродних нанотрубок, яка дорівнює 0,487 % при довжині нанотрубок, що дорівнюють $1,356 \cdot 10^{-9}$ м. на внутрішньому контактному шарі спостерігалось максимальне збільшення у відсотках еквівалентних напружень наномодифікованого шару по відношенню до напружень зовнішнього шару і дорівнювало 52,69%.

3 Розрахунок геометричних параметрів черв'ячного екструдера за допомогою мови програмування Fortran

Завдання: Розробити програму для розрахунку геометричних параметрів червячного екструдера з використанням мови програмування. Визначити оптимальні геометричні параметри черв'ячного екструдера.

Для розрахунку параметричних черв'яка екструдера було обрано програмне середовище Fortran.

Програма для параметричних розрахунків на ПЕОМ [ДОДАТОК Б]. В написаній програмі йде виконання розрахунків геометричних параметрів черв'ячного екструдера. Результати розрахунків видно на рис.3.1 нижче, де зображено результати в терміналі.



Технологія машинобудування

до дипломного проекту

**на тему: «Лінія виробництва портландцементу з модернізацією
віброшнекового живильника»**

Київ – 2023 року

Зміст

1 Технологія виготовлення деталі68

1.1 Опис та призначення деталі68

1.2 Вибір заготовки та виготовлення деталі.....68

1.3 Технологічний процес виготовлення деталі.....69

2 Вибір та розрахунок пристосування для певної операції72

2.1 Вибір пристосування, опис конструкції та принципу дії72

2.2 Розрахунок сил закріплення деталі.....72

Висновки80

					ЛУ91.05114.001-90ТМ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Гурін Р.С.				Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив	Гондлях О.В.							
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		

1 Технологія виготовлення деталі

1.1 Опис та призначення деталі

Відсутність складального креслення вузла, в котрий входить вал та даних про службове призначення виробу ускладнює точне визначення призначення деталі.

Розглядаючи її конфігурацію і габарити, можна зробити висновки, що вал є деталлю середнього машинобудування.

Вал в машинобудуванні – обертова деталь машини, що передає крутний момент, може бути частішої диференціального (планетарного) редуктора.

Деталь виготовляється з сталі 45х. яка використовується для виготовлення відповідних деталей. [20]

1.2 Вибір заготовки та виготовлення деталі

Знаючи тип виробництва, матеріал цієї деталі і її конфігурацію, можна прибігти до метода штамповки, для одержання заготовки, на кривошипно–шатунному гарячо–штампувальному пресі з виштовхувачем.

Аналіз технологічності конструкції деталі "вал" дає нам можливість зробити наступні висновки:

- Конструкція відрізняється високою жорсткістю і допускає високі режими різання і широке використання підвищених режимів різання;
- Конструкція деталі "вал" забезпечує вільний доступ ріжучого і вимірювального інструмента до оброблюваної поверхні.
- Всі оброблювані поверхні і отвори, або паралельні, або розташовані під прямим кутом один до одного;
- Більшість поверхонь і отворів можна обробити стандартним інструментом.

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ЛУ91.05114.001-90ТМ

Дотримуючись вимог до креслення та в результаті аналізу конструкції деталі можна зробити висновок, що найбільш доцільно використовувати штамповану заготовку.

Якість і вартість штампованих заготовок в основному залежать від способу їх виготовлення.

Враховуючи розміри і матеріал деталі, невисокі вимоги до якості штамповок, можна застосувати штамповку на ГKM

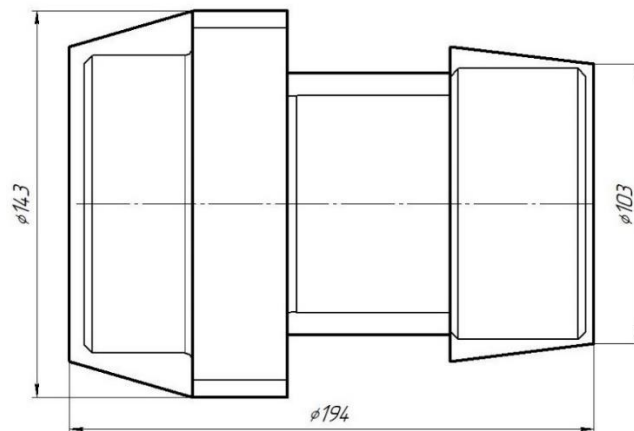


Рис. 1.1 – заготовка деталі

Вибір типового технологічного процесу і типових схем обробки поверхонь Деталь вал відноситься до класу «круглі стрижні», тому технологічний процес її обробки містить наступні операції:

- фрезерування торців деталі та центрування з обох сторін;
- чорнова і чистова обробка зовнішніх поверхонь обертання та прилеглих торців;
- зняття фасок та точіння канавок

1.3 Технологічний процес виготовлення деталі

Послідовність операцій:

Операція 005. Фрезерно–центрувальна

1. Фрезерувати торці, витримуючи розмір 185.

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ЛУ91.05114.001-90ТМ

Лист

2

2

2 Вибір та розрахунок пристосування для певної операції

2.1 Вибір пристосування, опис конструкції та принципу дії

Для середньосерійного виробництва підбирають високопродуктивне універсальне та спеціалізоване устаткування, орієнтуючись на відповідність основних розмірів робочих органів верстата габаритним розмірам оброблюваної заготовки і досягнення необхідної точності, а також на використання мінімальної кількості різних моделей верстатів. [21]

Операції 005. Фрезерно–центрувальна виконують її на фрезерно–центрувальному верстаті ЕМ535М, котрий призначений для різноманітних токарних робіт по обробки деталей з чавуну і сталі різцями зі швидкорізальної сталі або оснащеними пластинками твердого сплаву.

Операції 010, 015 Токарна виконують її на токарно–гвинторізному верстаті моделі 16К20 з такими характеристиками : найбільший діаметр обробки над станиною – 400 мм, відстань між центрами – 710; 1000; 1400; 2000 мм, найбільший розмір оброблюваної заготовки над супортом – 220 мм, найбільший діаметр оброблюваного прутка – 50 мм, кількість ступенів частоти обертання шпинделя – 24, частота обертання шпинделя – 12,5...1600 хв–1 , кінець шпинделя 1–6К по ГОСТ 12595–72, найбільший переріз різця різцетримача супорта 25*25 мм, число ступенів подачі: поздовжніх – 22, поперечних – 24, подача на один оберт шпинделя: поздовжніх – 0,05...2,8 мм/об, поперечних – 0,025...1,4 мм/об, потужність електродвигуна – 10 кВт, габарити станка – 2505'1190 мм, категорія ремонтної складності – 19.

2.2 Розрахунок сил закріплення деталі

Для закріплення заготовки використовується зажимний механізм. В зажимних механізмах частіше використовують пневматичні, гідравлічні і змішані типи приводів.

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ЛУ91.05114.001-90ТМ

Лист

2

Пневматичний привід має певний ряд недоліків: перше, повітря зжимаєм і при перемінних навантаженнях пневмопривід не забезпечує достатньої жорсткості закріплення. Друге, цей вид привода розвиває менші зусилля, ніж гідропривід; і по третє, із-за миттєвого пуску пневмопривіда прижим буде різко битись по деталі, цей фактор негативно вплине на заготовку, і також на затисному механізмі, і на умовах праці робочого. В нашому пристосуванні використаємо гідравлічний привід.

Складемо схему затисного механізму

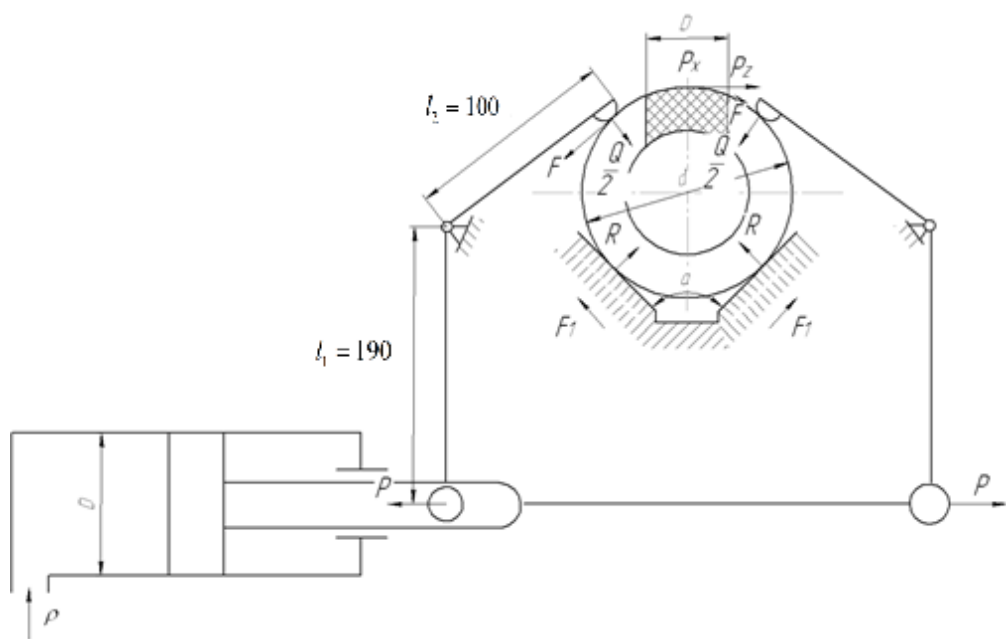


Рисунок 2.1 – Схема затискного механізму

Складемо схему затисного механізму

Необхідну силу закріплення заготовки обраховуємо по формулі:

$$Q = \sqrt{Q_{Pz}^2 + Q_{Px}^2}$$

Де Q_{Pz} – необхідна сила закріплення заготовки при врахуванні сили різання P_z , створююча момент різання;

Q_{Px} – необхідна сила закріплення заготовки при врахуванні сили різання, зміщуючи заготовку в напрямку подачі.

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ЛУ91.05114.001-90ТМ

Лист

2

Силу Q_{Px} и Q_{Pz} знаходимо із умови статичної рівноваги заготовки, що знаходиться під дією моментів сил P_z , P_x , F та F_1 .

$$-\frac{P_z d}{2} + \frac{(2F + 2F_1)d}{2} = 0;$$

$$-P_x + 2(F + F_1) = 0$$

Так як $F = \left(\frac{Q}{2}\right) \operatorname{tg} \varphi$; $F_1 = R \operatorname{tg} \varphi_1$; $R = \frac{Q}{2}$; $\operatorname{tg} \varphi = f$; $\operatorname{tg} \varphi_1 = f_1$, то з урахуванням коефіцієнту запасу:

$$Q_{Pz} = \frac{K_3 P_z}{(f + f_1)}$$

Аналогічно отримаємо

$$Q_{Px} = \frac{K_3 P_x}{(f + f_1)}$$

Повна сила закріплення заготовки:

$$Q = \sqrt{Q_{Pz}^2 + Q_{Px}^2} = \sqrt{\left(\frac{K_3 P_z}{(f + f_1)}\right)^2 + \left(\frac{K_3 P_x}{(f + f_1)}\right)^2}$$

Приймаємо $f = f_1 = 0.18$ – коефіцієнти тертя в місцях контакту заготовки з опорами і затисним механізмом відповідно.

В свою чергу коефіцієнт запаса, уточнюючий нестабільність силових впливів на заготовку, знаходимо по формулі:

$$K_3 = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6$$

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ЛУ91.05114.001-90ТМ

Лист

2

Де K_3 – гарантований коефіцієнт запасу;

$K_0 = 1.5$ – коефіцієнт, уточнюючий вид технологічної бази;

$K_0 = 1$ – коефіцієнт, уточнюючий збільшення сил різання внаслідок затуплення ріжучого інструмента;

$K_0 = 1.3$ – коефіцієнт, уточнюючий переливність різання;

$K_0 = 1.2$ – коефіцієнт, характеризуючий постійність сили розвиненої затисним механізмом.

$K_0 = 1$ – коефіцієнт, характеризуючий ергономіку затисного механізму.

$K_0 = 1$ – коефіцієнт, характеризуючий установку заготовки.

$$K_3 = 1,5 * 1 * 1,3 * 1,2 * 1 * 1 * 1 = 2,34$$

Так як в результаті розрахунку $K_3 < 2.5$, то приймаємо $K_3 = 2.5$

$$Q_{Pz} = \frac{2.5 * 19.2}{0.36} = 133.33H$$

$$Q_{Px} = \frac{2.5 * 16}{0.36} = 111.11H$$

$$Q = \sqrt{133.33^2 + 111.11^2} = 173.56H$$

Із умови статичної рівноваги прихватів $\frac{Q}{2} = Pl_1 / l_2$

Сила силового циліндра, необхідна для закріплення заготовки, дорівнює

$P = 0.25\pi D^2 \rho \eta$, тоді діаметр поршня циліндра D може бути розрахований по формулі:

$$D = \sqrt{\frac{2Ql_2}{\pi \eta \rho l_1}}$$

Обраховуючи це рівняння відносно D , отримуємо:

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ЛУ91.05114.001-90ТМ

Лист

2

$$D = \sqrt{\frac{4Ql_2}{\pi\eta\rho l_1}}$$

Де ρ –робочий тиск масла, приймаємо 1 МПа;

$\eta = 0.9$ – КПД.

Знаходимо діаметр поршня гідроциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 173.56 \cdot 100}{3.14 \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot 190}} = 114 \text{ мм}$$

В якості привода фрезерного пристосування вибираємо гідроциліндр по ГОСТ 19899–74 з діаметром поршня 120 мм.

Т.я. дійсна сила затиску $P = 0.25\pi D^2 \rho \eta = 4646 \text{ Н}$ привишає необхідну силу закріплення $Q = 173.56 \text{ Н}$ заготовки, то розрахунок виконано вірно.

Вихідні дані: оброблюваний матеріал – сталь 40Х: обладнання – токарно–гвинторізний верстат 16К20. інструмент – токарний різець з пластиною із твердого сплаву Т15К6. [22]

Глибина різання: $t = 1.84$ мм; Подача: $S = 1.2$ мм/об, призначаємо за довідниковим даними.

1) Розрахункова швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} K_v$$

де T – період стійкості різця; приймаємо $T = 60$ хв.

t – глибина різання, мм; S – подача, мм/об;

$C_v = 340$; $m = 0.2$; $x = 0.15$; $y = 0.45$ – коефіцієнти, що залежать від типу обробки;

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Lv} \cdot K_{Hv},$$

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ЛУ91.05114.001-90ТМ

Лист

2

Де K_{Mv} – коефіцієнт, враховуючий вплив матеріалу заготовки,

$$K_{Mv} = \left(\frac{750}{\sigma_{\epsilon}} \right)^{nv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{600} \right)^{1.75} = 1.48$$

Де $K_r = 1$; $n_v = 1.75$;

K_{lv} – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні, $K_{lv1} = 0,75$; $K_{lv2} = K_{lv3} = 1$;

K_{lv} – коефіцієнт, враховуючий матеріал інструмента, $K_{lv} = 1$.

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{lv} \cdot K_{lv} = 1,48 \cdot 0,75 \cdot 1 = 1,11$$

Остаточно:

$$V = \frac{340}{60^{0.2} \cdot 1.84^{0.15} \cdot 1.2^{0.45}} \cdot 1.11 = 139.9 \text{ м / хв.}$$

2) Розрахункове значення частоти обертання шпінделя, яке допускається стійкістю різця:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 139.9}{3.14 \cdot 90} = 494.8 \text{ об / хв.}$$

З найближчих наявних на верстаті призначаємо $n_{\phi} = 500 \text{ об / хв.}$

3) Фактична швидкість різання:

$$V_{\phi 2} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3.14 \cdot 90 \cdot 500}{1000} = 141 \text{ м / хв.}$$

4) Хвилинна подача:

$$S_m = S \cdot n = 1,2 \cdot 500 = 600 \text{ мм / хв.}$$

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ЛУ91.05114.001-90ТМ

Лист

2

5) Головна складова сили різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_{\phi}^n \cdot K_p$$

де $C_p=204$, $x=1$, $y=0,75$, $n=0$ – коефіцієнти, що залежать від умов роботи; K_p – поправочний коефіцієнт, що враховує умови різання:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{rp}$$

K_{mp} – коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу;

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{600}{750} \right)^{0.35} = 0.6$$

$K_{\phi p}, K_{\gamma p}, K_{\lambda p}, K_{rp}$ – коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту, $K_{\phi p} = 1, K_{\gamma p} = 1, K_{\lambda p} = 1, K_{rp} = 1.04$;

$$K_p = 0.6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.04 = 0.62$$

$$P_{z1} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_{\phi 1}^n \cdot K_p = 10 \cdot 204 \cdot 1.84^{0.15} \cdot 1.2^{0.45} \cdot 141^0 \cdot 0.62 = 1504 \text{ Н};$$

6) Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1504 \cdot 139.9}{1020 \cdot 60} = 3.44 \text{ кВт},$$

7) Основний час обробки:

$$T_o = \frac{L}{S_m} = \frac{35}{600} = 0.06 \text{ хв.}$$

8) Знаходимо окружну силу при фрезеруванні по формулі:

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ЛУ91.05114.001-90ТМ

Лист

2

$$P_z = \frac{P_{z1}}{D^q \cdot n^w} \cdot K = \frac{1504}{90^{0.86} \cdot 500^0} \cdot 0.93 = 29.18H$$

Величини інших складових сили різання найдем через окружну силу.

Горизонтальна сила (подачі) $P_h = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 29.18 = 11.7H$

Вертикальна сила $P_v = 0.9 \cdot P_z = 0.9 \cdot 29.18 = 26.3H$

Радіальна сила $P_y = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 29.18 = 11,7H$

Осьова сила $P_x = 0,55 \cdot P_z = 0,55 \cdot 29.18 = 16H$ [23]

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

Висновки по розділу машинобудування

У ході виконання розробки технологічного процесу виготовлення гільзи було виконано наступне:

- вибрано спосіб виготовлення заготовки;
- розроблено та оформлено згідно з ГОСТ 3.1105–84, ГОСТ 3.112993 та ГОСТ 3.1130–93 маршрутний та операційний технологічні процеси виготовлення гільзи;
- підібрано моделі металорізальних верстатів, пристроїв та інструментів;
- заповнені: маршрутна карта (МК), операційна карта (ОК) та карта ескізів (КЕ);
- креслення виготовлюємої деталі виконано на аркуші формату

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

Загальні висновки по роботі

У дипломний проект на тему: «Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару» здійснено проектування черв'ячного преса що входить до складу лінії виробництва двошарових полімерних труб.

Дипломний проект включає опис базової конструкції екструзійного агрегата, принцип дії машини, переваги та недоліки, технологічну схему для виготовлення труб з участю екструдера. Також в пояснювальній записці є відомості про охорону праці для нашої конструкції згідно з законодавством.

Поставлена задача модернізації екструзійної голівки була виконана за наступні етапи:

Було проведено детальний патентно–літературний огляд і вивчено різноманітні технологічні рішення та можливості модернізації, було обрано найкращий варіант для проектування.

Були здійснені модернізації екструзійної голівки та лінії в цілому, що призвело до розширення спектру виготовлення продукції та підвищення міцності внутрішнього шару полімерних труб.

Отже, покращений екструзійний агрегат є працездатним і має багато переваг у порівнянні з базовою конструкцією. Модернізація дозволила отримувати вищу якість продукції завдяки заміні екструзійної голівки та додаванню балону з азотом

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

Перелік використаних джерел інформації

1. What are Polymer Coextrusion Processes? URL: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=21596> (дата звернення: 05.04.2023)

2. Why Five Layers is Better Than One in Plastic Pipes URL: <https://polymelt-america.com/why-five-layers-is-better-than-one-in-plastic-pipes/> (дата звернення: 05.04.2023)

3. Plastic Pipe Production Line URL: <https://www.benkextruder.com/pvc-pipe-production-line/> (дата звернення: 06.04.2023)

4. PVC Pipe Extrusion Production Line URL: <https://www.sinotechmachine.com/PVC-Pipe-Extrusion-Production-Line-pd411282.html> (дата звернення: 06.04.2023)

5. Composite Pipe Production Doubled without trouble URL: <https://blog.maillefer.net/-question-the-limits> (дата звернення: 04.04.2023)

6. The production process of double wall corrugated pipe URL: <https://www.parsethylene-kish.com/separsekish/default.aspx?page=Document&app=Documents&docId=12738&docParId=11470> (дата звернення: 06.04.2023)

7. Патент № US20050170122A1 «Multilayer plastic pipe» URL: [https://patents.google.com/patent/US20050170122A1/en?q=\(coextrusion+pipes\)&oq=coextrusion+pipes&page=1](https://patents.google.com/patent/US20050170122A1/en?q=(coextrusion+pipes)&oq=coextrusion+pipes&page=1) (дата звернення: 04.04.2023)

8. Патент № CN107755455 «manufacturing method of two-layer pipe and two-layer pipe» URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN213623655&cid=P21-LEYMJO-55381-1> (дата звернення: 05.04.2023)

9. Патент № AU2006300983A1 «Multilayer tube for transporting water or gas» URL: [https://patents.google.com/patent/AU2006300983A1/en?q=\(coextrusion+pipes\)&oq=coextrusion+pipes&page=1](https://patents.google.com/patent/AU2006300983A1/en?q=(coextrusion+pipes)&oq=coextrusion+pipes&page=1) (дата звернення: 06.04.2023)

10. Патент № US4201532A «Extrusion dies of spiral mandrel type» URL:
<https://patents.google.com/patent/US4201532A/en> (дата звернення:
05.04.2023)
11. 3D simulation and parametric analysis of polymer melt flowing through
spiral mandrel die for pipe extrusion URL:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adv.22171> (дата
звернення: 06.04.2023)
12. Simulation of Extrusion of high density polyethylene tubes
[https://www.researchgate.net/publication/318039407_Simulation_of_Ext
rusion_of_high_density_polyethylene_tubes](https://www.researchgate.net/publication/318039407_Simulation_of_Extrusion_of_high_density_polyethylene_tubes) (дата звернення:
01.05.2023)
13. Патент № US20120305083A1 «Co-extruded oxidation-resistant
polyethylene pipe and method of manufacture»
<https://patents.google.com/patent/US20120305083> (дата звернення:
05.04.2023)
14. The special design of extrusion head for manufacturing of polymer pipes
with increased mechanical strength URL:
[https://www.researchgate.net/publication/279036395_The_special_desig
n_of_extrusion_head_for_manufacturing_of_polymer_pipes_with_increa
sed_mechanical_strength](https://www.researchgate.net/publication/279036395_The_special_design_of_extrusion_head_for_manufacturing_of_polymer_pipes_with_increased_mechanical_strength) (дата звернення: 03.05.2023)
15. The Plastics Pipe Institute Handbook of Polyethylene Pipe URL:
[https://usfusion.com/wp-content/uploads/2021/07/USF-The-Plastics-
Pipe-Institute-Handbook-Polyethylene-Pipe.pdf](https://usfusion.com/wp-content/uploads/2021/07/USF-The-Plastics-Pipe-Institute-Handbook-Polyethylene-Pipe.pdf) (дата звернення:
15.05.2023)
16. Технологічні та енергетичні розрахунки при переробці полімерів
екструзією Ю.І. Литвинець ст. 8-50.
17. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів І. О. Мікульонок
О. Л. Сокольський В. І. Сівецький Л. Б. Радченко ст.56-75
18. Розрахунок та конструювання обладнання для виробництва та
переробки полімерних матеріалів. І.І. Басов, Ю.В. Казанков, В.А.
Любартович.

Змін.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

Л/У91.05114.001-90Т/Л

Лист

2

19. Load transfer and deformation mechanisms in carbon nanotube-polystyrene composites URL: <https://pubs.aip.org/aip/apl/article-abstract/76/20/2868/1023173/Load-transfer-and-deformation-mechanisms-in-carbon?redirectedFrom=fulltext> (дата звернення: 10.06.2023)
20. Деталі машин курс лекцій URL: http://www.dgma.donetsk.ua/metod/opm/dm_detali_mashin/%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%20%D0%94%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%20%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD.pdf (дата звернення: 12.06.2023)
21. Технологія конструкційних матеріалів URL: <http://repository.vsau.org/getfile.php/1551.pdf> (дата звернення: 05.06.2023)
22. Деталі машин UR: http://vpus.kl.com.ua/wp-content/uploads/2020/03/%D0%94%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%B%D1%96-%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD-by-%D0%86.%D0%86.-%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B5%D0%BB%D1%8C-z-lib.org_.pdf (дата звернення: 07.05.2023)
23. Технологія конструкційних матеріалів: обробка металевих виробів різанням https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41343/1/TKM_Obrobka-metal-vyrob-rizanniam_Praktykum.pdf URL: (дата звернення: 03.05.2023)
24. Сівецький В.І., Щербина В.Ю., Гондляр О.В. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Лінії для виготовлення листових і профільних полімерних виробів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 113 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732> (дата звернення: 03.05.2023)

ДОДАТКИ
до дипломного проекту
на тему: «Екструдер для виробництва двошарових
полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього
наномодифікованого шару»

Київ – 2023 року

Таблиця розглянутих патентів

№ п/п	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, організація, автор	Мета заявленого технологічного рішення та ціль його створення
1	Багатошарова пластикова труба (Multilayer plastic pipe)	№US20050170122А, Сполучені Штати Америки (USA)	Мета даного винаходу полягає в поліпшенні конструкції пластикової труби шляхом використання багатошарової структури. Данна структура дозволяє поєднувати різні матеріали та властивості для отримання покращеної функціональності труби. Багатошарова пластикова труба може мати внутрішній шар з одного матеріалу, зовнішній шар з іншого матеріалу та проміжні шари для підсилення структури та запобігання проникненню речовин. Цей винахід може мати застосування в різних галузях, де потрібна міцна, стійка до корозії, такі як водопостачання, газопостачання, каналізація та інші.
2	Метод виготовлення двошарової труби та двошарова труба (Manufacturing method of two-layer pipe and two-layer pipe)	№ CN107755455, Китай (CN)	Мета цього винаходу полягає в покращенні методу виготовлення двошарової труби, котра має кращі характеристики стійкості та міцності. Метод включає формування внутрішнього шару труби з одного матеріалу та нанесення зовнішнього шару з іншого матеріалу. Для забезпечення міцності та адгезії між шарами, проміжний шар може бути застосований між внутрішнім та зовнішнім шарами. Така двошарова конструкція труби дозволяє поєднувати різні властивості матеріалів для досягнення оптимальних характеристик, наприклад, міцність, стійкість до корозії, термічна стабільність тощо. Винахід може застосовуватися у виробництві труб для різних галузей, включаючи водопостачання, газопостачання, трубопроводи для транспортування

			рідин та газів, інженерні системи та інші.
3	Багатошарова труба для транспортування води або газу (Multilayer tube for transporting water or gas)	№ AU2006300983A1, Австралія (AU)	Мета цього винаходу полягає в розробці багатошарової труби для ефективного транспортування води або газу з покращеними характеристиками. Труба складається з кількох шарів, кожен з котрих виконує певну функцію. Наприклад, внутрішній шар може бути виготовлений з матеріалу, що забезпечує стійкість до корозії або забруднень, тоді як зовнішній шар може бути більш міцним та стійким до зовнішніх впливів. Проміжні шари можуть бути використані для підсилення структури та покращення адгезії між шарами. Багатошарова конструкція труби дозволяє поєднувати різні властивості матеріалів для отримання оптимальної функціональності та довговічності. Винахід може застосовуватися у водопостачанні, газопостачанні, системах опалення, промислових процесах та інших галузях, де вимагається надійний транспорт рідин або газів.
4	Екструзійні матриці типу спіральний мандриль (Extrusion dies of spiral mandrel type)	№ US4201532A, Сполучені Штати Америки (USA)	Мета винаходу полягає в поліпшенні конструкції екструзійних матриць типу спіральний мандриль для полімерного екструзійного процесу. Екструзійні матриці використовуються для формування полімерних матеріалів в певну форму, таку як труби, профілі, плити тощо. Винахід пропонує вдосконалену конструкцію спірального мандриля, котра дозволяє забезпечити більш рівномірний та контрольований потік полімерної суміші під час екструзії. Це сприяє отриманню високоякісних кінцевих продуктів з кращою точністю розмірів та поверхневою якістю. Винахід може мати широке коло застосування в полімерній промисловості для виготовлення різних видів продуктів з полімерів шляхом екструзії.

5	Співекстурдована труба з окисостійкого поліетилену та спосіб її виготовлення (Co-extruded oxidation-resistant polyethylene pipe and method of manufacture)	№ S20120305083A1 Сполучені Штати Америки (USA)	Мета винаходу полягає в розробці співекстурдованої труби з поліетилену, котра має високу стійкість до окиснення та довговічність. Винахід описує метод виготовлення такої труби шляхом одночасного екструзійного формування двох шарів: внутрішнього шару з окисостійкого поліетилену та зовнішнього шару з іншого матеріалу. Використання окисостійкого поліетилену у внутрішньому шарі дозволяє забезпечити високу стійкість труби до окиснення, у той час як зовнішній шар може мати інші властивості, наприклад, витримку до механічних навантажень або стійкість до впливу середовища. Данна конструкція труби забезпечує її ефективне використання у системах водопостачання, каналізації, газопостачання та інших галузях, де важлива стійкість до окиснення та довговічність.
6	Багатошарова пластикова труба з бар'єрним шаром (Multilayer plastic pipe with a barrier layer)	№US6626222B1 Сполучені Штати Америки (USA)	Мета цього винаходу полягає в розробці багатошарової пластикової труби з бар'єрним шаром, котра має поліпшену стійкість до проникнення рідин, газів або інших речовин через стінки труби. Винахід описує конструкцію труби, яка складається з декількох шарів полімерних матеріалів, при цьому один з шарів є бар'єрним і має високу проникність до речовин. Ця конструкція труби дозволяє знизити ризик проникнення шкідливих речовин, забруднень або втрати речовини з трубопроводу. Використання бар'єрного шару допомагає забезпечити високу ефективність труби та зберегти якість транспортованих речовин. Винахід може застосовуватися у різних галузях, таких як водопостачання, каналізація, нафтогазова промисловість та інші, де вимагається надійний і стійкий трубопровід для транспортування речовин.

7	Багатошарова труба з покращеною стійкістю до термічного старіння та підвищеною зварюваністю (Multilayer pipe having improved resistance to thermal aging and enhanced weldability)	№EP1681303B1 Європейський патент (EP)	Мета даного винаходу полягає в розробці багатошарової труби, яка має покращену стійкість до термічного старіння і підвищену зварюваність. Винахід описує конструкцію труби, котра складається з декількох шарів полімерних матеріалів з різною структурою та складом. Данна комбінація шарів дозволяє забезпечити покращену стійкість труби до високих температур і термічного впливу, зокрема, до термічного старіння. Також, винахід описує метод зварювання такої труби, який забезпечує високу якість зварних з'єднань і підвищену зварюваність. Така конструкція дозволяють використовувати трубу у вимогливих умовах, де важлива стійкість до термічного впливу і надійні з'єднання. Застосування данної труби може бути корисним у різних галузях, включаючи системи опалення, охолодження, гарячого та холодного водопостачання, газопостачання та інші, де потрібні стійкі трубопроводи з покращеними властивостями.
---	--	---------------------------------------	---

Лістинг програми розрахунку

```
PROGRAM ExtruderCalculation
  IMPLICIT NONE

  INTEGER :: numLayers, i
  REAL :: layerHeight, totalHeight

  ! Введення даних
  WRITE(*,*) 'Введіть кількість шарів екструзії:'
  READ(*,*) numLayers

  WRITE(*,*) 'Введіть висоту кожного шару (в мм):'

  ! Розрахунок
  totalHeight = 0.0

  DO i = 1, numLayers
    WRITE(*,*) 'Шар', i, ':'
    READ(*,*) layerHeight

    totalHeight = totalHeight + layerHeight
  END DO

  ! Вивід результатів
  WRITE(*,*) 'Загальна висота:', totalHeight, ' мм'

END PROGRAM ExtruderCalculation
```

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПЕЦИФІКАЦІЇ
до дипломного проекту
на тему: «Екструдер для виробництва двошарових
полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього
наномодифікованого шару»

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №		A1				Документація		
						Екструдер односторонній	1	
						Складальні одиниці		
				1		Станина	1	
				2		Циліндр	1	
				3		Корпус завантажувальної воронки	1	
				4		Вузел упорного підшипника	1	
				5		Кожух	1	
				6		Фланець	1	
				7		Система охолодження черв'яка	1	
Підп. і дата						Стандартні вироби		
				8		Редуктор	1	
				9		Електродвигун	1	
				10		Вентилятор	1	
						БОЛТ ГОСТ 7798-70		
				11		2М14х1,25-6дх60.109.40Х	12	
				12		2М12х1-6дх80.109.40Х	14	
				13		2М10х1-8дх60.109.40Х	16	
				14		2М10х1-6дх80.109.40Х	12	
				15		2М8х1-8дх80.109.40Х	10	
Взам. инв. №				16		2М8х1-6дх60.109.40Х	24	
				17		2М14х1,25-6дх80.109.40Х	11	
Підп. і дата			ЛУ91.05114.002-90СП					
			Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
			Разраб.	Гурін Р.С.				
			Пров.	Чемерис А.О.				
Инв. № подл.			Екструдер для виробництва двохарових полімерних труб з дослідженням міцності внутрішнього наномодифікованого шару					
			Лит.	Лист	Листов			
					1			
			Нконтр.					
	Утв.	Чемерис А.О.						

Копіював

Формат А4

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №		A1				Документація		
						Складальне креслення	1	
						Складальні одиниці		
		A4		1		Нагрівник 205 L= 40	1	
		A4		2		Нагрівник 320 L= 40	1	
		A4		3		Нагрівник 320 L= 50	1	
		A4		4		Нагрівник 260 L= 70	1	
		A4		5		Нагрівник 236 L= 70	1	
		A4		6		Нагрівник 130 L= 115	1	
		A4		7		Нагрівник 90 L= 55	1	
Подп. и дата		A4		8		Нагрівник 120 L= 40	2	
Взам. инв. №						Деталі		
		A4		12		Рим болт M16	1	
		A4						
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
					ЛУ91.05114.003-90СП			
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	Дата			
Разраб.		Гурін Р.С.				Головка для соекструзії двошарової полімерної труби		
Проб.		Чемерис А.О.						
Н.контр.						КПІ ім Ігоря Сікорського		
Утв.		Чемерис А.О.						

Копіював

Формат А4

[illegible]

Копировал

Формат А4

A4

Особисті досягнення

ХІІІ Всеукраїнська конференція «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»

УДК 621.793.92:678.028

Екструдер для виробництва двошарових полімерних труб з наномодифікованим внутрішнім шаром

Гурін Р.С.; Гондлях О.В., проф., д.т.н.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Наведено результати дослідження вдосконаленої голівки для виготовлення двошарової полімерної труби з внутрішнім наномодифікованим шаром з підвищеною стійкістю до внутрішнього тиску.

Вступ. Соекструзія двошарових полімерних труб – це процес виготовлення труб, який використовується в різних галузях промисловості. Ця новітня технологія дозволяє створювати труби з декількома шарами полімерних матеріалів, кожен з яких має різні властивості. Також до кожного шару можуть додаватись різні нанододатки для покращення міцності, стійкості до агресивних середовищ, тощо. Крім того, соекструзія двошарових полімерних труб має переваги з точки зору технології виробництва. Цей процес є високоефективним і економічним, оскільки дозволяє виготовляти труби за один виробничий цикл без використання додаткових сполучних елементів. Це знижує матеріальні та трудові витрати, а також забезпечує високу якість і надійність кінцевого продукту. Також, цей процес дозволяє отримати якісні зварні з'єднання між шарами труб. Використовувані полімерні матеріали плавляться і добре зчіплюються під впливом тиску і температури, забезпечуючи міцне і повітронепроникне з'єднання без необхідності використання додаткових клеїв або зварювання. Завдяки можливості поєднання різних матеріалів і їх властивостей, можна виготовляти труби з різними діаметрами, формами і функціональними властивостями [1].

У цьому дослідженні було впроваджене та досліджене інноваційне рішення для двошарової екструзійної голівки. Головним елементом цієї інновації є конічне ядро конічної насадки та котушки на поверхнях цих частин, які зсуваються одне відносно одного. Завдяки цій геометрії виникає гелікоїдальний рух полімеру, що призводить до орієнтації макромолекул вздовж гелікоїдального шляху. Це створює тангенціальні напруження всередині матеріалу. Ці напруження збільшують міцність труби при внутрішньому тиску [2–3].

На рис. 1 зображено 3D модель досліджуваної екструзійної голівки зі зміненим каналом внутрішнього шару.

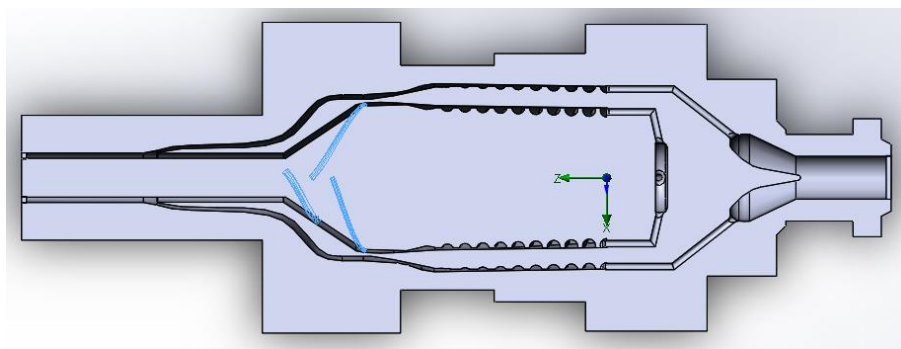


Рисунок 1 – Екструзійна головка зі зміненим каналом внутрішнього шару

На рис. 2 показано теоретичний розподіл тиску досліджуваної екструзійної голівки зі зміненим каналом внутрішнього шару.

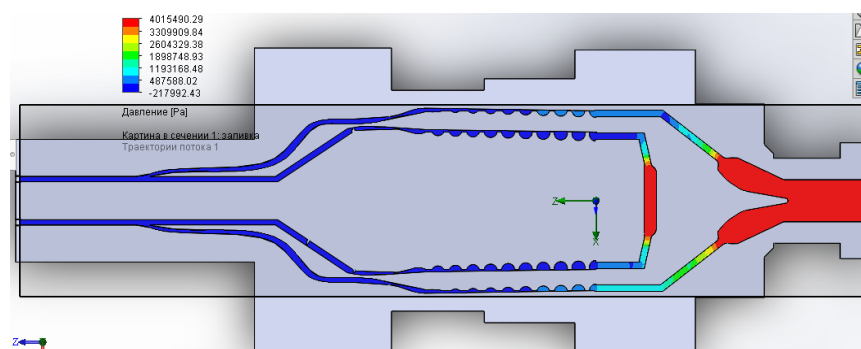


Рисунок 2 – Розподіл тиску вздовж екструзійної голівки зі зміненим каналом внутрішнього шару

На рис. 3 зображено траєкторію розплавленого потоку полімеру, яка була розрахована теоретично для досліджуваної екструзійної голівки зі зміненим каналом внутрішнього шару.

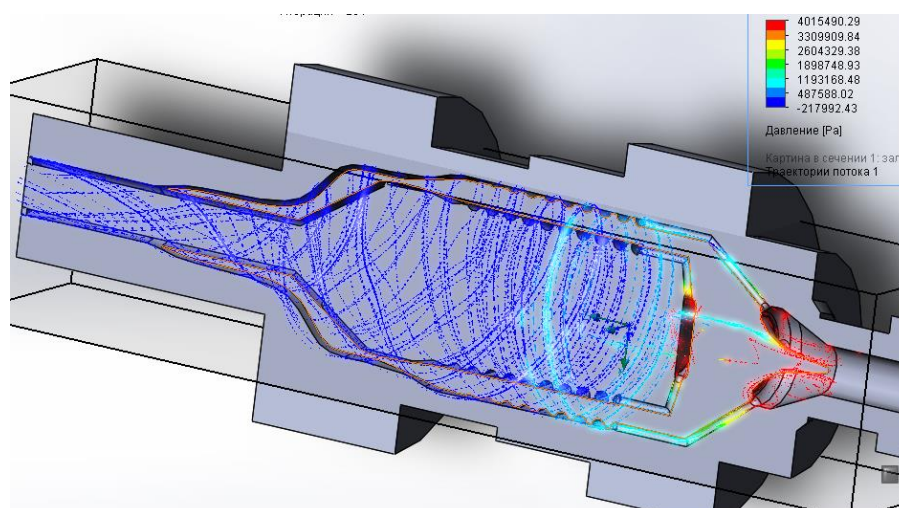


Рисунок 3 – Траєкторія потоку руху полімеру у голівці

Висновки. Запропонований дизайн голівки для соекструзії полімерних труб з внутрішнім наномодифікованим шаром є ефективним і простим методом для виробництва високоякісних полімерних труб, які мають підвищену стійкість до внутрішнього тиску. Для виробництва полімерних труб таким методом варто звернути увагу на вибір матеріалів. Деякі полімери, в тому числі і наномодифіковані можуть показувати кращі результати при виготовленні труб згідно запропонованого дизайну, що призводить до ще більшого підвищення міцності труб відносно експлуатаційного внутрішнього тиску. Окрім вибору

матеріалу, важливо також звернути увагу на процес виготовлення полімерних труб з наномодифікованими внутрішніми шарами. Належна оптимізація параметрів соекструзії, таких як температура, швидкість і тиск, може вплинути на якість і механічні властивості отриманих труб.

Перелік посилань

1. What You Need to Know to Get into Coextrusion URL: <https://www.ptonline.com/articles/what-you-need-to-know-to-get-into-coextrusion> (дата звернення: 11.05.2023)
2. 3D simulation and parametric analysis of polymer melt flowing through spiral mandrel die for pipe extrusion URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adv.22171> (дата звернення: 15.05.2023)
3. The special design of extrusion head for manufacturing of polymer pipes with increased mechanical strength URL: https://www.researchgate.net/publication/279036395_The_special_design_of_extrusion_head_for_manufacturing_of_polymer_pipes_with_increased_mechanical_strength (дата звернення: 13.05.2023)

XIII Всеукраїнська конференція «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»

УДК 678.026.82:621.926.3

Вплив висоти гвинтового каналу у зоні дозування на робочу характеристику екструдера

Гурін Р.С., Гондях О.В., проф., д.т.н.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Показана залежність характеристики екструдера від висоти гвинтового каналу у зоні дозування екструдера.

Вступ. Екструдери є найбільш розповсюдженим обладнанням для виробництва полімерних виробів, які широко застосовуються в харчових, будівельних та фармацевтичних галузях промисловості. Робоча характеристика екструдерів грає важливу роль у оптимізації виробничого процесу. Одним з ключових параметрів, який значним чином впливає на цю характеристику є висота гвинтового каналу екструдера. Висота гвинтового каналу визначає витрату та швидкість пересування матеріалу в екструдері, що впливає на продуктивність та якість процесу екструзії [1–2].

У цьому дослідженні представлений новий підхід до аналізу процесу екструзії, в основу якого лягла взаємодія висоти гвинтового каналу у зоні дозування з іншими параметрами екструдера. А також аналіз кута нахилу лінії характеристики екструдера без урахування частоти обертання черв'яка.

На рис.1 зображена загальна схема екструдера. Екструдер складається з рами 1, приводного пристрою 2, бункера 3, черв'яка 4 та вентиляторів 5.

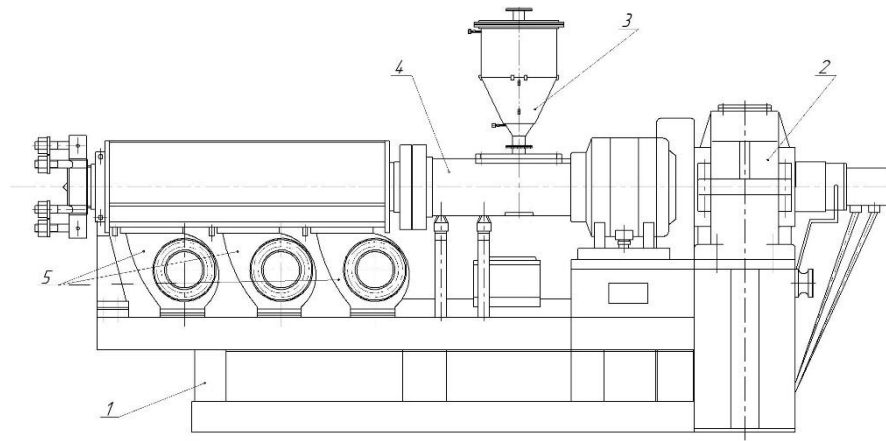


Рисунок 1 – Загальна схема екструдера

Максимальна продуктивність екструдера (в $\text{м}^3/\text{год}$) та максимальний тиск (в МПа) на кінці екструдера можна визначити за залежностями [2–3]:

$$Q_{\max} = \frac{\pi^2 D^2 h N \sin(\alpha) \cos(\alpha)}{2}$$

$$P_{\max} = \frac{6\pi\mu_a L D N}{h^2 \tan(\alpha)},$$

де D – діаметр шнека (м), h – висота каналу у зоні дозування (м), N – частота обертання черв'яка (об/хв), α – кут підйому гвинтової лінії нарізки (градусів), μ_a – ефективна в'язкість розплаву полімеру ($\text{Па}\cdot\text{с}$).

Звідки можна визначити кут нахилу лінії характеристики екструдера:

$$\tan(\gamma) = \frac{Q_{\max}}{P_{\max}} = \frac{\pi D h^3 \sin^2 \alpha}{12 \mu_a L}$$

На рис. 2 зображено теоретичний розрахунок залежності кривих продуктивності Q , $\text{м}^3/\text{год}$, від тиску P , МПа, за наведеними вище формулами, коли висота гвинтового каналу у зоні дозування h складає (0.028, 0.03 і 0.032) м, для тиску P від 0 до 56 МПа, при $D = 0.09$ м, $N = 65$ об/хв, $\alpha = 17.6^\circ$, $\mu_a = 1380.4 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

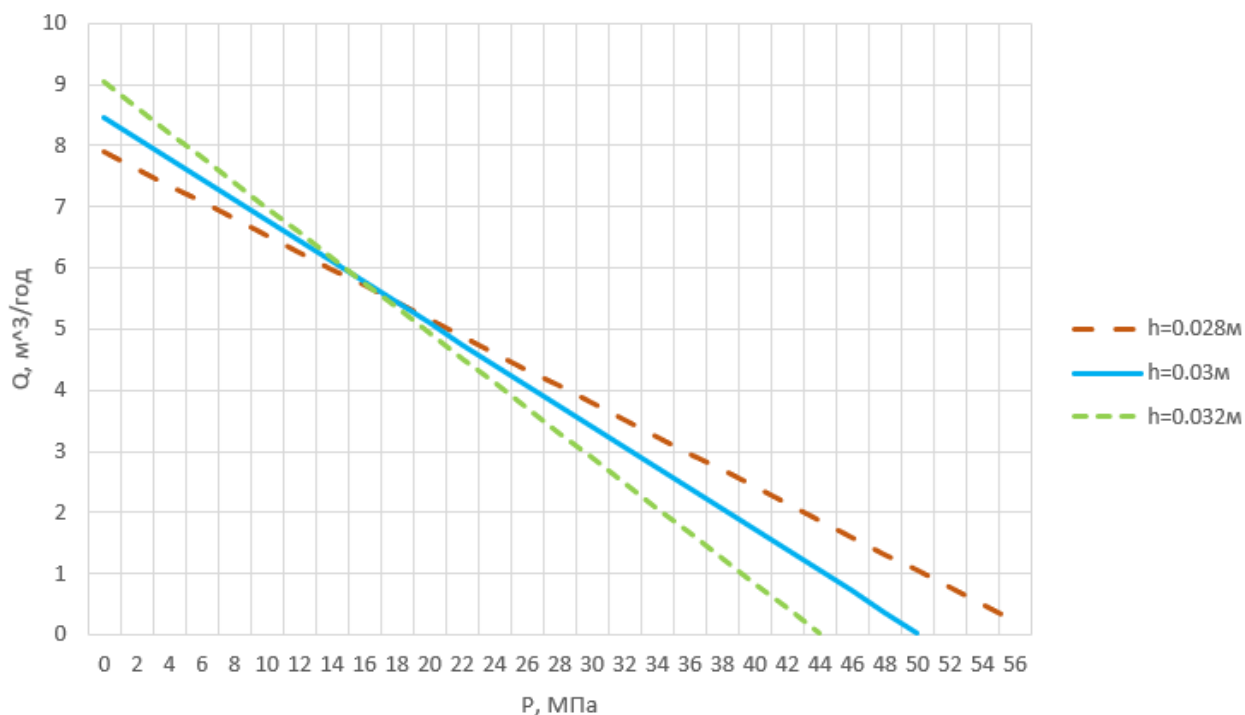


Рисунок 2 – Залежність продуктивності $Q, \text{ м}^3/\text{год}$ від тиску $P, \text{ МПа}$

Висновки. Як і очікувалось, якщо висота гвинтового каналу шнека h в зоні дозування є великою ($h_3 > h_2 > h_1$), то крива має стрімкий нахил, тобто шнек буде чутливим до опору голівки. Якщо глибина каналу невелика, крива має невеликий нахил. При збільшенні висоти гвинтового каналу разом з продуктивністю зростає й опір, який створює матеріал, що проходить через нього. Це призводить до збільшення тиску на кінці шнека, що може спричинити негативний вплив на роботу екструдера та кінцевий продукт. Отже, для досягнення найкращих результатів, необхідно дотримуватися оптимальних значень висоти гвинтового каналу екструдера.

Перелік посилань

1. Екструзія і екструдери URL: <https://intmax.com.ua/zastosuvannya/extruders-1.html> (дата звернення: 01.05.2023)
2. Walter M. Extrusion dies for plastics and rubber URL: <http://www.download.polympart.ir/polympart/ebook/Extrusion-Dies-for-Plastics-and-Rubber.pdf> (дата звернення: 04.05.2023)
3. Мікульонок І. О., Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Радченко Л. Б. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів, Київ, НТУУ «КПІ», 2015.