

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **О.Л.Сокольський**
«_____» _____ 2023 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 133 – *галузеве машинобудування*

на тему: Агрегат для виробництва багатошарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу

Студент групи IV к. ЛПІ-93
(шифр групи)

Безверхий Ігор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проекту:

доктор технічних наук, професор, Гондлях Олександр Володимирович

(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЯ _____ **В.Ю. Щербина**

ТЕХ.МАШ. _____ **С.О. Борщик**

ОХОРОНА ПРАЦІ _____ **А.І. Ковтун**

РЕЦЕНЗЕНТ _____

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

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 – *133 Галузеве машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **О.Л.Сокольський**

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Безверхому Ігорю Олександровичу

1. Тема проекту «Агрегат для виробництва багат шарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу», керівник проекту Гондляр Олександр Володимирович, д.т.н, професор, затверджені наказом по університету від «26.05» 2023 р. №2024-с
2. Термін подання студентом проекту 12.06.2021р.
3. Вихідні дані до проекту: Діаметр черв'яка - 45 мм, відношення довжини черв'яка до діаметра - 25 мм, матеріал – ПЕВГ, ширина листа – 1000 мм, товщина листа – 0,5 мм.
4. Зміст пояснювальної записки: Реферат. Перелік позначень. Розділ I «Пояснювальна записка». Розділ II «Розрахунки». Розділ III «Технологія машинобудування». Загальні висновки. Перелік використаних джерел інформації.
5. Перелік графічного матеріалу: Лінія для виготовлення плоскої плівки – формат A1, Екструдер 45x25 – формат A1, Тришарова плоскощілинна головка екструдера – формат A1, Пневматичні лещата – формат A1, Плакат розрахунків в середовищі Argox – формат A1.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЯ	Щербина В.Ю.		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	Борщик С.О.		
ОХОРОНА ПРАЦІ	Ковтун А.І.		

Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Літературно – патентний огляд	3.05.2023	
2.	Виконання параметричних розрахунків	6.05.2023	
3.	Виконання креслень загального виду	9.05.2023	
4.	Виконання креслення технологічної лінії	12.05.2023	
5.	Виконання розрахунків на міцність	15.05.2023	
7.	Виконання креслення вузла	18.05.2023	
8.	Виконання плакату результатів розрахунку	28.05.2023	
9.	Виконання розділу ТМ	2.06.2023	
10.	Виконання розділу ОП	6.06.2023	
11.	Загальні висновки по ДП	10.06.2023	

Студент

І.О. Безверхий

Керівник проекту

О.В. Гондлях

Зміст текстової частини дипломного проекту

Реферат (українська мова).....	1
Реферат (англійська мова).....	1
Перелік умовних позначень	1
Пояснювальна записка	36
Розділ «Розрахунки»	32
Розділ «Технологія машинобудування»	11
Загальні висновки.....	1
Перелік використаних джерел інформації	7
Додатки	12

					ЛП93.027246.01 - 70ПЗ											
Змн	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Агрегат для виробництва багаточарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу					Лім		Аркуш	Аркушів			
Розроб	Безверхий І.О.													4	102	
Перевір.	Гондлях О.В.															
Н. Контр.														НТУУ «КПІ ім.І.Сікорського», ІХФ		
Затверд.	Гондлях О.В.															

Реферат

Дипломний проєкт бакалавра за темою: «Агрегат для виробництва багатошарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу». Виконавець – студент групи ЛП-93, Безверхий І.О., керівник – доктор технічних наук, професор, Гондляр О.В.

Дипломний проєкт містить текстову і графічну частини. Текстова частина має 3 розділи і 3 додатки, загальний обсяг – 109 сторінок, 36 ілюстрацій, 4 таблиці, 38 джерел посилань. Графічна частина містить 6 креслень (загальний обсяг – 4 аркуші креслень формату А1, 2 плакати з результатами розрахунків).

Мета виконання дипломного проєкту - розробка, проєктування та дослідження впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу, також огляд агрегату для виготовлення багатошарових плівок та технологічної лінії, проведення літературного та патентного огляду за темою багатошарових плівок та їхнє виготовлення з наномодифікуванням одного із шарів полімеру, щоб зрозуміти сучасне ставлення до цього науковців та дослідників.

Агрегатом виступає екструдер на базі ЧП 45х25, але в кількості трьох одиниць для утворення трьох шарів у одну спільну тришарову плоскошліпну головку. Технологічна лінія складається з екструдера з багатошаровою плоскошліпною (в цьому випадку тришаровою) головою, каландра, охолоджувального пристрою, тягнучих валків, та намотувального пристрою. Проведені параметричні розрахунки екструдера, розрахунки черв'яка, що підтверджують надійність та працездатність машини.

ЕКСТРУДЕР, ЧЕРВ'ЯЧНИЙ ПРЕС, СПІВЕКСТРУЗІЙНА ГОЛОВКА,
КОЕКСТРУЗІЯ, БАГАТОШАРОВІ ПЛІВКИ, АГРЕГАТ,
НАНОМОДИФІКАЦІЯ.

The abstract

Bachelor's degree project on the topic: "Unit for the production of multilayer films with the study of the influence of the level of polymer nanomodification on the strength of the final product". Performer - student of group LP-93, I.O. Bezverkhyi, supervisor - Doctor of Technical Sciences, Professor, O.V. Gondliakh.

The diploma project contains text and graphic parts. The text part has 3 chapters and 3 appendices, the total volume is 109 pages, 36 illustrations, 4 tables, 38 sources of references. The graphic part contains 6 drawings (total volume of 4 sheets of A1 drawings, 2 poster with the results of calculations).

The purpose of the diploma project is to develop, design, and study the effect of the level of polymer nanomodification on the strength of the final product, as well as to review the unit for the manufacture of multilayer films and the production line, conduct a literature and patent review on the topic of multilayer films and their manufacture with nanomodification of one of the polymer layers to understand the current attitude of scientists and researchers to this issue.

The unit is an extruder based on a WP 45x25, but in the amount of three pieces to form three layers in one common three-layer flat-slot head. The technological line consists of an extruder with a multilayer flat-slot (in this case, three-layer) head, a calender, a cooling device, pulling rolls, and a winding device. Parametric calculations of the extruder and worm calculations were carried out, confirming the reliability and efficiency of the machine.

EXTRUDER, WORM PRESS, CO-EXTRUSION HEAD, CO-EXTRUSION, MULTILAYER FILMS, UNIT, NANOMODIFICATION.

Перелік умовних позначень

Умовні позначення:

D, d – діаметри, м;

I – полярний момент інерції, м^4 ;

i – радіус інерції, м.

K – коефіцієнт геометричної форми, мм^3 ;

n – запас міцності;

P – тиск, Па;

Q – об'ємна секундна продуктивність, $\text{мм}^3/\text{с}$;

γ – швидкість зсуву, с^{-1} ;

δ – товщина каналу для коефіцієнту геометричної форми, мм;

η – коефіцієнт корисної дії;

μ – в'язкість, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

ρ – густина, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Π – вагова продуктивність, $\text{кг}/\text{год}$.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
за темою: «Агрегат для виробництва багатошарових
плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації
полімеру на міцність кінцевого виробу»

Київ – 2023 року

Зміст

Вступ.....	2
1. Призначення та галузь застосування агрегату для виготовлення багатошарових плівок.....	3
2. Технічна характеристика базового обладнання.....	5
3. Опис конструкції екструдера, його основних частин та принципу дії.....	6
4. Літературний та патентний огляд, вибір напрямку дослідження	9
5. Охорона праці	29
5.1 Повітря робочої зони	29
5.2 Промислове освітлення	31
5.3 Пожежна безпека.....	31
5.4 Електробезпека.....	32
5.5 Безпека від впливу частин, що рухаються або обертаються.....	33
5.6 Виробничий шум.....	34
6. Очікувані механіко-економічні показники.....	35
Висновки	36

					<i>ЛП93.027246.01-70ПЗ</i>		
Змн.	Лист	№ докум	Підпис	Дата			
Разроб.		Безверхий І.О.			Агрегат для виробництва багатошарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу	Літ.	Аркуш
Перевір.		Гондляр О.В.					1
							36
Н. Контр.						НТУУ «КПІ ім.І.Сікорського», ІХФ	
Затверд.		Гондляр О.В.					

Вступ

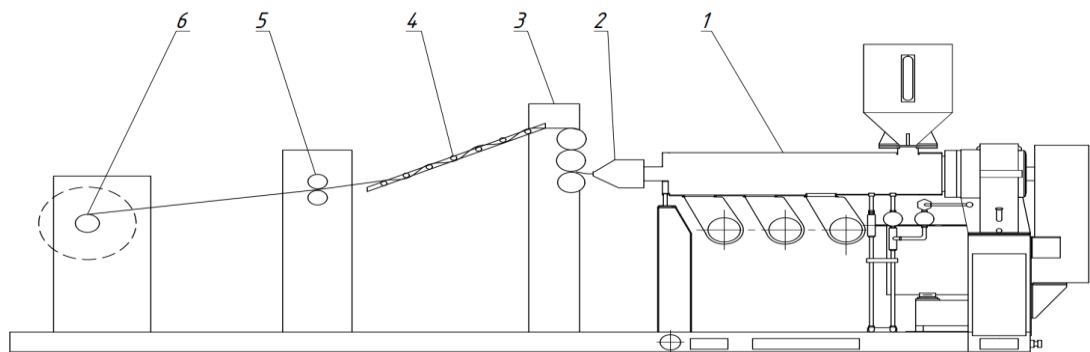
У сучасні часи потрібні сучасні рішення стосовно полімерних плівок. Щоби покращити міцність отриманої плівки, її роблять багатошаровим способом, коли матеріал одного полімеру накладається шаром на інший. Таким способом багатошарові плівки утворюються від двох шарів і можуть досягати такої кількості, скільки екструдерів можна буде помістити в одній технологічній лінії та підприємстві. Але дослідження не стоять на місці та рухаються в бік модифікації полімерів на нанорівні, щоб вплинути на певні властивості багатошарової плівки, як-от міцність.

На жаль, в Україні тема виготовлення багатошарових плівок та наномодифікування полімеру не є настільки актуальною, бо пошуки в Інтернеті не надають матеріали, як наші українські дослідники та науковці виконують якісь досліді, роблять патенти, намагаються просунути ідею багатошарових плівок. Проте іноземні дослідники з країн Європи, Азії, Америки, а найбільше саме китайські, у всі боки розглядають та досліджують співекструзію декількох матеріалів в одну багатошарову плівку, наномодифікацію полімерів та їх використання.

Надалі будуть представлені літературний та патентний огляд за темою багатошарових плівок, як загальне явище, і за темою наномодифікування полімеру та використання його в багатошарових плівках, вплив його рівня на фізичні властивості плівки, а саме на міцність кінцевого виробу.

1. Призначення та галузь застосування агрегату для виготовлення багат шарових плівок

Виготовлення плівки може бути виконана екструзійно-каландровим методом, коли екструдер робить матеріал розпаленим та плоским, а каландр та подальші пристрої роблять плівку плоскою, охолодженою та з уточненою структурою. Нижче представлена технологічна лінія виготовлення плоских плівок одним екструдером, але до однієї головки через адаптери чи/та живильні блоки можна підключити ще декілька машин, щоб створити багат шарову плівку. Технологічна лінія не зазнає змін та залишиться такою, змінюється кількість підключених екструдерів.



1 – екструдер, 2 – плоскощілинна головка, 3 – каландр, 4 – охолоджувальний пристрій, 5 – тягучі валки, 6 – намотувальний пристрій

Рис. 1.1 – Технологічна лінія виготовлення плоских плівок

Подібна схема, де підключені три екструдери до однієї багат шарової плоскощілинної головки для співекструзії три шарової плівки, показана нижче.

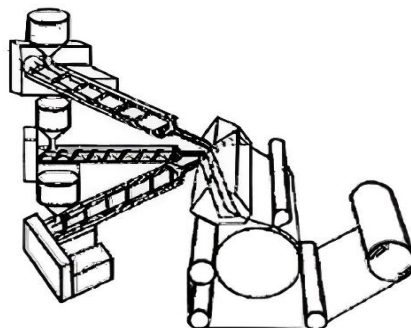


Рис. 1.2 – Спрощена схема подібної технологічної лінії при підключенні трьох екструдерів для співекструзії

Агрегатом в цій курсовій роботі виступає екструдер на базі черв'ячного пресу 45х25. Екструдер потрібен для надання потрібної форми пластичним матеріалам продавлюванням через екструзійну головку. Для багат шарових плівок потрібне використання одразу декількох екструдерів, що підключені до однієї плоскощілинної головки, де утворюються кілька шарів.

Багат шарові плівки виготовляють для того, щоб зміцнити плівку, оскільки один шар може не мати потрібну міцність. Можливі варіанти створення таких плівок можуть бути, як і створення багатьох шарів з одного і того самого матеріалу, так і різного або використання однакових зовнішніх та іншого внутрішнього й навпаки.

На рис. 1.1 ми бачимо, що утворена плоска однорідна плівка з екструдера 1 через плоскощілинну головку 2 відправляється під валки тривалкового каландра 3, де під силою валків надається структурованість плівці, потім після каландра плівка проходить охолодження на охолоджувальному пристрої 4, цю плівку тягнуть за собою тягнучі валки 5 і намотується вона на намотувальний пристрій 6.

На рис. 1.2 наведена подібна технологічна лінія з іншого боку, але сенс та технологічна лінія з рис 1.1 залишаються той самий, єдина відмінність – кількість екструдерів та утворення плоскої багат шарової плівки.

2. Технічна характеристика базового обладнання

Важливою складовою є інформація про технічні характеристики використаного апарата, бо саме за ними порівнюють з іншими пристроями для подальшого обґрунтованого вибору задля певних цілей. Основні з них вказані в таблиці 2.1.

Основні технічні характеристики черв'ячного преса 45х25

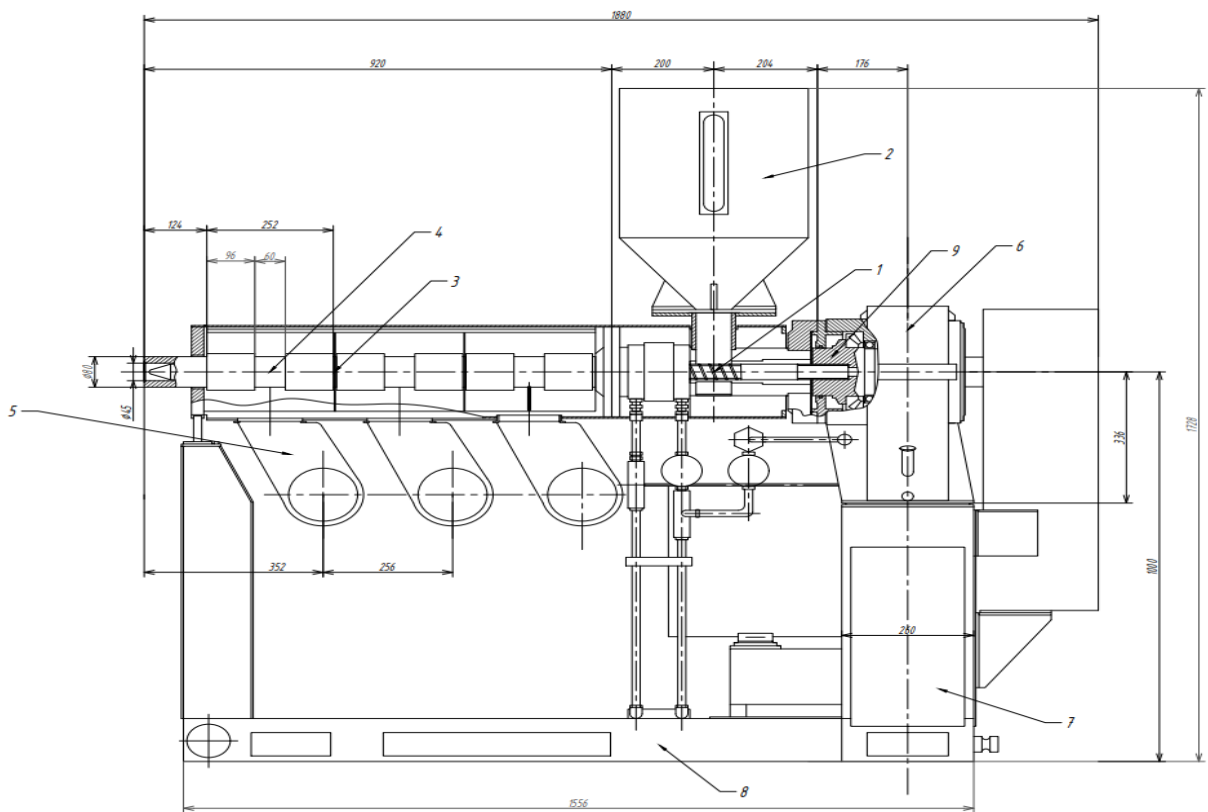
Таблиця 2.1

Перероблюваний полімер	ПЕВГ та наномодифікований
Діаметр черв'яка, D, мм	45
Відношення довжини черв'яка до його діаметра, L/d, мм	25
Довжина черв'яка, мм	1125
Частота обертання черв'яка, об/хв	60
Товщина плівки, мм	0,5
Ширина плівки, мм	1000
Потужність двигуна, N, кВт	1,93
Вагова продуктивність машини, П, кг/год	9,87
Об'ємна маса матеріалу, що застосовується, ρ , кг/м ³ : Використаний ПЕВГ (ПНТ) вуглець	952 2250
Габаритні розміри екструдера, мм Довжина Ширина Висота	1560 2200 1730
Маса, кг	1500

3. Опис конструкції екструдера, його основних частин та принципу дії

Отже, екструдер потрібен для переробки полімерних сировин в однорідний розплав та задання форми йому через його продавлювання екструзійною головкою. Це є екструзією – процес обробки матеріалу, коли за високого тиску він стає здатним розтягуватися або стати однорідним.

Екструдер (рис 3.1) складається з таких основних частин, як: завантажувальний бункер, черв'як, нагрівачі розплаву, вентилятори, редуктор, що надає рух черв'яку, корпус, в якому обертається черв'як. Це все побудовано на станині. Черв'як є важливою складовою екструдера для того, щоб надати сировині однорідність. Він може бути різних розмірів (наприклад, починаючи від 10 мм та закінчуючи 600 мм та більше), різної геометрії, різними кроками витків тощо.



- 1 – черв'як, 2 – завантажувальний бункер, 3 – нагрівачі, 4 – корпус,
5 – охолоджувачі (вентилятори), 6 – редуктор, 7 – кришка, 8 – станина,
9 – підшипник.

Рис. 3.1 – Схема екструдера ЧП 45x25.

Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ЛП93.027246.01-70ПЗ

Арк.

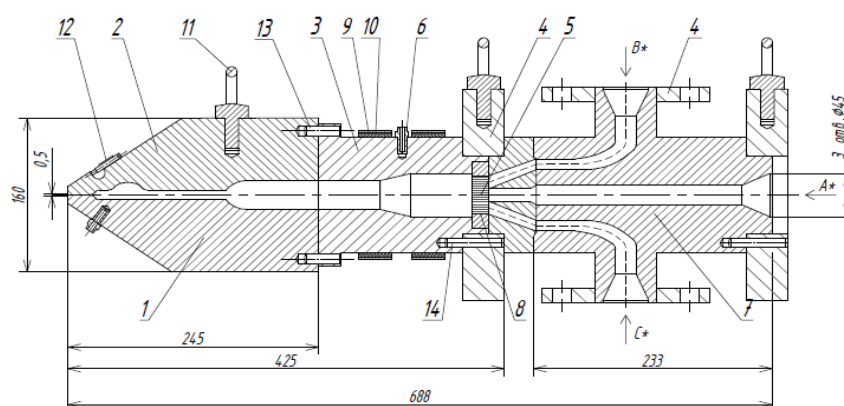
6

Потрібну вторинну полімерну сировину завантажують у завантажувальний бункер, через який вона потрапляє у зону завантажування, де відбувається її прийом. Сировиною може бути гранули або порошок з полімеру тощо. Просування матеріалу відбувається через різницю значень сил тертя сировини об внутрішню поверхню корпусу циліндра, в якому черв'як обертається, та об поверхню самого шнека. Задачею цієї зони є переміщення матеріалу із бункера в канал екструдера. Із зони завантажування полімер переміщається черв'яком у зону стиснення.

Тим часом, нагріванням розплаву займаються нагрівачі, а охолодженням – вентилятори. Охолоджуються черв'як, редуктор та завантажувальна горловина.

У зоні стиснення на початку починається підплавлення полімеру, який примикає до нагрітої поверхні циліндра. Накопичений поступово розплав впливає на спадний в ширині спресований твердий полімер, який можна назвати коркою. Глибина нарізки шнека зменшується від першої зони до третьої, тому тиск, що виникає в цій зоні, змушує цю утворену корку дуже притискатися до розігрітої стінки циліндра, відбувається плавлення.

Зона дозування шнека є найважливішою ділянкою в екструдері. Тут створюється потрібний тиск для того, що продавити розплавлений матеріал через головку.



1 – корпус, 2 – кришка, 3 – адаптер, 4 – фланець кріплення, 5 – решітка, 6 – гільза, 7 – живильний блок для співекструзії

Рис. 3.2 - Тришарова плоскощілинна головка

Вище представлена (рис. 3.2) тришарова плоскощільна головка для підключення трьох екструдерів на базі ЧП 45х25 через окремі три канали, які надаються спеціальним живильним блоком. Конструкція головки складається з корпусу та кришки, які з'єднуються за допомогою гвинтів. Штифти використовуються для центрування. Фланцем кріплення підключений живильний блок. У фланці встановлена решітка, яка фільтрує сіткою розплав. Розплав потрапляє далі у канали, що звужуються. Адаптер кріпиться до корпусу та кришки гвинтами та центрується штифтами. Регулюється вихідний зазор головки гвинтами та гнучкої губки. Гільзами регулюють температуру головку, оскільки в них знаходяться термопари. На адаптері є два хомутових нагрівачі, що під'єднані за допомогою хомутів. Транспортують головку за допомогою рим-болтів.

					ЛП93.027246.01-70ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

4. Літературний та патентний огляд, вибір напрямку дослідження

Багатошарові плівки виробляються за допомогою кількох екструдерів, однієї спільної багатошарової голівки або кількох одношарових головок, що дорівнюють кількості екструдерів. Це досягається процесом коекструзії.

Автори книги [1] зазначають процес коекструзії як процес, що розроблений для поєднання двох або більше полімерів, щоб досягти синергічного ефекту в композиційних продуктах. Також було розглянуто нові застосування та останні інновації з багатошаровими плівками, як, наприклад, створення дисперсії шарів у вигляді пластинок (використовуючи багатошарову систему ПП/ПА66 (Поліпропілен/Поліамід 66), мікропластинки ПА66 в ПП-матриці отрималися через селективне розплавлення шарів ПП для формування матриці, шари ПА66 під час цього залишалися твердими у вигляді дисперсних шарів (температура плавлення ПП $t=163^{\circ}\text{C}$, ПА66 $t=262^{\circ}\text{C}$, ця різниця температур дозволила обробити багатошарові структури при температурах вище за температуру плавлення ПП та нижче ПА66)) задля поліпшення механічних та бар'єрних властивостей формованих виробів.

Для того, щоб виготовити полімерну плівку з однаковими розмірами товщини по всій ширині, використовують плівкову чи листову (плоскощільну) голівку, зазначають автори книги [2]. Кількість полімерів, якими можна комбінувати, обмежена першочергово можливою кількістю та розташування екструдерів для подачі розплаву полімерів у одну єдину коекструзійну систему, наприклад, з'єднуючи адаптером (рис. 4.1).

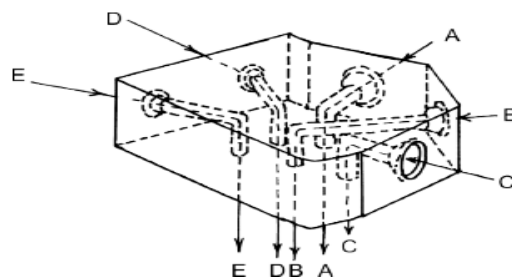


Рис. 4.1 – Адаптер з фіксованою геометрією, де показано входи від екструдерів А, В, С, D, Е, а також виходи від кожного екструдера до блоку подачі.

У статті [3] автори розглядають підхід до виробництва багат шарових плівок шляхом нового методу розподілу гомогенізації обертання (РГО). Матеріали піддаються впливу поля потоку, яка поєднує і зсувну циркуляцію, і потік тиску. У РГО окружний зсув утворює ламінарний потік, де отримується стабільна межа між шарами та розплав розподіляється рівномірно по всьому окружному напрямку. Перевірявся цей метод на поліетилені низької щільності та отримали очевидне покращення термічної усадки та механічних властивостей багат шарової плівки, зокрема в поперечному напрямку.

Стаття [4] надає інформацію про те, що для покращення якості багат шарових плівок, які були коеструдовані полімерами з різними реологічними властивостями, вимагається придушення міжфазної нестабільності. Отже, автори дослідження розробили прес-форму з наборами шарів для збільшення кількості шарів у майбутніх створених багат шарових плівок, заміряли перепади тиску потоку двома датчиками тиску, які встановлені послідовно на стінці форми вздовж напрямку потоку, для розрахунку напруги зсуву потоку, яка потім використовується для аналізу ковзання межі розділу. Дослід показав, що коли напруження зсуву досягає деякого порогу, то велика кількість шарів спричиняє міжфазне ковзання, що знижує напругу зсуву на стінці форми (рис. 4.2).

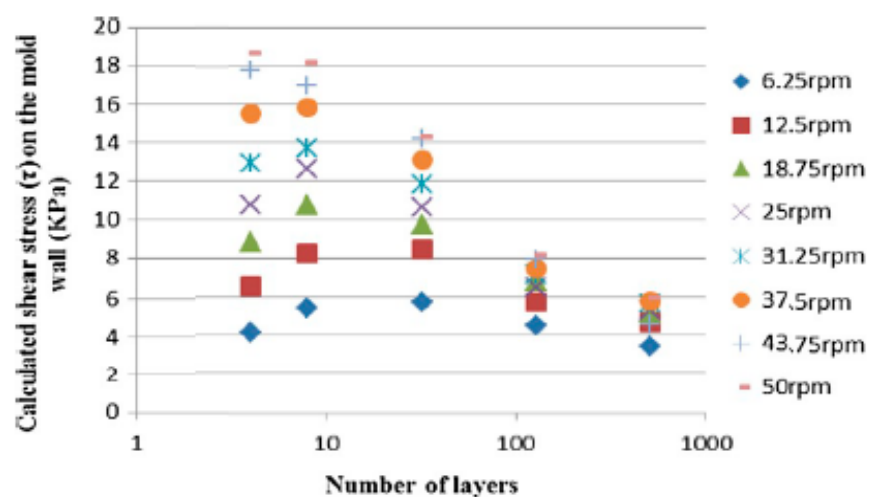


Рис. 4.2 – Графік залежності розрахованого напруження зсуву на стінці форми від кількості шарів при різних швидкостях потоку.

Автори статті [5] розробили полімерну багатошарову плівку зі стійкістю до ультрафіолетового випромінювання з високим коефіцієнтом пропускання, що може надати простий та недорогий, але ефективний спосіб зменшення ваги створеної кришки фотоелектричного модуля приблизно на 85%. Цією плівкою замінюють звичайне фотоелектричне скло, що має майже ті ж самі властивості, що і досліджена багатошарова плівка, яка має перевагу у вазі та чудовій стійкості до ультрафіолетового випромінювання, що означає придатність для тривалого використання на відкритому повітрі. Такі плівки підходять для великомасштабного виробництва.

У статті [6] представлено останні досягнення в галузі полімерних ієрархічних систем, що виготовлені за технологією багатошарової коекструзії з примусовим складанням. Покращені властивості у порівнянні із звичайними полімерними композитами досягаються шляхом маніпулювання їх мікроструктурою під керівництвом таких «трьох правил», як масштаб (стверджує, що структури композитів організовані на дискретних рівнях масштабу, тобто всі біокомпозити мають принаймні один чіткий структурний рівень на кожному з молекулярних, наноскопічних, мікроскопічних і макроскопічних масштабів), взаємодія (стверджує, що всі ці структурні рівні утримуються разом і функціонують через певні взаємодії, наприклад, для того, щоб з'єднати структурні рівні для цілісного функціонування, потрібна відповідна адгезія) та архітектура структурних рівнів (стверджує, що ці інтерактивні структурні рівні організовані в складні ієрархічні архітектури, які представляють спектр властивостей і багатофункціональних характеристик).

Стаття [7] розповідає про транскристалічність (ТС), що впливає на властивості коекструзованої плівки у багатьох аспектах, та спроба його дослідження. У досліді використовуються багатошарові шари на основі PLA (полілактид): PLLA (полі-L-лактид) та PDLA (полі-D-лактид), що спільно екструдуються, щоб утворити багатошарові чергування, в яких вони дифундують один одного і утворюють двовимірний стереокомплекс (2Д-СК)

на багат шаровому інтерфейсі, потім 2Д-СК індукує ТС, який росте, щоби зайняти весь простір шару. Після досліду автори дійшли до висновку, що ця стратегія покращення властивостей багат шарових плівок підходить не тільки поліактиду, а й іншим двом комплементарних стереорегулярних полімерів, де стереоселективна взаємодія також індукує полімерний СК.

Автори статті [8] досліджували придушення сепаратоелектрики полівінілденфториду з дослідженням змішуваних (полі(метилметакрилат)) та незмішуваних (полікарбонат) сумішей з полі (вініліденфторид-ко-гексафторпропілен), а також багат шарових плівок ПК/П(ВДФ-ГФП). Відповідно до цього дослідження, у порівнянні зі звичайними сумішами, що змішуються та не змішуються, багат шарові плівки є перспективними для плівкових конденсаторів наступного покоління, що мають на меті досягти високої стійкості до температури, високої щільності енергії та низьких втрат одночасно. Також доведено, що втрати знижуються із збільшенням співвідношення відсотку вмісту полікарбонату (рис. 4.3). Плівка ПК/П(ВДФ-ГФП) 10/90 показала високі % втрат саме через маленький відсоток вмісту ПК, що видно на графіку нижче.

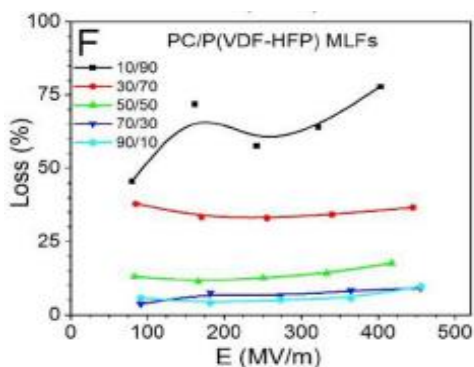


Рис. 4.3 – % втрат як функція електричного поля для різних багат шарових плівок.

У статті [9] досліджено процеси коекструзії та їх проблеми переробки. Розроблено одновимірну модель течії Пуазейля для двошарової коекструзії та проведено розрахунок, який показує стаціонарне положення границі розділу фаз і профіль швидкості на невеликій відстані порядку зазору між шарами, чим підтверджується справедливність 1D стаціонарної моделі. Ця модель

застосовувалася до багатошарових температурно-залежних коекструзійних потоків. При різній реології полімерів та співвідношенні швидкості потоку можуть спостерігатися нестабільності поверхні розділу. Експерименти вказують на те, що ці нестабільності можуть посилюватися вздовж поверхні матриці. Аналіз стабільності течії та прямі чисельні розрахунки допомагають дискримінувати ситуації, які посилюють або послаблюють нестійкості.

Автори статті [10] вказують, що біополімери для пакування виробляють все більше через забруднення пластикowymi відходами, які не розкладаються, бо це є серйозною проблемою довкілля, та описують новий метод виробництва багатошарових плівкових/пінопластових структур PLA, що містять 16, 32 та 64 шари, розроблених за допомогою технології багатошарової коекструзії. Нова плівка має унікальну горизонтальну архітектуру, в якій шари можуть ефективно контролювати ріст клітин та пригнічувати передчасний розрив клітин під час процесу коекструзії. Показано, що передача кисню сильно залежить від кристалічності матеріалу. Матеріал із 32 шарами 50/50 плівка/піна після 30-хвилинного відпалу має надзвичайно високий бар'єр, що в 35 разів краще, ніж зазвичай.

Стаття [11] розглянуто нову конструкцію матриці (рис. 4.4), що дозволяє виготовляти 5 різних шарів за один технологічний крок. Розроблено інтегральну модель для розрахунку перепаду тиску в різних полях потоку в головці. Процес коекструзії є успішним і створює трубки з 5 різними шарами.

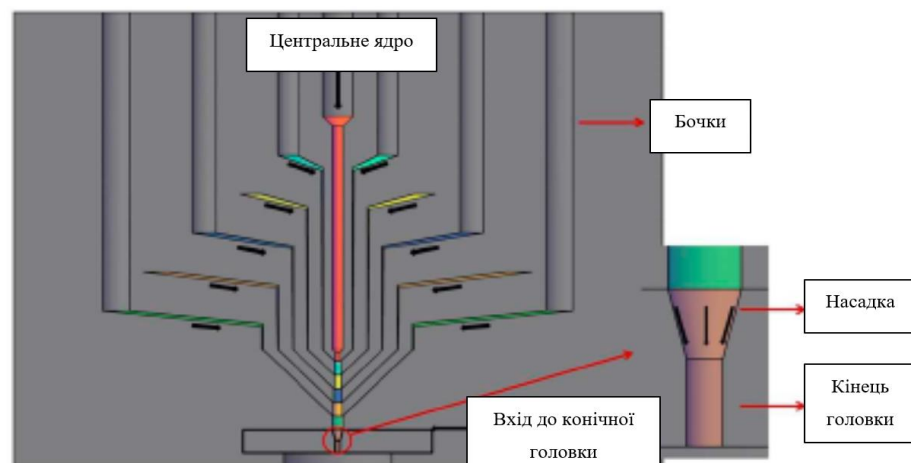
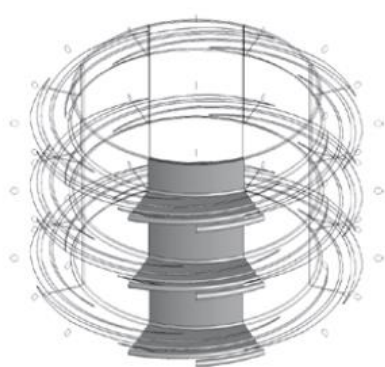


Рис. 4.4 – Схема конструкції п'ятишарової головки.

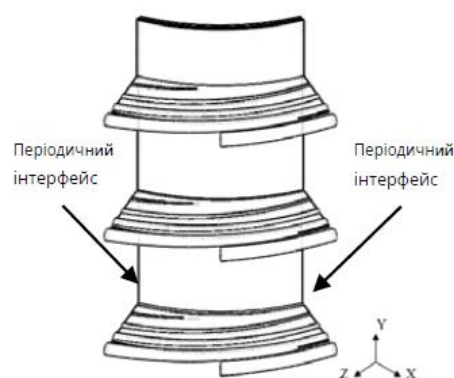
У статті [12] розглянуто створену тришарову поліетиленову плівку з роздуванням, що має чудову термоусадку та механічні властивості. Унікальна голівка для плівки з роздуванням має полімерні смоли, що піддаються впливу складного потоку та поєднують зсувну циркуляцію та потік тиску. Встановлено, що швидкість обертання оправки має більший вплив на термоусадку та механічні властивості, ніж коефіцієнт роздування. Зразки, що створені зі швидкістю обертання оправки 4 об/хв, мають чудові повні характеристики.

Автори статті [13] пропонують використати коекструзію для створення плівки з сотнями шарів лінійного ПЕНГ та ізотактичного поліпропілену (ПП), які чергуються, також ще 100 інтерфейсів. Комбінація цього всього зменшує модуль пружного зберігання і розширює гумове плато. Його розширення корелює із спостережуваним покращенням багатошарової здатності до термоформування порівняно з гомополімерними плівками.

Стаття [14] розповідає про тришарову коекструзійну плівку (рис. 4.5) з роздувом, яка поєднує в собі різноманітні характеристики під час екструзії і може значно знижувати вартість. За допомогою певних програм було розраховано геометрію (тришарова коекструзійна плівка типу АВА за допомогою двох або трьох екструдерів, комбінована структура матеріалів – LDPE/HDPE/LDPE, ця структура характеризується чіткою періодичною симетрією), числове моделювання поля потоку для аналізу форми та положення розділу цієї багатошарової плівки. Доведено, що різниця тиску сусідніх шарів викликає міжфазну деформацію, перебудову каналу потоку, положення межі змінюється через перебудову каналу потоку, коли шар з шаром зустрічаються в каналі спільної екструзії.



а)



б)

Рис. 4.5 – Структура тришарової коекструзійно-видувної плівки: а) аксонометричний рисунок; б) періодична межа.

У статті [15] розглянуто коекструзійну плівку з трьох шарів: поліпропілену, етиленвінілового спирту, поліпропілену, що часто показують оптичні дефекти, які можуть вплинути на прозорість плівок та зашкодити практичному використанню. Завдяки розробленому методу дозування поверхневої щільності міжфазних кополімерів встановили чітку кореляцію між амплітудою модуляції товщини внутрішнього шару ЕВС і щільністю молекул кополімеру утворених на межі розділу ЕВС/зв'язувальний шар під час процесу коекструзії та отримали результати, які надають доступ до кращого дизайну композиції зв'язувальних шарів, щоб уникнути подібні дефекти.

Як зазначають автори статті [16] наномодифіковані полімерні композиційні матеріали (НМПКМ) є перспективним напрямком розвитку матеріалознавства. Їх використовують у високонавантажених виробках таких галузей промисловостей, таких як авіаційна, космічна, військова та інші. Вуглецеві нанотрубки (ВНТ) зазвичай використовують як модифікатори для підвищення властивостей виробів. ВНТ мають високий модуль пружності та міцність, що робить їх ефективними для використання у композитах. НМПКМ також можуть мати електропровідність та перетворювати діелектричний полімер на провідний композит. Вартість виготовлення наномодифікованих полімерів є високою, тому контроль якості таких виробів на всіх етапах

Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ЛП93.027246.01-70ПЗ

Арк.

15

виробництва є важливим. Електроємнісний метод неруйнівного контролю є найбільш придатним для виявлення дефектів у НМПКМ, оскільки може працювати з матеріалами різних властивостей. Використання цього методу дозволяє застосовувати наномодифіковані полімери у виробництві відповідальних деталей та вузлів. Залежно від концентрації ВНТ відносна електроємність наближається до стаціонарного значення, що показано на графіку, на якому узагальнено результати моделювання у вигляді залежностей відносної електричної ємності між електродами від відстані між сенсором і поверхнею матеріалу при різних концентраціях ВНТ у матеріалі (рис. 4.6).

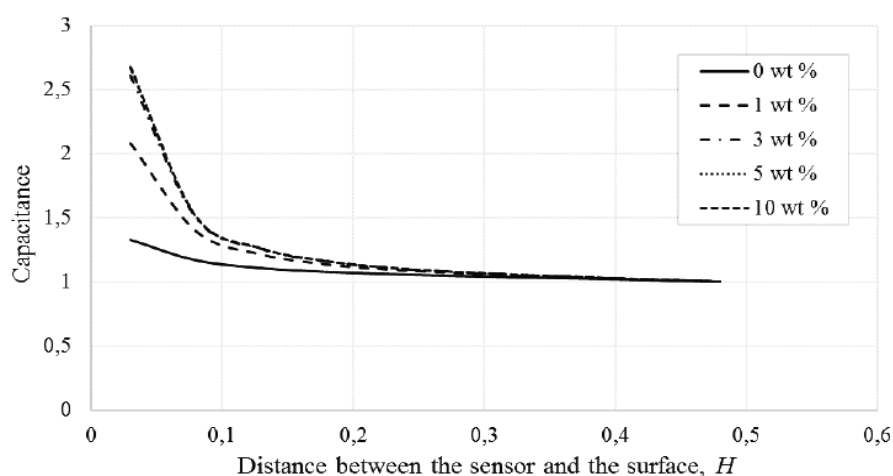


Рис. 4.6 – Графік залежності відносної ємності від відстані між датчиком і поверхнею при різних концентраціях ВНТ.

Стаття [17] описує метод визначення пружних властивостей ламінатів, що у площині та по товщині складаються з ізотропних шарів. Прикладом такого ламінату (рис. 4.7) є багатшарова наномодифікована полімерна плівка. Вона складається з полімерних шарів, один з яких містить нанонаповнювачі. Пропонуються явні залежності для модулів Юнга, модулів зсуву, коефіцієнтів Пуассона та коефіцієнтів теплового розширення (КТР). Отримані формули підходять як для симетричних, так і для несиметричних ламінатів. Порівняння теоретичних та експериментальних значень показали задовільні результати для наномодифікованих поліетиленових плівок, модифікованих багатостінними вуглецевими нанотрубками та наноплівок з поліуретану та поліетилентерефталату, які містять наночастинки карбідів титану.

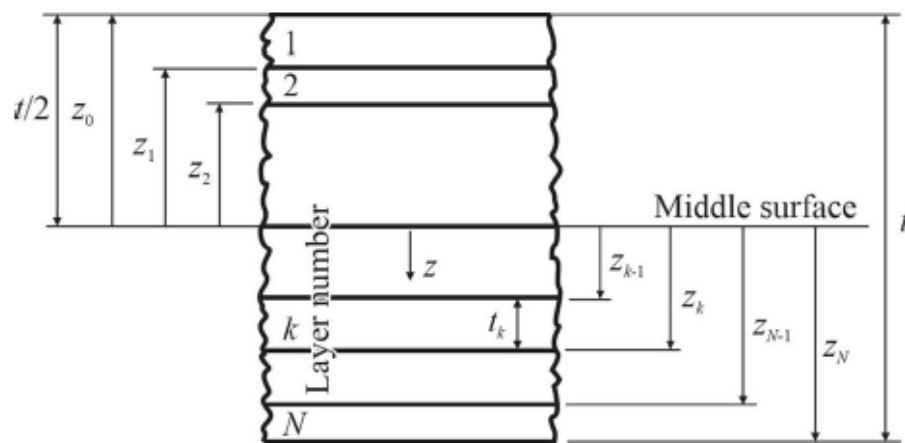


Рис. 4.7 – Структура ламінаду.

У статті [18] обговорюється питання моделювання й проєктування параметрів технології та технічних засобів виробництва не тільки звичайних полімерів, а й наномодифікованих. Ефект ультразвукової модифікації при отриманні класичних і наномодифікованих функціональних полімерних композиційних матеріалів забезпечується підвищенням структурної однорідності, інтенсифікацією просочення ультразвуку, поліпшенням міцнісних, експлуатаційних властивостей і технологічних характеристик полімерної матриці, а також зниженням коефіцієнта корисної дії композита внаслідок зменшення вмісту повітряних включень і поліпшенням розподілу зв'язуючого по перерізу наповнювача.

Автори статті [19] пропонують дослідити поведінку полімерних нанокомпозитів до руйнування у зоні процесу руйнування (рис. 4.8). Для цього використовують аналіз великої маси випробувань руйнування з наявної та доступної літератури, щоб критично дослідити ефекти нелінійної зони процесу руйнування (ЗПР). Виявлено, що для більшості випробувань на руйнування вплив нелінійної ЗПР не є незначним, а це призводить до значних відхилень від лінійної механіки пружного руйнування (ЛМПР), які іноді перевищують 150% залежно від розміру зразка та вмісту нанонаповнювача. Щоб зрозуміти глибше характеристики ЗПР, випробування на руйнування геометрично масштабованих зразків із згинанням з однокрайнім надрізом (ЗОН) аналізуються з використанням моделі когезійної зони. Виявлено, що

ЗПР не можна знехтувати, а білінійний когезійний закон тріщин, як правило, забезпечує найкращий збіг експериментальних даних.

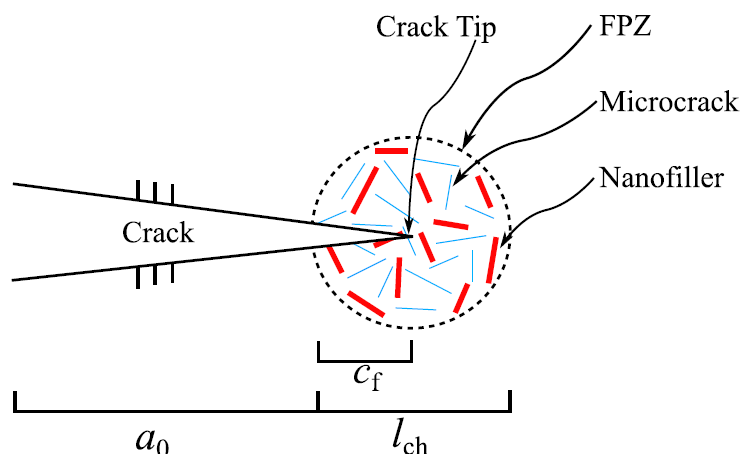


Рис. 4.8 – Зона процесу руйнування (ЗПР) для термореактивних полімерних нанокомпозитів.

Стаття [20] розповідає про чисельне моделювання еволюції наномодифікованих полімерів під час статичної деформації. Використано метод скінченних елементів зі спеціальним восьмивузловим елементом. Розв'язування проведено за алгоритмом Ньютона-Канторовича з методом змінної жорсткості та модифікованим потенціалом Морзе. Результати порівняно з відомими чисельними розв'язками з літератури і засвідчили про їх гарну узгодженість. Наведено результати моделювання руйнування нанотрубки з реактопластичної полімерної матриці. Методи дозволяють визначити фізико-механічні характеристики та міцність наномодифікованих полімерів та конструкцій на їх основі.

У дослідженні [21] наводиться, що композитні матеріали, такі як полімери, армовані вуглецевим волокном, набувають все більшої популярності в чутливих до ваги конструкційних компонентах завдяки своїй високій міцності та жорсткості. Однак слабкі інтерламінарні області між шарами можуть спричинити інтерламінарне руйнування або розшарування, що є суттєвим недоліком. Для вирішення цих проблем використовуються різні методи, такі як додавання частинок або плівок, але вони мають такі недоліки, як погана адгезія. Електропрядені нановолоконні вуалі - це нова технологія,

що є багатообіцяючою завдяки своїй пористості, тонкості та легкості. Хоча було показано, що вони покращують поведінку при руйнуванні та ударі, необхідні додаткові дослідження щодо їх втомних характеристик. Це дослідження зосереджене на статичній та втомній реакції некрихких тканинних ламінатів, модифікованих електропряденими нановолоконними вуалями, зокрема, в багатошарових ламінатах, виготовлених методом вакуумного лиття під тиском (ВЛПТ) в умовах втомлення під контролем навантаження. Результати показують, що нановолоконна завіса значно покращила критичне напруження, міцність на вигин і втомну міцність композитного матеріалу, а також розширила діапазон втомних напружень. Крім того, в ламінатній системі на основі ПММА було покращено в'язкість при міжшаровому руйнуванні завдяки застосуванню полімерних нановолоконних покриттів з ПА за відповідних умов гарячого пресування. У дослідженні також проаналізовано вплив покращення міжфазної адгезії на в'язкість руйнування та механізм, що лежить в її основі.

Автори статті [22] вивчали вплив поля напруги на корозійну стійкість композитної плівки та діелектричні властивості композиту з різними легуючими домішками. Вони розглянули метод прогнозування тривалості корозійностійкого життя при напрузі електричного поля та провели РЕМ-аналіз морфології та структури плівки поблизу точки пробою після утворення корони. Використовуючи ІЧ-спектроскопію та тест на струм провідності, вони визначили поріг електричного старіння плівки (табл. 4.1). В результаті дослідження виявлено, що введення наночастинок нано-SiO₂ може значно підвищити корозійну стійкість матеріалу. Зокрема, при температурі 155 °C тришарова композитна плівка PI/nano-SiO₂ з домішками наночастинок у кількості 10 мас.% витримала 7472,61 години при напрузі зовнішнього електричного поля 20 кВ/мм.

Таблиця 4.1. Пороги електричного старіння чистих плівок РІ та тришарової композитної плівки з різною кількістю легування.

Зразок	Чистий РІ	5 мас. %	10 мас. %	15 мас. %
Поріг електричного старіння, кВ/мм	30,79	32,78	46,04	53,02

У статті [23] вказано, що нанотехнологія - це наукова та інженерна дисципліна, що зосереджується на розробці, модифікації, характеристиці та використанні нанорозмірних компонентів у різноманітних галузях застосування. Розглянуто, що нанопокриття мають численні переваги, такі як міцне зчеплення, твердість поверхні, довготривала корозійна стійкість та покращення міжфазної поведінки. Це дозволяє їх ефективно використовувати для мінімізації впливу корозійного середовища та зниження витрат на експлуатацію та технічне обслуговування. Нанопокриття також можуть бути застосовані в більш тонких і дрібних концентраціях, що підвищує універсальність приладів. Наноматеріали та наномодифіковані покриття, зокрема самовідновлювальні покриття, на основі природних джерел, іонів металу/металу та вуглецевих алотропів, є об'єктом досліджень для створення захисних плівок та захисту від корозії для кількох металів і сплавів. У роботі використовуються методи характеристикації, такі як скануюча електронна мікроскопія, електрохімічна імпедансна спектроскопія, потенціодинамічна поляризація, атомно-силова мікроскопія, енергодисперсійна спектроскопія тощо.

Стаття [24] про оцінку наномодифікації ПВХ за допомогою інфрачервоної спектроскопії. Присутність хлору в структурі ПВХ до і після наномодифікації підтверджується наявністю піку при 690 см^{-1} , пов'язаного з осью деформацією зв'язку C-Cl. Наномодифікований ПВХ показав іонообмінну ємність $1,27\text{ ммоль}^{-1}$ і ефективно видаляв важкі метали з водних розчинів. Ефективність видалення важких металів (R) була покращена шляхом

збільшення концентрації наночастинок TiO_2 . Кількість адсорбованого на грам адсорбенту (Q_e) була розрахована і показала, що кількість адсорбції збільшилася для наномодифікованої тонкої плівки ПВХ порівняно зі 100% тонкою плівкою ПВХ. Наномодифікована тонка плівка ПВХ показала високу стабільність протягом 4 циклів використання. Це покращення пояснюється великою площею поверхні наномодифікованого ПВХ полімеру (від 0,3 до $282 \text{ м}^2/\text{г}$). Підбиваючи підсумки, дізнаємося, що модифікація ПВХ наночастинами збільшує вартість тонкої плівки ПВХ на 15%, але вона забезпечує ефективність у 3 рази вищу, ніж вихідний ПВХ.

Автори статті [25] модифікували поверхню нанокремнезему емульсією етилен/вінілацетат (ЕВА), а потім змішали з поліпропіленом (ПП) для отримання композитного матеріалу нанокремнезем/ПП, який мав покращити механічні властивості поліпропілену, підвищити його температуру плавлення та ступінь кристалічності, зменшити його кисневу проникність та проникність водяної пари, зменшити адсорбцію поліпропіленових пакувальних плівок щодо органічних розчинників та покращити характеристики плівок для безпеки харчових продуктів. Експерименти показали збільшення кристалічності, що веде до покращення механічних та бар'єрних властивостей та підвищення температури плавлення. Залишкове значення розчинника в модифікованих поліпропіленових плівках зменшилося на 10-90%.

У статті [26] досліджено використання промислових графенових нанопластинок для покращення властивостей полімерних і деревоволокнистих композитів. Проведено випробування зразків на розтяг, на удар, на згин тощо. Обговорено вплив співвідношення сторін графенових пластинок на механічні властивості поліетилену високої щільності. Використання нанопластинок покращує механічні властивості полімеру та його термічну стабільність, теплопровідність та дифузійну здатність. Механічні характеристики полімеру покращуються, незалежно від вмісту армуючих елементів (графен або деревне волокно). Покращення механічних

властивостей нанокompозиту було помітним без використання компатибілізатора. Використання маточної суміші може сприяти використанню наномодифікованих полімерних композитів у промислових масштабах без модифікації існуючих методів переробки.

Стаття [27] описує використання полімерних покриттів для захисту від корозії. Однак їхня пориста мікроструктура часто перешкоджає цьому, оскільки не може протистояти проникненню шкідливих мікроорганізмів та піддається зносу та подряпинам. Для покращення бар'єрних властивостей полімерних покриттів можуть використовуватись наноматеріали. Незважаючи на багато проведених досліджень, знання про критичну роль наноматеріалів є нерівномірним. У статті розглядається використання нанотехнологій для покращення властивостей полімерних покриттів шляхом модифікації їх мікроструктури та додавання додаткових функцій. Також стаття містить огляд мікроструктури полімерних нанокompозитів, вплив наномодифікації на властивості полімерних покриттів, підходів до виробництва та використання полімерних нанопокриттів як носіїв інгібіторів корозії. Детально описані технологічні досягнення у використанні нанотехнологій для створення високоефективних полімерних покриттів з корозійною стійкістю та іншими важливими властивостями. Стаття закінчується коротким оглядом сучасних характеристик нанокompозитних покриттів для захисту від корозії.

Недавнє дослідження статті [28] продемонструвало новий процес швидкого нано- та мікроструктурування великих площ пластикової плівки "від рулону до рулону" (рис. 4.9). Була відтворена реплікація наноструктур розміром менше 100 нм зі швидкістю лінії 60 м/хв. Цей процес має потенціал для широкого застосування у різних галузях, включаючи оптичні, технічні та функціональні поверхні та пристрої. Серед переваг процесу є наявність широкого асортименту комерційних екструдерів, стандартних екструзійних полімерів, функціональних добавок, полімерних матеріалів із хорошими властивостями дифузійного бар'єру та загальна зрілість технології. При

нанесенні покриття з рулону на рулон розплавлена полімерна плівка екструдується через плоске сопло, потім розтягується в повітрі і ламінується на несучу фольгу. Наноструктури з типовою шириною лінії в діапазоні 100–400 нм найкраще відтворюються за допомогою напівкристалічних полімерів, таких як поліпропілен (PP), що працюють на високій швидкості ролика 60 метрів на хвилину та високій температурі охолоджуючого ролика 70 ° С. Реплікація в інших поширених полімерах, таких як поліетилен (PE) і полістирол (PS), неможлива для наноструктур.

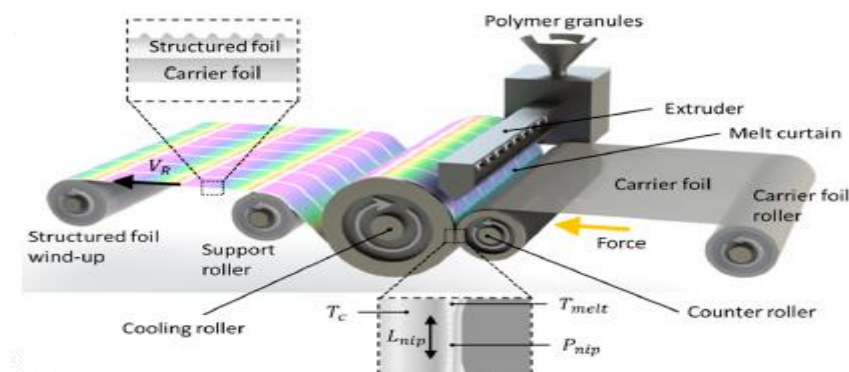


Рис. 4.9 – Схематичне зображення процесу «від рулону до рулону»

Автори статті [29] здійснювали радіаційний синтез мембран зворотного осмосу шляхом прищеплення N-ізопропілакрил-аміду та введення наночастинок ZnO на поліамідні мембрани. Вивчено вплив концентрації мономеру, часу опромінення та концентрації наночастинок на відсоток прищеплення. Охарактеризовано властивості мембран зворотного осмосу з використанням різних інструментів. Досліджено продуктивність процесу на чистих та модифікованих мембранах з точки зору потоку води та відторгнення солей. Оцінено хлоростійкість та стійкість до біообростання вихідного та наномодифікованого композиту мембран. Ефективність наномодифікованої мембрани значно вища, ніж у чистої мембрани.

У статті [30] розглядається розподіл графенових нанопластинок (ГНП), функціоналізованих поліаніліном, у поверхневому шарі наномодифікованих плівок надвисокомолекулярного поліетилену (НВМПЕ) з використанням комбінаційного відображення. За допомогою методу комбінаційного

розсіювання встановлено, що при концентрації 0,1 мас.% вмісту ГНП у НВМПЕ спостерігаються піки D, G і 2D. При 1,0 мас.% концентрації ці сигнали не виявляються, що свідчить про витіснення наномодифікатора в об'єм полімеру. Збільшення концентрації ГНП до 2,0 мас.% спричинює рівномірне розподілення функціоналізованих ГНП на поверхні нанокомпозитної плівки НВМПЕ.

Для ліпшого розуміння процесу коекструзії потрібно базово оглянути деякі нові патенти, щоб зрозуміти, який цієї миті сучасний прогрес стосовно виготовлення багатошарових плівок в нашому світі.

Винахід [31] - зрошувальна головка коекструзійної машини з двома екструдерами (рис. 4.10). Головка містить першу та другу роз'єднувальні пластини, перший та другий з'єднувальні канали матеріалу. Перша роз'єднувальна пластина має два канали матеріалу, перший з'єднувальний канал матеріалу з'єднує два канали матеріалу з екструдерами. Друга розділова пластина має третій канал матеріалу та другий з'єднувальний канал матеріалу. Кількість вузлів головки машини є множинною, і розташовані з інтервалами в осьовому напрямку каналу матеріалу. Кожен вузол складається з розподільчого човника, серцевини форми, першої та другої зовнішньої втулок форми та зрошувального човника. Цей винахід дозволяє зрошувати та спільно екструдувати гумовий матеріал внутрішнього та зовнішнього шару лінії шкали.

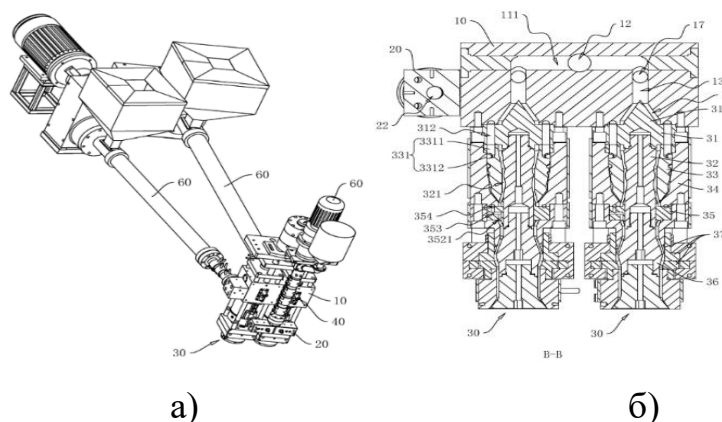


Рис. 4.10 – а) Два екструдери та двошарова голівка; б) Поперечний розріз головки (патент CN115008719A)

Винахід [32] - тришарова головка машини для коекструзії з трьома екструдерами (рис. 4.11). Вона містить роздільну пластину з першим, другим та третім каналами матеріалу, а також сполучний канал матеріалу для зв'язку з екструдером. Кілька вузлів головки машини містять серцевину та зовнішні гільзи прес-форм для формування трьох бігунів. Розділова пластина забезпечена третім каналом розподілу матеріалу, а композитний блок та сердечник використовуються для формування композитного бігуна. Композитний бігун отримується злиттям виходів першого, другого та третього бігунів. Цей пристрій має ефект тришарової коекструзії за винаходом.

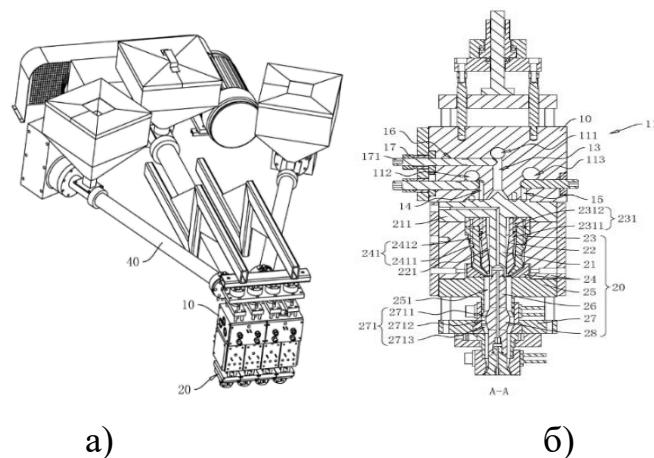


Рис. 4.11 – а) Три екструдери та тришарова головка; б) Тришарова головка у розрізі (патент CN115008716A)

Винахід [33] стосується пристрою для отримання багатошарової плівки (рис. 4.12). Принаймні один екструдерний пристрій використовується для розплаву термопластичного матеріалу, складеного з окремих шарів, з'єднаних між собою. Адаптер для коекструзії містить центральний канал для отримання центрального шару композиційного матеріалу, а також канали для отримання наступних шарів. Присутні переміщувальні регульовальні елементи та регульовальні засоби для їх управління. Приводний блок відповідає за рух регульовального пристрою. Вимірювальні засоби вимірюють товщину та розподіл товщини окремих шарів плівки. Контролер пристрою керує ним і забезпечує автоматичне, переважно ітеративне зміння положення

регулювального елемента залежно від товщини та розподілу товщини шарів плівки, виміряних в багатошаровій плівці, що вийшла з соплової частини.

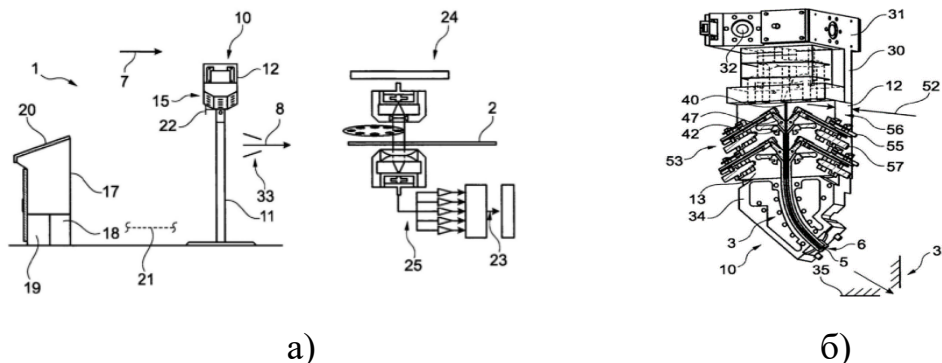


Рис. 4.12 – а) Спрощена схема системи для виробництва коекструзійної багатошарової плівки; б) Схематичне зображення поперечному перерізі коекструзійного адаптера (патент CN114786915A)

Винахід [34] описує композитну термоусадочну плівку ПЕТ з поверхневим шаром А, основним шаром В і нижнім шаром С, що формуються шляхом екструзії. Кожен з шарів А і С складається з функціонального матеріалу ПЕТ і ПЕТ, який становить 5,5-9,5% мас. від загальної маси, а шар В складається з функціонального матеріалу ПС і ПС, який становить 14,5-21,5% мас. від загальної маси. Функціональне регулювання шарів ПЕТГ і ПС під час спільної екструзії дозволяє ефективно усунути дефект пульсацій на межі розділу фаз і уникнути розшарування шарів плівки. Композитна термоусадочна плівка ПЕТ має переваги обох матеріалів: зовнішня сторона легко друкується завдяки ПЕТ, а температурна чутливість низька; а внутрішній шар - це ПС, завдяки чому зменшується скоротливість і полегшується скорочення.

Винахід [35] - це пристрій для екструзії пластикового та/або гумового матеріалу. Він включає шнековий екструдер, який пластифікує матеріал і передає його до шестеренчастого насоса. Насос розвиває достатній тиск для пропускання матеріалу через екструзійну головку. Осі шестерень насоса і шнека екструдера паралельні одна одній. Корпус насоса має бічний отвір, через який проходять циліндрична втулка і шнек екструдера, щоб матеріал

подавався в насос у вигляді неорієнтованої пластифікованої маси. Екструзійна головка може бути поперечною з віссю, паралельною осям зубчастих коліс насоса і осі шнека екструдера. Ще один екструзійний пристрій з шнековим екструдером і шестеренчастим насосом може бути з'єднаний з іншою стороною екструзійної головки (рис. 4.13).

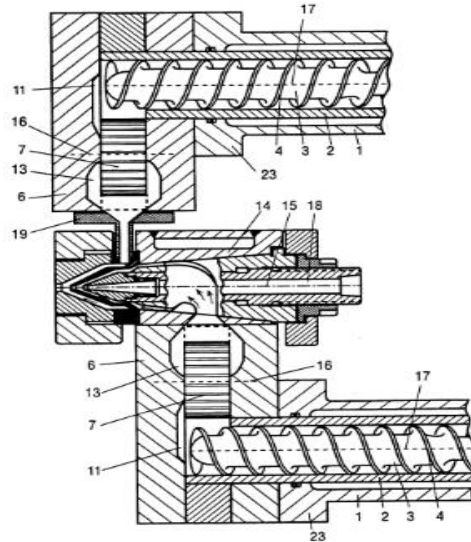


Рис. 4.13 – Пристрій для співекструзії пластикового або гумового матеріалу (патент US5304053A)

Виготовлення багатошарових плівок для поліпшення її міцності майже нікого не дивує, оскільки цей процес вже не є дуже новим й інноваційним. Дослідники із інших країн, таких як Китай, США тощо, спостерігають за покращенням властивостей таких плівок та досліджують вплив наномодифікації полімеру, який потім застосовують одним із шарів, на міцність готової плівки. Тому в цій роботі були розглянуті питання стосовно звичайних багатошарових плівок та з наномодифікованим полімером під час виконання літературного огляду іноземних науково-дослідних статей.

Відповідно до наукових джерел [21, 23, 25, 26] наномодифікація полімеру, що потім є одним із шарів багатошарової плівки, призводить до підвищення механічних властивостей кінцевого виробу. До них стосується і головна властивість, яка досліджується, – міцність. Тобто багатошарова плівка з наявністю наномодифікованого полімерного шару стає міцнішим.

Але статті [16, 24] нагадують про те, що вартість виготовлення такої плівки зростає, тому варто контролювати якість її виробництва та оцінювати доцільність її створення, проте цей недолік частково закривається ліпшими властивостями, яких намагаються досягти.

Головною метою цієї роботи є не оцінювання витрат, а дослідження саме впливу наномодифікованого полімеру на міцність готової тришарової плівки, коли він розташований посередині другим шаром між двома звичайними полімерами. Щоб виготовити цей виріб, потрібні три екструдери з однією тришаровою голівкою, в яку надходять потрібні полімерні матеріали.

Основна модернізація в цій науково-дослідній роботі полягає в тому, що перевіряється доцільність введення наномодифікованого полімерного шару між двома шарами звичайних полімерів, тобто вплив його на міцність кінцевої тришарової плівки. Для створення такої плівки використовується тришарова плоскощілинна головка. Для дослідження цього процесу використовується програма для розрахунку моделі «Aproks», що створена в КПП.

5. Охорона праці

Згідно із законом України «Про охорону праці», що був прийнятий 14 жовтня 1992 року, кожен робітник має конституційне право на охорону їх життя та здоров'я під час процесу праці, а обладнання, виробничі потужності та всі технологічні процеси обов'язково мають відповідати вимогам безпечних та нешкідливих умов для людини.

Тема дипломного проєкту – «Агрегат для виробництва багат шарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу», де основним агрегатом виступає екструдер (у кількості трьох одиниць) на базі ЧП 45х25 для виготовлення тришарової плівки з двох звичайних полімерів та одного наномодифікованого. У цьому розділі аналізуються умови праці робітника у виробничому приміщенні площею $S = 1000 \text{ м}^2$ та об'ємом $V = 4000 \text{ м}^3$ впродовж виготовлення тришарової плівки.

Шкідливими та небезпечними умовами чи факторами на виробництві є:

- неочищене та недотримане норм повітря робочої зони;
- недостатнє промислове освітлення;
- виникнення пожеж;
- ураження електричним струмом;
- вплив рухомих або обертових частин чи механізмів і рухомих матеріалів на працівника;
- шум на виробництві, що перевищує допустимі норми.

5.1 Повітря робочої зони

У приміщенні виробництва працює два робітники-оператори, що стежать за роботою всієї лінії, оскільки її конструкція доволі громіздка та довга, тому згідно з ДСН 3.3.6.042-99 робота операторів стосується категорії Іа – середньої тяжкості, де витрата енергії 176-232 Вт (151-200 ккал/год), яка

					ЛП93.027246.01-70ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		29

пов'язана з ходінням, переміщенням маленьких за вагою виробів в положенні стоячи або сидячи і потребують певного фізичного напруження.

Вимоги щодо якості повітря в робочій зоні повинні відповідати нормативам безпеки та гігієни праці. Рекомендується проводити регулярний контроль якості повітря, тобто переконатися, що в приміщенні достатній обмін повітря, та вживати заходів для забезпечення оптимальних показників.

Період року, категорія робіт, значення оптимальних та фактичних температур, відносних вологостей та швидкостей руху повітря відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 зазначені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Період року	Категорія робіт	Температура, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Фактична	Оптимальна	Фактична	Оптимальна	Фактична
Холодний	Па	19-21	19	40-60	45-55	0,2	0,2
Теплий	Па	21-23	22	40-60	45-55	0,3	0,3

Фактичні показники значень повітря в робочій зоні приміщення, де проходить виробництво, не є понаднормовими та відповідають оптимальним . У теплий період ці параметри досягаються за допомогою системи витяжної вентиляції, що забезпечує ефективне видалення шкідливих речовин, пилу та випарів з робочої зони, а у холодний – системою опалення та кондиціонування. Захистом органів дихання можуть бути протигази або респіратори задля зменшення шкоди від речовин, які використовуються при роботі.

5.2 Промислове освітлення

Промислове освітлення є важливою складовою технологічного процесу задля запобігання певних проблем із виробом або обладнанням, що використовується. Освітлення буває штучним та природнім. Світло забезпечує максимальний комфорт для людини впродовж роботи. Під час дня забезпечується освітлення природнім бічним через вікна у виробничому цеху. Робоча зона повинна мати достатнє освітлення, щоб забезпечити безпечні умови праці та запобігти зоровому напруженню працівників. В іншому випадку це може призвести до помилок робітника, що понесе за собою тяжкі наслідки або для нього самого, або для виробничого приміщення, або для машин, що використовуються.

Рекомендоване освітлення для виробничого приміщення цеху $E_n = 200$ лк. Для штучного освітлення обрано лампу ЕВРОСВЕТ 100Вт 6400К ЕВ-100-03, де товщина $h = 90$ мм, ширина $b = 295$ мм, довжина $a = 295$ мм, кількість 50 штук, світловий потік однієї лампи $\Phi = 10000$ Лм, $E_{\text{факт}} = 200$ лк. Регулюються ці стандарти за ДБН В.2.5-28:2018.

5.3 Пожежна безпека

Приміщення, де розташовані три екструдери ЧП 45x25 та інші прилади, що наявні в технологічній лінії, стосується категорії пожежної безпеки В, згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016, пожежонебезпечної зони класу П-Па за ПУЄ, II ступеня вогнестійкості, згідно з ДБН В.1.1-7:2016.

У зв'язку з використанням полімерів та наномодифікаторів, які можуть бути запальними матеріалами, важливо дотримуватися правил пожежної безпеки.

Можливими причинами пожежі бувають:

- коротке замикання;
- несправність електроприладів;
- перегрів;

					ЛП93.027246.01-70ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		31

- витік розплавленого матеріалу;
- відкриті неізолювані дроти тощо.

Щоб запобігти пожежі, передбачено використання матеріалів, що не загораються, та певних організаційних заходів з техніки безпеки, облаштування тепловідводу, охолодження окремих елементів пристроїв, заземлення, ущільнення приладу.

Щоб загасити пожежу в малих ділянках при вимкненому устаткуванні використовуються вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (8 шт.) та порошковий вогнегасник ОП-10 (16 шт.) при ввімкненому устаткуванні, також виробниче приміщення додатково обладнане автоматичними системами порошкового пожежогасіння на базі ACD2-GTC.

Згідно з СНІП 2.09.02-85 у виробничому приміщенні повинні бути принаймні два евакуаційні виходи. Прилади розташовані на першому поверсі. Під час пожежі всі працівники виходять терміново з приміщення. Ширина коридорів, де маршрут евакуації, повинна бути не менше одного метра, двері на маршруті шириною не менше 0,8 м. Варто потурбуватися про сигналізацію, її звук та освітлення, датчики, щоб працівники мали змогу дізнатися про пожежу на її початку, а не побачивши її перед собою.

5.4 Електробезпека

Технологічна лінія з виготовлення тришарової плівки з двох звичайних полімерів та одного наномодифікованого буде розташованою в прийнятному сухому місці без порушення вимог температури та вологості впродовж роботи. Приміщення, де це все розташоване, згідно з ПУЕ-2017 є приміщенням з підвищеною небезпекою, оскільки черв'ячний прес стосується категорії підвищеної небезпеки, тим паче в кількості трьох одиниць. Для лінії використовується трифазна напруга $U = 220 \dots 380 \text{ В}$ та частота $f = 50 \text{ Гц}$ з доцільним використанням ізолюваної нейтралі.

Можливі причини враження робітника струмом від приладів:

					ЛП93.027246.01-70ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

- пошкодження ізоляції дротів та дотик до них або перебування поряд;
- увімкнення установки неправильно;
- торкання відкритих частин приладу під час роботи чи під час живлення;
- вологе середовище;
- коротке замикання тощо.

Щоб уникнути враження електричним струмом, застосовують такі заходи:

- належне навчання та підготовка, ознайомлення з технікою безпеки та інструкцією до приладів;
- ізоляція пошкоджених дротів;
- заземлення;
- правильно вмикати установку, як це вказано за інструкцією до приладу;
- перед роботою з електроприладами можна використовувати діелектричні рукавички та подібні засоби для захисту від ураження струмом;
- використання меншої напруги тощо.

Не можна намагатися полагодити пристрій, поки він підключений до електромережі. Також варто стежити за роботою устаткування та не залишати його без нагляду хоча б одного робітника.

5.5 Небезпека від впливу частин, що рухаються або обертаються

У технологічній лінії, що застосовується, рухомими частинами є, наприклад, муфти, черв'як, підшипники, вентилятори, валки тощо. Для того, щоб запобігти нещасних випадків, ці всі частини лінії або машин, що рухаються або обертаються, закриваються суцільним огородженням. Можливе використання сітчастого огородження, щоб мати змогу бачити процес виготовлення тришарової плівки, але у випадку, якщо це є безпечним рішенням. Застосовувати технологічну лінію без огорожень суворо заборонено, оскільки можна травмуватися, наприклад, залишитися без кінцівок на руці. Також працівникам, які працюють з агрегатом, необхідно

					ЛП93.027246.01-70ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		33

надавати інструктаж щодо безпечних методів роботи, використання захисних пристроїв та уникання травм.

5.6 Виробничий шум

Джерелом шуму на виробництві в основному є електродвигуни та редуктори. Також іноді сюди додають систему охолодження, яка працює задля попередження перегріву машини та подальшої можливої пожежі. Згідно з ДСН 3.3.6.037-99 рівень шуму на постійних робочих місцях при лінії, що працює, не повинен перевищувати допустимі норми, що встановлені.

Перебування при постійному шумі, що є понаднормовим, призводить до головних болей, глухоти, загальмовування реакції, втомлення, що є погіршенням якості виготовленого виробу та можливістю виникнення пожежі або вразитися електричним струмом через неухважність. Задля зменшення виробничого шуму є потреба змазати мастилом певні елементи лінії, що найбільше шумлять, а також своєчасний ремонт або перевірка деталей на подальшу працездатність. Також рекомендовано застосовувати протишумові навушники 3M Peltor Optime III, щоб захистити свої вуха від постійного шуму. Шум одного екструдера досягає до 90-100 дБа. Провівши вище наведені заходи, шум можна знизити до рівня до 70-80 дБа, що є нормою відповідно до ДСН 3.3.6.037-99.

					ЛП93.027246.01-70ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		34

6. Очікувані механіко-економічні показники

Дослідження впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу може допомогти:

- поліпшити якість та міцність готового виробу, наприклад, як-от, тришарова плівка з використанням двох шарів звичайного полімеру та використанням одного наномодифікованого;
- зробити висновок щодо доцільності вводу наномодифікованого полімеру для поліпшення міцності готового виробу;
- зрозуміти доцільність збільшення або зменшення рівня наномодифікації одного із шарів;
- збільшити витрати на виготовлення, але зменшити ризик випуску неякісної та неміцної багатошарової плівки.

					ЛП93.027246.01-70ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Висновки

У цьому розділі дипломного проєкту за темою «Агрегат для виробництва багатошарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу» було розглянуто екструдер на базі ЧП 45х25, його призначення та область застосування в технологічній лінії виготовлення плоскої плівки, та розраховано його певні характеристики.

Також зроблено літературний та патентний огляд за темою багатошарових плівок та застосування наномодифікованого полімеру, як одного з трьох шарів, щоб зрозуміти поточний стан цих досліджень у світі.

Виконані загальне креслення екструдера ЧП 45х25, тришарової плоскощільної головки.

Також в записці присутні правила безпеки з використанням лінії для виготовлення багатошарової плівки.

					<i>ЛП93.027246.01-70ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Розділ «Розрахунки»
до дипломного проєкту
за темою: «Агрегат для виробництва багатошарових плівок
з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на
міцність кінцевого виробу»

Київ – 2023 року

Зміст

1. Параметричні розрахунки	2
1.1 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка.....	2
1.2 Розрахунок коефіцієнту геометричної форми екструзійної головки	4
1.3 Розрахунок продуктивності екструдера на базі ЧП 45х25	6
1.4 Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці	8
1.5 Розрахунок потужності приводу екструдера на базі ЧП 45х25	13
2. Розрахунки на міцність та жорсткість	16
2.1 Розрахунок черв'яка на міцність	16
2.2 Розрахунок черв'яка на жорсткість.....	17
3. Розрахунки на ПЕОМ	19
4. Дослідження впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність тришарової полімерної плівки з наномодифікованим середнім шаром.....	23
4.1 Вибір методу дослідження та опис обраного програмного комплексу .	23
4.2 Математична модель отримання параметрів міцності в залежності від рівня наномодифікації полімеру.....	24
4.3 Визначення параметрів міцності тришарової полімерної плівки в залежності від рівня наномодифікації матеріалу середнього шару	26
Висновки	32

					<i>ЛП93.027246.02-70PP</i>		
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб.		Безверхий І.О.			Агрегат для виробництва багат шарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу	Літера	Аркуш
Перевір.		Гондляр О.В.					1
							31
Н. Контр.						НТУУ «КПІ ім.І.Сікорського», ІХФ	
Затверд.		Гондляр О.В.					

1. Параметричні розрахунки

1.1 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка

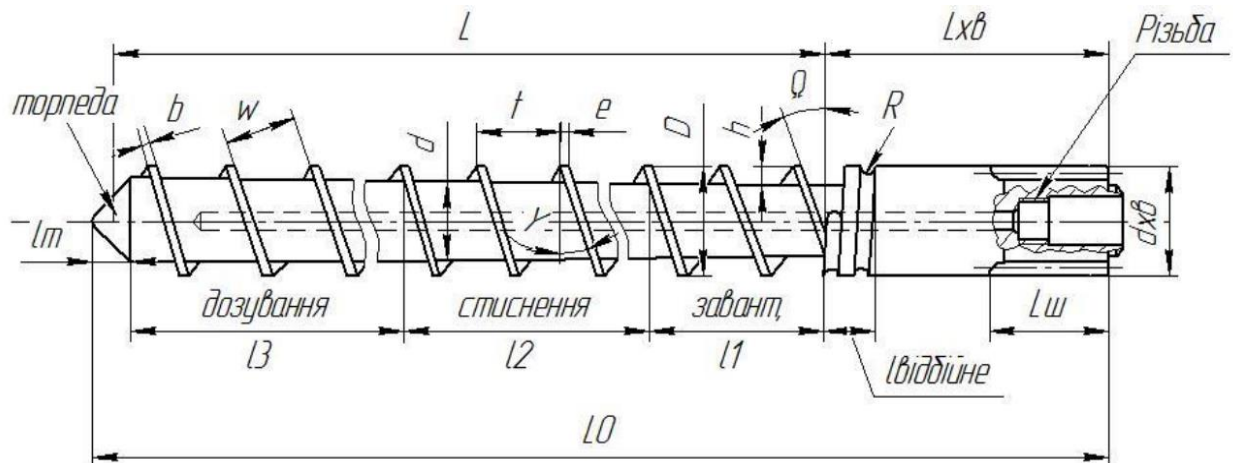


Рис. 1.1.1 – Схема черв'яка

Мета розрахунку: розрахувати основні геометричні параметри черв'яка для подальших розрахунків.

Вихідні дані: діаметр черв'яка $D=45$ мм, відношення довжини до діаметра $L/D=25$ м, матеріал – ПЕВГ.

Розраховано за методикою [36].

Крок гвинтової лінії черв'яка:

$$t = (0,8 \dots 1,2) \cdot D = 1 \cdot 45 = 45 \text{ мм.}$$

Кут підйому гвинтової лінії:

$$\varphi = \arctg \frac{t}{\pi D} = \arctg \frac{45}{3,14 \cdot 45} = 17,67^\circ.$$

Товщина гребеня черв'яка:

$$e = (0,06 \dots 0,12) \cdot D = 0,11 \cdot 45 = 5 \text{ мм,}$$

Зазор між черв'яком і гільзою:

$$\delta = (0,002 \dots 0,003) \cdot D = 0,00265 \cdot 45 = 0,12 \text{ мм,}$$

Глибина гвинтового каналу в зоні завантаження:

$$h_1 = (0,12 \dots 0,16) \cdot D = 0,133 \cdot 45 = 6 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування складає:

Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ЛП93.027246.02-70PP

Арк.

2

$$h_3 = 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right] =$$

$$= 0,5 \left[45 - \sqrt{45^2 - \frac{4 \cdot 6}{4} \cdot (45 - 6)} \right] = 1,3 \text{ мм},$$

де $i = 4$ – ступінь стиску поліетилену (обрати за рекомендаціями табл. 1).

Діаметр стержня під завантажувальною воронкою:

$$d_1 = D - 2 \times h_1 = 45 - 2 \times 6 = 33 \text{ мм.}$$

Діаметр стержня в зоні дозування:

$$d_3 = D - 2 \times h_3 = 45 - 2 \times 1,3 = 42,4 \text{ мм.}$$

Довжина торпеди з мішалкою:

$$L_{\text{торп}} = (0,6 \dots 0,8) \times D + 70 = 0,71 \times 45 + 70 = 102 \text{ мм.}$$

Довжина робочої частини черв'яка приймається:

$$L_{\text{роб}} = 25 \times D = 25 \times 45 = 1125 \text{ мм.}$$

Довжина зони завантаження приймається:

$$L_{\text{зав}} = (1,5 \dots 3) \times D = 2,5 \times 45 = 112,5 \text{ мм.}$$

Довжина зони дозування приймається:

$$L_{\text{доз}} = (3 \dots 6) \times D = 5 \times 45 = 225 \text{ мм.}$$

Довжина зони стиснення приймається:

$$L_{\text{ст}} = L_{\text{роб}} - L_{\text{доз}} - L_{\text{зав}} = 1125 - 225 - 112,5 = 787,5 \text{ мм.}$$

Довжина опори і евольвентного зачеплення приймається: $L_{\text{ев}} = 170 \text{ мм};$

Довжина відбійної частини приймається:

$$L_{\text{відб}} = (0,1 \dots 0,5) \times D = 0,4 \times 45 = 18 \text{ мм.}$$

Загальна довжина черв'яка:

$$L = L_{\text{роб}} + L_{\text{торп}} + L_{\text{ев}} + L_{\text{відб}} = 1125 + 102 + 170 + 18 = 1415 \text{ мм.}$$

1.2 Розрахунок коефіцієнту геометричної форми екструзійної головки

Мета розрахунку: розрахувати коефіцієнт геометричної форми екструзійної головки.

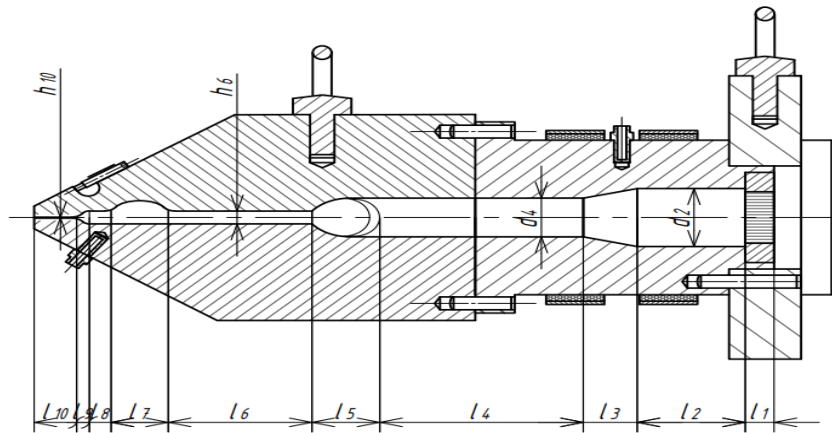


Рис. 1.2.1 – Схема плоскоциліндрної головки, що розраховується.

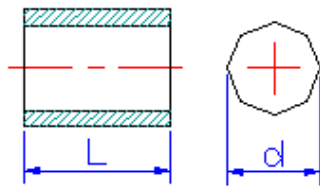
Розраховано за методикою [36].

Перша ділянка: розподільна решітка

$$K_1 = \frac{z \cdot \pi \cdot d_1^4}{128 \cdot b} = \frac{240 \cdot 3,14 \cdot 2^4}{128 \cdot 15} = 6,28 \text{ мм}^3,$$

де z – кількість отворів у решітці, шт, d_1 – діаметр отвору, мм, b – товщина решітки, мм.

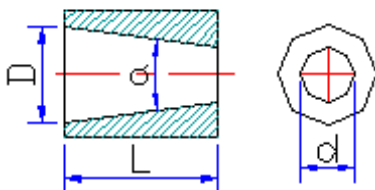
Друга ділянка: Круглий циліндровий канал



$$K_2 = \frac{\pi \cdot d_2^4}{128 \cdot l_2} = \frac{3,14 \cdot 45^4}{128 \cdot 60} = 1676,6 \text{ мм}^3,$$

де d_2 – діаметр каналу, мм, l_2 – довжина каналу, мм.

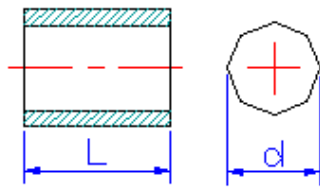
Третя ділянка: Круглий конічний канал з великим діаметром на вході



$$\begin{aligned} K_3 &= \frac{3\pi \cdot d_2^3 \cdot d_4^3}{128 \cdot l_3 \cdot (d_2^2 + d_2 \cdot d_4 + d_4^2)} = \\ &= \frac{3 \cdot 3,14 \cdot 45^3 \cdot 30^3}{128 \cdot 28 \cdot (45^2 + 45 \cdot 30 + 30^2)} = \\ &= 1512,7 \text{ мм}^3, \end{aligned}$$

де d_2 – діаметр каналу на вході, мм, d_4 – діаметр каналу на виході, мм,
 l_3 – довжина каналу, мм.

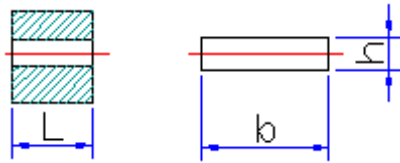
Четверта ділянка: Круглий циліндровий канал



$$K_4 = \frac{\pi \cdot d_4^4}{128 \cdot l_4} = \frac{3,14 \cdot 30^4}{128 \cdot 124} = 160,2 \text{ мм}^3,$$

де d_4 – діаметр каналу, мм, l_4 – довжина каналу, мм.

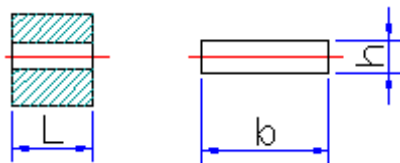
П'ята ділянка: Плоский щілинний канал



$$K_5 = \frac{b \cdot h_5^3}{12 \cdot l_5} = \frac{1000 \cdot 30^3}{12 \cdot 37} = 60810,8 \text{ мм}^3,$$

де b – ширина щілини, мм, h_5 – висота щілини, мм, l_5 – довжина каналу, мм.

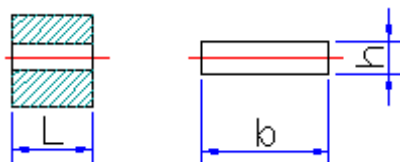
Шоста ділянка: Плоский щілинний канал



$$K_6 = \frac{b \cdot h_6^3}{12 \cdot l_6} = \frac{1000 \cdot 10^3}{12 \cdot 66} = 1262,6 \text{ мм}^3,$$

де b – ширина щілини, мм, h_6 – висота щілини, мм, l_6 – довжина каналу, мм.

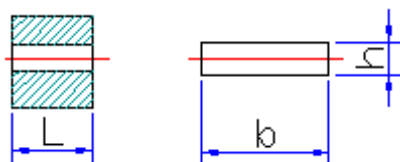
Сьома ділянка: Плоский щілинний канал



$$K_7 = \frac{b \cdot h_7^3}{12 \cdot l_7} = \frac{1000 \cdot 17,5^3}{12 \cdot 39} = 11451,7 \text{ мм}^3,$$

де b – ширина щілини, мм, h_7 – висота щілини, мм, l_7 – довжина каналу, мм.

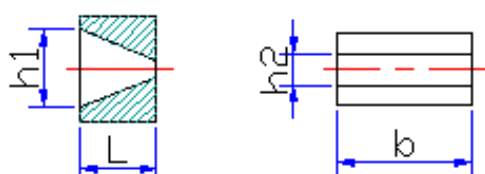
Восьма ділянка: Плоский щілинний канал



$$K_8 = \frac{b \cdot h_8^3}{12 \cdot l_8} = \frac{1000 \cdot 10^3}{12 \cdot 11} = 7575,8 \text{ мм}^3,$$

де b – ширина щілини, мм, h_8 – висота щілини, мм, l_8 – довжина каналу, мм.

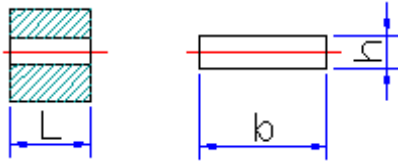
Дев'ята ділянка: Щілинний клиноподібний канал



$$K_9 = \frac{b \cdot h_8^2 \cdot h_{10}^2}{6 \cdot l_9 \cdot (h_8 + h_{10})} = \frac{1000 \cdot 10^2 \cdot 0,5^2}{6 \cdot 6 \cdot (10 + 0,5)} = 66,1 \text{ мм}^3,$$

де b – ширина щілини, мм, h_8 – висота щілини на вході, мм, h_{10} – висота щілини на виході, мм l_9 – довжина каналу, мм.

Десята ділянка: Плоский щілинний канал



$$K_{10} = \frac{b \cdot h_{10}^3}{12 \cdot l_{10}} = \frac{1000 \cdot 0,5^3}{12 \cdot 24} = 0,434 \text{ мм}^3,$$

де b – ширина щілини, мм, h_{10} – висота щілини, мм, l_{10} – довжина каналу, мм.

Сумарний коефіцієнт геометричної форми плоскощілинної головки:

$$K_{\text{сум}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5} + \frac{1}{K_6} + \frac{1}{K_7} + \frac{1}{K_8} + \frac{1}{K_9} + \frac{1}{K_{10}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{6,28} + \frac{1}{1676,6} + \frac{1}{1512,7} + \frac{1}{160,2} + \frac{1}{60810,8} + \frac{1}{1262,6} + \frac{1}{11451,7} + \frac{1}{7575,8} + \frac{1}{66,1} + \frac{1}{0,434}} =$$

$$= 0,402 \text{ мм}^3.$$

1.3 Розрахунок продуктивності екструдера на базі ЧП 45x25

Вихідні дані: діаметр черв'яка $D = 45$ мм, крок нарізки $t = 45$ мм, глибина гвинтового каналу шнека в зоні завантаження $h_1 = 6$ мм, глибина гвинтового каналу в зоні дозування $h_3 = 1,3$ мм, кут підйому гвинтової лінії $\varphi = 17,67^\circ$, діаметр стержня під завантажувальною воронкою $d_1 = 33$ мм, діаметр стержня в зоні дозування $d_3 = 42,4$ мм, довжина зони дозування – $l_d = 225$ мм, загальний коефіцієнт геометричної форми головки $K = 0,402 \text{ мм}^3$.

Розраховано за методикою [36].

Визначаємо ще такі параметри, як:

1. Глибину гвинтового каналу шнека в зоні пластикації:

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} L_0 = 0,006 - \frac{0,006 - 0,0013}{1,415} \cdot 0,6275 \approx 0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм};$$

$$L_0 = L - L_{\text{ст}} = 1,415 - 0,7875 = 0,6275 \text{ м};$$

де L – загальна довжина черв'яка, м, $L_{\text{ст}}$ – довжина зони стискання черв'яка, м.

2. Середня глибина нарізки:

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_2 + h_3}{2} = \frac{0,004 + 0,0013}{2} = 0,0027 \text{ м} = 2,7 \text{ мм.}$$

3. Постійні потоки.

Значення коефіцієнтів прямого потоку α , зворотного потоку β та потоку витоку γ визначаються наступним чином, для черв'яка з постійними геометричними розмірами нарізки:

3.1. Прямого потоку:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot D \cdot h_3 \cdot (t - \lambda \cdot e) \cos^2 \varphi}{2} = \frac{3,14 \cdot 45 \cdot 1,3 \cdot (45 - 1 \cdot 5) \cdot \cos^2(17,67^\circ)}{2} = 3335,3 \text{ мм}^3;$$

3.2. Зворотного потоку:

$$\beta = \frac{h_3^3 \cdot (t - \lambda \cdot e) \sin 2\varphi}{24 \cdot l_d} = \frac{1,3^3 \cdot (45 - 1 \cdot 5) \cdot \sin(2 \cdot 17,67^\circ)}{24 \cdot 225} = 9,413 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3;$$

3.3. Потоку витоків:

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \text{tg} \varphi \cdot \sin \varphi}{10 \cdot e \cdot l_d} = \frac{3,14^2 \cdot 45^2 \cdot 0,12^3 \cdot \text{tg}(17,67^\circ) \cdot \sin(17,67^\circ)}{10 \cdot 5 \cdot 225} = 2,97 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^3;$$

де λ – число заходів гвинтової нарізки (приймаємо $\lambda=1$), e – товщина гребеня нарізки черв'яка, мм; φ – підйому гвинтової лінії черв'яка, $^\circ$; l_d – довжина зони дозування, мм; δ – висота зазору між черв'яком та корпусом, мм.

4. Продуктивність екструдера.

4.1. Об'ємна:

$$Q = \frac{\alpha \cdot K \cdot n}{K + \beta + \gamma} = \frac{3335,3 \cdot 9,661 \cdot 1}{9,661 + 9,413 \cdot 10^{-3} + 2,97 \cdot 10^{-4}} = 3332 \text{ мм}^3/\text{с};$$

де K – загальний коефіцієнт геометричної форми головки, мм³; n – швидкість обертання черв'яка, с⁻¹.

$$n_{\text{кр}} = \frac{42,4}{60\sqrt{D}} = \frac{42,4}{60\sqrt{0,045}} = 3,33 \text{ с}^{-1};$$

$$n = (0,2 \dots 0,7) \cdot n_{\text{кр}} = 0,3 \cdot 3,33 = 1 \text{ с}^{-1};$$

де $n_{\text{кр}}$ – критична частота обертання черв'яка в зоні завантаження.

4.2. Вагова:

$$\Pi = 3600 \cdot Q \cdot \rho \cdot 10^{-9} = 3600 \cdot 3332 \cdot 823 \cdot 10^{-9} = 9,87 \text{ кг/год},$$

де ρ – густина розплаву полімеру при температурі переробки t (на виході з екструдера). Матеріал поліетилен низької щільності, температуру переробки приймаємо $t = 150^0$, $\rho = 823 \text{ кг/м}^3$.

1.4 Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці

Мета розрахунку: розрахувати швидкості зсуву $\dot{\gamma}_i$, ефективні в'язкості μ_i , за допомогою них знайти окремо для кожної з ділянок перепад тиску ΔP_i та сумарний перепад тиску ΔP .

Вихідні дані:

- Об'ємна продуктивність екструдера $Q = 3332 \text{ мм}^3/\text{с}$;
- ділянка 1 – $z = 240$ отворів діаметром $d = 2 \text{ мм}$, коефіцієнт геометричної форми $K_1 = 6,28 \text{ мм}^3$;
- ділянка 2 – діаметр каналу $d = 45 \text{ мм}$, коефіцієнт геометричної форми $K_2 = 1676,6 \text{ мм}^3$;
- ділянка 3 – діаметр каналу на вході $d_1 = 45 \text{ мм}$, діаметр каналу на виході $d_2 = 30 \text{ мм}$, коефіцієнт геометричної форми $K_3 = 1512,7 \text{ мм}^3$;
- ділянка 4 – діаметр каналу $d = 30 \text{ мм}$, коефіцієнт геометричної форми $K_4 = 160,2 \text{ мм}^3$;
- ділянка 5 – ширина каналу $b = 1000 \text{ мм}$, висота каналу $h = 30 \text{ мм}$, коефіцієнт геометричної форми $K_5 = 60810,8 \text{ мм}^3$;
- ділянка 6 – ширина каналу $b = 1000 \text{ мм}$, висота каналу $h = 10 \text{ мм}$, коефіцієнт геометричної форми $K_6 = 1262,6 \text{ мм}^3$;
- ділянка 7 – ширина каналу $b = 1000 \text{ мм}$, висота каналу $h = 17,5 \text{ мм}$, коефіцієнт геометричної форми $K_6 = 11451,7 \text{ мм}^3$;

- ділянка 8 – ширина каналу $b = 1000$ мм, висота каналу $h = 10$ мм, коефіцієнт геометричної форми $K_6 = 7575,8$ мм³;
- ділянка 9 – ширина каналу $b = 1000$ мм, висота каналу на вході $h_1 = 10$ мм, висота каналу на виході $h_2 = 0,5$ мм, коефіцієнт геометричної форми $K_9 = 66,1$ мм³;
- ділянка 10 – ширина каналу $b = 1000$ мм, висота каналу $h = 0,5$ мм, коефіцієнт геометричної форми $K_6 = 0,434$ мм³.

Розраховано за методикою [36].

Перша ділянка: розподільна решітка

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3 \cdot z} = \frac{32 \cdot 3332}{3,14 \cdot 2^3 \cdot 240} = 17,7 \text{ с}^{-1};$$

$$\lg \mu_1 = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_1 + B = -0,558 \cdot \lg 17,7 + 4,102 = 3,41 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_1 = 10^{\lg \mu_1} = 10^{3,41} = 2570,4 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\Delta P_1 = \frac{Q \cdot \mu_1}{K_1} \cdot 10^{-6} = \frac{3332 \cdot 2570,4}{6,28} \cdot 10^{-6} = 1,364 \text{ МПа}.$$

Друга ділянка: Круглий циліндровий канал

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 3332}{3,14 \cdot 45^3} = 0,37 \text{ с}^{-1};$$

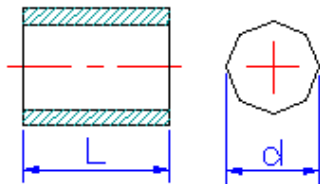
$$\lg \mu_2 = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_2 + B =$$

$$= -0,558 \cdot \lg 0,37 + 4,102 = 4,34 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

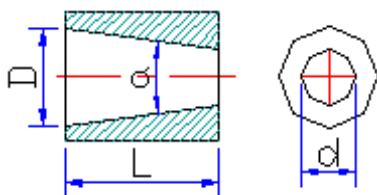
$$\mu_2 = 10^{\lg \mu_2} = 10^{4,34} = 21877,62 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\Delta P_2 = \frac{Q \cdot \mu_2}{K_2} \cdot 10^{-6} =$$

$$= \frac{3332 \cdot 21877,62}{1676,6} \cdot 10^{-6} = 0,043 \text{ МПа}.$$



Третя ділянка: Круглий конічний канал з великим діаметром на вході



$$\dot{\gamma}_3 = \frac{256 \cdot Q}{\pi \cdot (D + d)^3} = \frac{256 \cdot 3332}{3,14 \cdot (45 + 30)^3} = 0,64 \text{ с}^{-1};$$

$$\lg \mu_3 = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_3 + B =$$

$$= -0,558 \cdot \lg 0,64 + 4,102 = 4,21 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_3 = 10^{\lg \mu_3} = 10^{4,21} = 16218,1 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\Delta P_3 = \frac{Q \cdot \mu_3}{K_3} \cdot 10^{-6} =$$

$$= \frac{3332 \cdot 16218,1}{1512,7} \cdot 10^{-6} = 0,036 \text{ МПа}.$$

Четверта ділянка: Круглий циліндровий канал

$$\dot{\gamma}_4 = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 3332}{3,14 \cdot 30^3} = 1,26 \text{ с}^{-1};$$

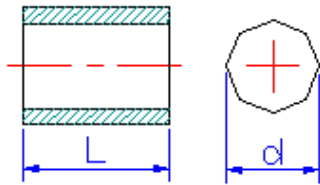
$$\lg \mu_4 = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_4 + B =$$

$$= -0,558 \cdot \lg 1,26 + 4,102 = 4,05 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_4 = 10^{\lg \mu_4} = 10^{4,05} = 11220,18 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\Delta P_4 = \frac{Q \cdot \mu_4}{K_4} \cdot 10^{-6} =$$

$$= \frac{3332 \cdot 11220,18}{160,2} \cdot 10^{-6} = 0,233 \text{ МПа}.$$



П'ята ділянка: Плоский щілинний канал

$$\dot{\gamma}_5 = \frac{5,58 \cdot Q}{b \cdot h^2} = \frac{5,58 \cdot 3332}{1000 \cdot 30^2} = 0,021 \text{ с}^{-1};$$

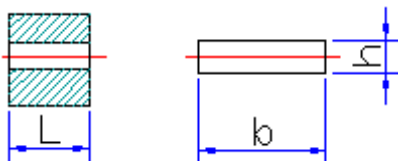
$$\lg \mu_5 = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_5 + B =$$

$$= -0,558 \cdot \lg 0,021 + 4,102 = 5,04 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_5 = 10^{\lg \mu_5} = 10^{5,04} = 109647,82 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\Delta P_5 = \frac{Q \cdot \mu_5}{K_5} \cdot 10^{-6} =$$

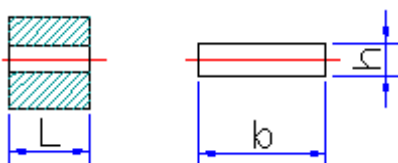
$$= \frac{3332 \cdot 109647,82}{60810,8} \cdot 10^{-6} = 0,006 \text{ МПа}.$$



Шоста ділянка: Плоский щілинний канал

$$\dot{\gamma}_6 = \frac{5,58 \cdot Q}{b \cdot h^2} = \frac{5,58 \cdot 3332}{1000 \cdot 10^2} = 0,19 \text{ с}^{-1};$$

$$\lg \mu_6 = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_6 + B =$$



$$= -0,558 \cdot \lg 0,19 + 4,102 = 4,504 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_6 = 10^{\lg \mu_6} = 10^{4,504} = 31915,38 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\Delta P_6 = \frac{Q \cdot \mu_6}{K_6} \cdot 10^{-6} =$$

$$= \frac{3332 \cdot 31915,38}{1262,6} \cdot 10^{-6} = 0,084 \text{ МПа}.$$

Сьома ділянка: Плоский щілинний канал

$$\dot{\gamma}_7 = \frac{5,58 \cdot Q}{b \cdot h^2} = \frac{5,58 \cdot 3332}{1000 \cdot 17,5^2} = 0,061 \text{ с}^{-1};$$

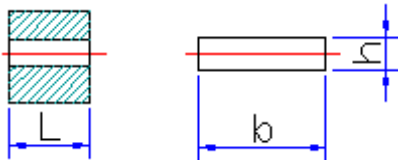
$$\lg \mu_7 = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_7 + B =$$

$$= -0,558 \cdot \lg 0,061 + 4,102 = 4,78 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_7 = 10^{\lg \mu_7} = 10^{4,78} = 60255,96 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\Delta P_7 = \frac{Q \cdot \mu_7}{K_7} \cdot 10^{-6} =$$

$$= \frac{3332 \cdot 60255,96}{11451,7} \cdot 10^{-6} = 0,018 \text{ МПа}.$$



Восьма ділянка: Плоский щілинний канал

$$\dot{\gamma}_8 = \frac{5,58 \cdot Q}{b \cdot h^2} = \frac{5,58 \cdot 3332}{1000 \cdot 10^2} = 0,19 \text{ с}^{-1};$$

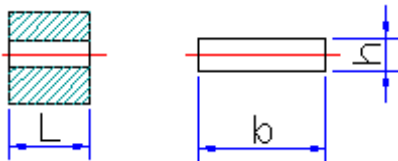
$$\lg \mu_8 = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_8 + B =$$

$$= -0,558 \cdot \lg 0,19 + 4,102 = 4,504 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_8 = 10^{\lg \mu_8} = 10^{4,504} = 31915,38 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\Delta P_8 = \frac{Q \cdot \mu_8}{K_8} \cdot 10^{-6} =$$

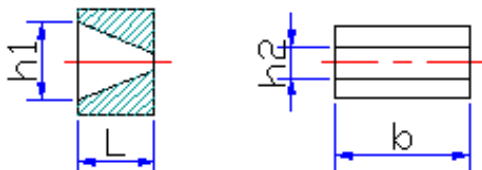
$$= \frac{3332 \cdot 31915,38}{7575,8} \cdot 10^{-6} = 0,014 \text{ МПа}.$$



Дев'ята ділянка: Щілинний клиноподібний канал

$$\dot{\gamma}_9 = \frac{11,2 \cdot Q}{b \cdot (h_1 + h_2)^2} =$$

$$= \frac{11,2 \cdot 3332}{1000 \cdot (10 + 0,5)^2} =$$



$$= 0,338 \text{ c}^{-1};$$

$$\begin{aligned} \lg \mu_9 &= -A \cdot \lg \dot{\gamma}_9 + B = \\ &= -0,558 \cdot \lg 0,338 + 4,102 = \\ &= 4,365 \text{ Па} \cdot \text{с}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_9 &= 10^{\lg \mu_9} = 10^{4,365} = \\ &= 23173,95 \text{ Па} \cdot \text{с}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_9 &= \frac{Q \cdot \mu_9}{K_9} \cdot 10^{-6} = \\ &= \frac{3332 \cdot 23173,95}{66,1} \cdot 10^{-6} = \\ &= 1,168 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

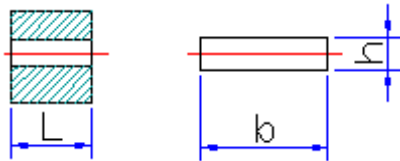
Десята ділянка: Плоский щілинний канал

$$\dot{\gamma}_{10} = \frac{5,58 \cdot Q}{b \cdot h^2} = \frac{5,58 \cdot 3332}{1000 \cdot 0,5^2} = 74,37 \text{ c}^{-1};$$

$$\begin{aligned} \lg \mu_{10} &= -A \cdot \lg \dot{\gamma}_{10} + B = \\ &= -0,558 \cdot \lg 74,37 + 4,102 = \\ &= 3,058 \text{ Па} \cdot \text{с}; \end{aligned}$$

$$\mu_{10} = 10^{\lg \mu_{10}} = 10^{3,058} = 3221,07 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{10} &= \frac{Q \cdot \mu_{10}}{K_{10}} \cdot 10^{-6} = \\ &= \frac{3332 \cdot 3221,07}{0,434} \cdot 10^{-6} = 24,73 \text{ МПа}. \end{aligned}$$



Значення сумарного перепаду тиску в екструзійній головці:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \sum \Delta P_i = \\ &= 1,364 + 0,043 + 0,036 + 0,233 + 0,006 + 0,084 + 0,018 + 0,014 + 1,168 + 24,73 = \\ &= 27,7 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

1.5 Розрахунок потужності приводу екструдера на базі ЧП 45х25

Мета розрахунку: розрахувати потужність приводу екструдера та обрати відповідний двигун.

Вихідні дані: крок нарізки $t = 4,5$ см; товщина гребеня $e = 0,5$ см; загальна довжина черв'яка $L = 141,5$ см; частота обертання черв'яка $n = 1$ с⁻¹; коефіцієнт прямого потоку $\alpha = 3,3353$ см³; сумарний перепад тиску $\Delta P = 27,7$ МПа, діаметр черв'яка $D = 4,5$ см; глибина гвинтового каналу шнека в зоні пластикації $h_2 = 0,4$ см.

Розраховано за методикою [36].

Потужність, споживана екструдером (N , Вт) для переробки пластичних мас, йде на переміщення матеріалу в гвинтовому каналі черв'яка (N_1) і на зріз матеріалу в зазорі між гребенем черв'яка і внутрішньою стінкою циліндра або гільзи (N_2)

$$N = N_1 + N_2 = 249,74 + 909,93 = 1159,67 \text{ Вт} = 1,16 \text{ кВт.}$$

Потужність, що витрачається на переміщення матеріалу в гвинтовому каналі, для черв'яка зі змінною глибиною нарізки

$$\begin{aligned} N_1 &= 9,8 \cdot 10^{-7} \cdot \left[\frac{\pi^3 (t - e) L J \mu_{\text{еф}}}{t} n^2 + \alpha \cdot \Delta P \cdot n \right] = \\ &= 9,8 \cdot 10^{-7} \cdot \left[\frac{3,14^3 \cdot (4,5 - 0,5) \cdot 141,5 \cdot 880 \cdot 1489,4}{45} \cdot 1^2 + 3,3353 \cdot 27,7 \cdot 10^6 \cdot 1 \right] = \\ &= 249,74 \text{ Вт} = 0,25 \text{ кВт} \end{aligned}$$

де α – коефіцієнт прямого потоку, см³,

ΔP – загальний перепад тиску в головці, Па,

n – швидкість обертання черв'яка, с⁻¹,

$\mu_{\text{еф}}$ – ефективна в'язкість, Па·с;

J – коефіцієнт, см².

$$J = \frac{\pi^2 D^2 - 4t^2}{\pi^2} + \frac{(D + d_3)^3 - (D + d_2)^3}{3(d_3 - d_2)} + \frac{2,3\pi^2 D^5 \ln \frac{h_2}{h_3}}{(t^2 + \pi^2 D^2)(h_2 - h_3)} =$$

$$= \frac{3,14^2 \cdot 0,045^2 - 4 \cdot 0,045^2}{3,14^2} + \frac{(0,045 + 0,0424)^3 - (0,045 + 0,037)^3}{3 \cdot (0,0424 - 0,037)} +$$

$$+ \frac{2,3 \cdot 3,14^2 \cdot 0,045^5 \cdot \ln \frac{0,004}{0,0013}}{(0,045^2 + 3,14^2 \cdot 0,045^2)(0,004 - 0,0013)} = 0,088 \text{ м}^2 = 880 \text{ см}^2;$$

де d_2 – діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення, м

$$d_2 = D - 2h_2 = 0,045 - 2 \cdot 0,004 = 0,037 \text{ м.}$$

Швидкість зсуву в спіральному каналі шнека:

$$\dot{\gamma}_{\text{ск}} = \frac{\pi^2 (D - h_{\text{сп}})(D - 2h_{\text{сп}})n}{h_{\text{сп}} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{\text{сп}})^2 + t^2}} =$$

$$= \frac{3,14^2 \cdot (0,045 - 0,0027)(0,045 - 2 \cdot 0,0027) \cdot 1}{0,0027 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot (0,045 - 2 \cdot 0,0027)^2 + 0,045^2}} = 46,26 \text{ с}^{-1};$$

Ефективна в'язкість в спіральному каналі шнека для ПЕНГ при температурі

150 °С:

$$\lg \mu_{\text{еф1}} = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_{\text{ск}} + B = -0,558 \cdot \lg 46,26 + 4,102 = 3,173 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{еф1}} = 10^{\lg \mu_{\text{еф1}}} = 10^{3,173} = 1489,4 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Потужність, що витрачається на зріз матеріалу в зазорі між гребенем черв'яка і внутрішньою стінкою циліндра або гільзи, для черв'яка зі змінною глибиною нарізки

$$N_2 = 9,8 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\pi^3 D^3 e L \mu_{\text{еф}}}{\delta t} n^2 =$$

$$= 9,8 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{3,14^3 \cdot 4,5^3 \cdot 0,5 \cdot 141,5 \cdot 251,2}{0,012 \cdot 4,5} \cdot 1^2 = 909,93 \text{ Вт} = 0,91 \text{ кВт.}$$

Швидкість зсуву в зазорі між гребенем шнека та стінкою циліндра:

$$\dot{\gamma}_6 = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 \cdot 0,045^2 \cdot 1}{0,00012 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot 0,045^2 + 0,045^2}} = 1122 \text{ с}^{-1};$$

Ефективна в'язкість в зазорі між гребенем шнека та стінкою циліндра для ПЕНГ при температурі 150 °С:

$$\lg \mu_{\text{еф2}} = -A \cdot \lg \dot{\gamma}_6 + B = -0,558 \cdot \lg 1122 + 4,102 = 2,4 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

					ЛП93.027246.02-70PP	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		14

$$\mu_{\text{еф2}} = 10^{\lg \mu_{\text{еф2}}} = 10^{2,4} = 251,2 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Потужність двигуна $N_{\text{дв}}$ приводу екструдера (кВт) повинна бути вищою на величину $\text{ККД} = 0,4 \dots 0,6$, щоб компенсувати невраховані втрати: на подолання сил тертя, на механічні втрати в приводі екструдера та ін., тобто

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{0,4 \dots 0,6} = \frac{1,16}{0,6} = 1,93 \text{ кВт}.$$

Обираємо асинхронний трифазний електродвигун Delphi 90lb-4 B5 з потужністю 1,9 кВт.

					ЛП93.027246.02-70PP	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		15

2. Розрахунки на міцність та жорсткість

2.1 Розрахунок черв'яка на міцність

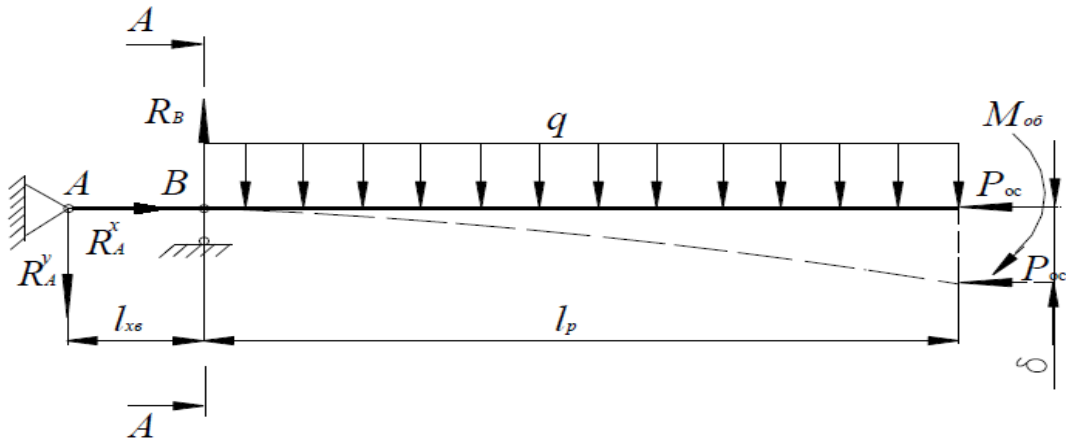


Рис. 2.1.1 – Схема черв'яка для перевірки на міцність та жорсткість.

Вихідні дані: матеріал черв'яка Сталь 40Х, границя текучості $\sigma_T=800$ МПа, густина матеріалу черв'яка $\rho=7820$ кг/м³, потужність приводу: $N=1,93$ кВт, кут підйому нарізки $\varphi=17,67^\circ$, крок нарізки $t=0,045$ м, швидкість обертання черв'яка $n=60$ об/хв, діаметр черв'яка $D=0,045$ м, довжина робочої частини $l_p=1,125$ м, діаметр осердя в зоні завантаження $d_1=0,033$ м.

Розраховуємо за методикою [38]:

Крутний момент:

$$M_{кр} = \frac{30N}{\pi n} = \frac{30 \cdot 1930}{3,14 \cdot 60} = 307,33 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Осьове зусилля:

$$P_{ос} = \frac{2M_{кр}}{D} \operatorname{tg} \varphi = \frac{2 \cdot 307,33}{0,045} \cdot \operatorname{tg} 17,67^\circ = 4351,3 \text{ Н};$$

Розподілене навантаження від власної ваги черв'яка:

$$q = \frac{9,8G}{l_p} = \frac{9,8 \cdot 14}{1,125} = 121,95 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Маса черв'яка:

$$G = \frac{\pi D^2}{4} \rho l_p = \frac{3,14 \cdot 0,045^2}{4} \cdot 7820 \cdot 1,125 = 14 \text{ кг};$$

Стискальне напруження в тілі черв'яка:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{ос}}}{F} + \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{4351,3}{8,55 \cdot 10^{-4}} + \frac{77,17}{3,53 \cdot 10^{-6}} = 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 27 \text{ МПа};$$

Площина небезпечного перерізу:

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} (1 - \alpha^2) = \frac{3,14 \cdot 0,033^2}{4} = 8,55 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\alpha = \frac{d_0}{d_1} = 0$$

Максимальний згинальний момент від власної ваги:

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{2} q l_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 121,95 \cdot 1,125^2 = 77,17 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Осьовий момент опору:

$$W_x = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,033^3}{32} = 3,53 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

Дотичні напруження:

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{W_p} = \frac{307,33}{7,05 \cdot 10^{-6}} = 4,4 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 44 \text{ МПа};$$

Полярний момент опору:

$$W_p = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,033^3}{16} = 7,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

Еквівалентне напруження за III теорією міцності:

$$\sigma_{\text{екв III}} = \sqrt{\sigma_{\text{ст}}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{27^2 + 4 \cdot 44^2} = 92,1 \text{ МПа};$$

Коефіцієнт запасу повинен перевищувати допустиме значення або дорівнювати йому ([n] беруть рівним 1,6...2,0):

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{\text{екв III}}} = \frac{800}{92,1} = 8,69 \geq [n] = 1,6 \dots 2,0$$

Запасу міцності достатньо для працездатності черв'яка.

2.2 Розрахунок черв'яка на жорсткість

Вихідні дані: матеріал черв'яка – сталь 40Х, діаметр осердя в зоні завантаження $d_1=0,033$ м, довжина робочої частини $l_p=1,125$ м, модуль пружності $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

					ЛП93.027246.02-70РР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		17

Окрім умов міцності важливим є забезпечення умов жорсткості – максимальний угин черв'яка повинен бути меншим конструкційного зазору, тобто $\delta \geq \delta_p$.

Розраховано за методикою [38].

Полярний момент інерції перерізу:

$$I = \frac{\pi d_1^4}{64} (1 - \alpha^4) = \frac{3,14 \cdot 0,033^4}{64} = 5,82 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

Радіус інерції:

$$i = \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{5,82 \cdot 10^{-8}}{8,55 \cdot 10^{-4}}} = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

Ступінь жорсткості:

$$\lambda = \frac{\mu l_p}{i} = \frac{2 \cdot 1,125}{8,3 \cdot 10^{-3}} = 271,08$$

$\lambda > 50$, черв'як вважається нежорстким, тому перевіряється на найбільший прогин за формулою:

$$\begin{aligned} \delta_p &= \frac{1}{EI} \left[\frac{q}{k^2} \left(\frac{1}{k^2} + \left(\frac{1}{k^2} + \frac{l_p^2}{2} \right) \right) - \frac{1}{k} \left(\frac{q}{k^3} - A l_p \right) \cos(k l_p) - \frac{1}{k^2} \left(\frac{q l_p}{k} - A \right) \sin(k l_p) \right] = \\ &= \frac{1}{2,14 \cdot 10^{11} \cdot 5,82 \cdot 10^{-8}} \cdot \left[\frac{121,95}{0,59^2} \left(\frac{1}{0,59^2} + \left(\frac{1}{0,59^2} + \frac{1,125^2}{2} \right) \right) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{0,59} \left(\frac{121,95}{0,59^3} - 21,2 \cdot 1,125 \right) \cos(0,59 \cdot 1,125) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{0,59^2} \left(\frac{121,95 \cdot 1,125}{0,59} - 21,2 \right) \sin(0,59 \cdot 1,125) \right] = \\ &= 0,08 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$k = \sqrt{\frac{P_{oc}}{EI}} = \sqrt{\frac{4351,3}{2,14 \cdot 10^{11} \cdot 5,82 \cdot 10^{-8}}} = 0,59;$$

$$A = \frac{q \left(l_p - \frac{1}{k} \sin(k l_p) \right)}{k \cos(k l_p)} = \frac{121,95 \left(1,125 - \frac{1}{0,59} \cdot \sin(0,59 \cdot 1,125) \right)}{0,59 \cdot \cos(0,59 \cdot 1,125)} = 21,2;$$

$$\delta = 0,12 \text{ мм} > \delta_p = 0,08 \text{ мм}.$$

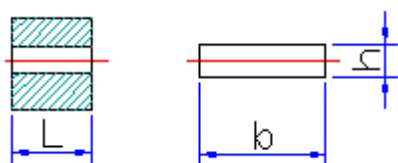
Отриманий результат задовольняє умову жорсткості.

					ЛП93.027246.02-70PP	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		18

3. Розрахунки на ПЕОМ

У цьому програмному розрахунку мовою C++ у середовищі Microsoft Visual Studio 2022 [37] проводиться порівняння значення коефіцієнту геометричної форми останнього каналу прямо на виході сформованого матеріалу з головки, в якому можна регулювати висоту щілини гнучкими губками.

Остання ділянка: Плоский щілинний канал



$$K_{\text{ост.діл}} = \frac{b \cdot h_{\text{ост.діл}}^3}{12 \cdot l_{\text{ост.діл}}}$$

де b – ширина щілини, мм, $h_{\text{ост.діл}}$ – висота щілини останньої ділянки, мм, $l_{\text{ост.діл}}$ – довжина каналу останньої ділянки, мм

Таблиця 3.1

Таблиця ідентифікаторів

№	За текстом	У програмі	Числове значення	Одиниця вимірювання	Тип
1	b	b	1000	мм	Double
2	h_1	h1	0,5	мм	Double
3	h_2	h2	10	мм	Double
4	l_1	l1	16	мм	Double
5	l_2	l2	24	мм	
6	l_3	l3	32	мм	
6	n	toch	20	-	Integer
7	Δn	tochka	Обчислюється	-	Integer
8	Δh	kh	Також	мм	Double
9	H	h	Також	мм	Double
10	K	K1, K2, K3	Також	мм ³	Double

Блок-схема представлена нижче на рис. 3.1.

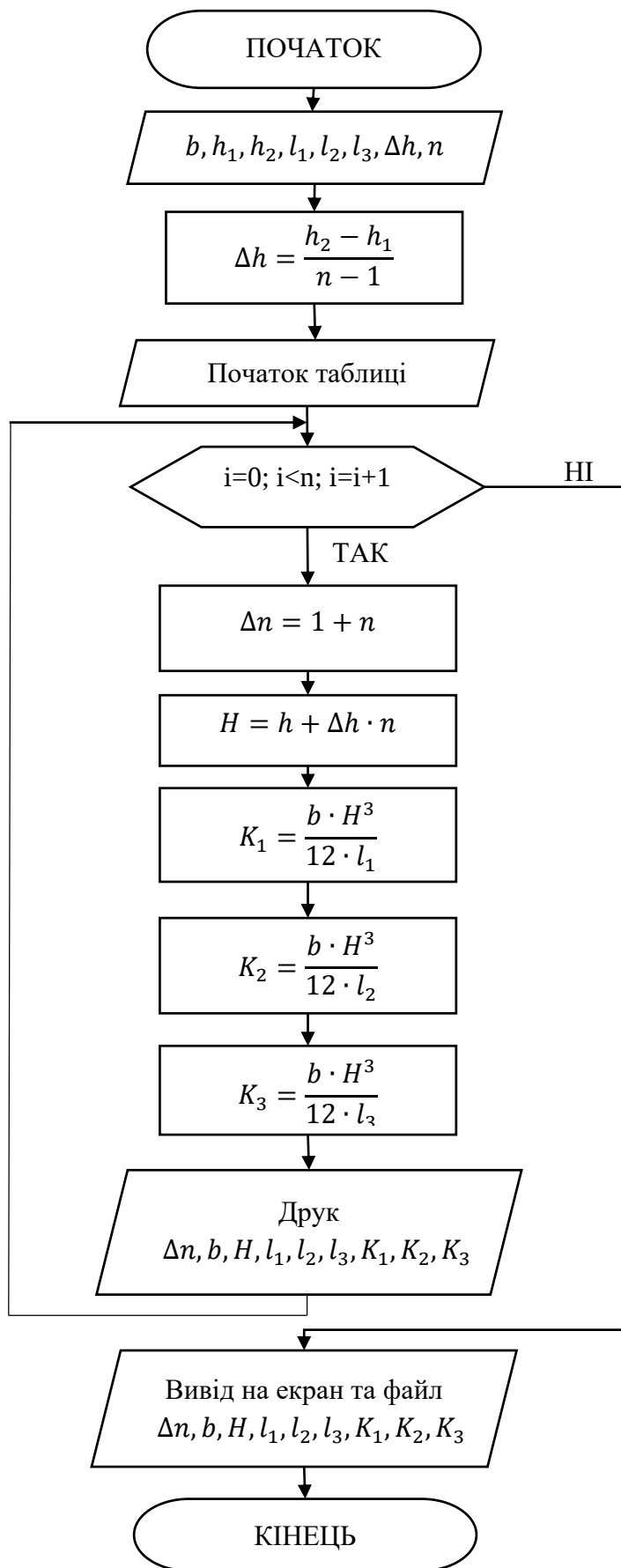


Рис. 3.1 – Блок-схема

Microsoft Visual Studio Debug

РОЗКРИЙТЕ ВІКНО НА ВЕСЬ ЕКРАН ДЛЯ КОРЕКТНОГО ВИГЛЯДУ ТАБЛИЦІ!!!

Точка	b, мм	l1, мм	h, мм	K1, мм3	b, мм	l2, мм	h, мм	K2, мм3	b, мм	l3, мм	h, мм	K3, мм3
1	1000.00	16.00	0.50	0.65	1000.00	24.00	0.50	0.43	1000.00	32.00	0.50	0.33
2	1000.00	16.00	1.00	5.21	1000.00	24.00	1.00	3.47	1000.00	32.00	1.00	2.60
3	1000.00	16.00	1.50	17.58	1000.00	24.00	1.50	11.72	1000.00	32.00	1.50	8.79
4	1000.00	16.00	2.00	41.67	1000.00	24.00	2.00	27.78	1000.00	32.00	2.00	20.83
5	1000.00	16.00	2.50	81.38	1000.00	24.00	2.50	54.25	1000.00	32.00	2.50	40.69
6	1000.00	16.00	3.00	140.62	1000.00	24.00	3.00	93.75	1000.00	32.00	3.00	70.31
7	1000.00	16.00	3.50	223.31	1000.00	24.00	3.50	148.87	1000.00	32.00	3.50	111.65
8	1000.00	16.00	4.00	333.33	1000.00	24.00	4.00	222.22	1000.00	32.00	4.00	166.67
9	1000.00	16.00	4.50	474.61	1000.00	24.00	4.50	316.41	1000.00	32.00	4.50	237.30
10	1000.00	16.00	5.00	651.04	1000.00	24.00	5.00	434.03	1000.00	32.00	5.00	325.52
11	1000.00	16.00	5.50	866.54	1000.00	24.00	5.50	577.69	1000.00	32.00	5.50	433.27
12	1000.00	16.00	6.00	1125.00	1000.00	24.00	6.00	750.00	1000.00	32.00	6.00	562.50
13	1000.00	16.00	6.50	1430.34	1000.00	24.00	6.50	953.56	1000.00	32.00	6.50	715.17
14	1000.00	16.00	7.00	1786.46	1000.00	24.00	7.00	1190.97	1000.00	32.00	7.00	893.23
15	1000.00	16.00	7.50	2197.27	1000.00	24.00	7.50	1464.84	1000.00	32.00	7.50	1098.63
16	1000.00	16.00	8.00	2666.67	1000.00	24.00	8.00	1777.78	1000.00	32.00	8.00	1333.33
17	1000.00	16.00	8.50	3198.57	1000.00	24.00	8.50	2132.38	1000.00	32.00	8.50	1599.28
18	1000.00	16.00	9.00	3796.88	1000.00	24.00	9.00	2531.25	1000.00	32.00	9.00	1898.44
19	1000.00	16.00	9.50	4465.49	1000.00	24.00	9.50	2977.00	1000.00	32.00	9.50	2232.75
20	1000.00	16.00	10.00	5208.33	1000.00	24.00	10.00	3472.22	1000.00	32.00	10.00	2604.17

D:\source\repos\KursovaRobotat\X64\Debug\KursovaRobotat.exe (process 25004) exited with code 0.
To automatically close the console when debugging stops, enable Tools->Options->Debugging->Automatically close the console when debugging stops.
Press any key to close this window . . .

Рис. 3.2 – Результати розрахунку

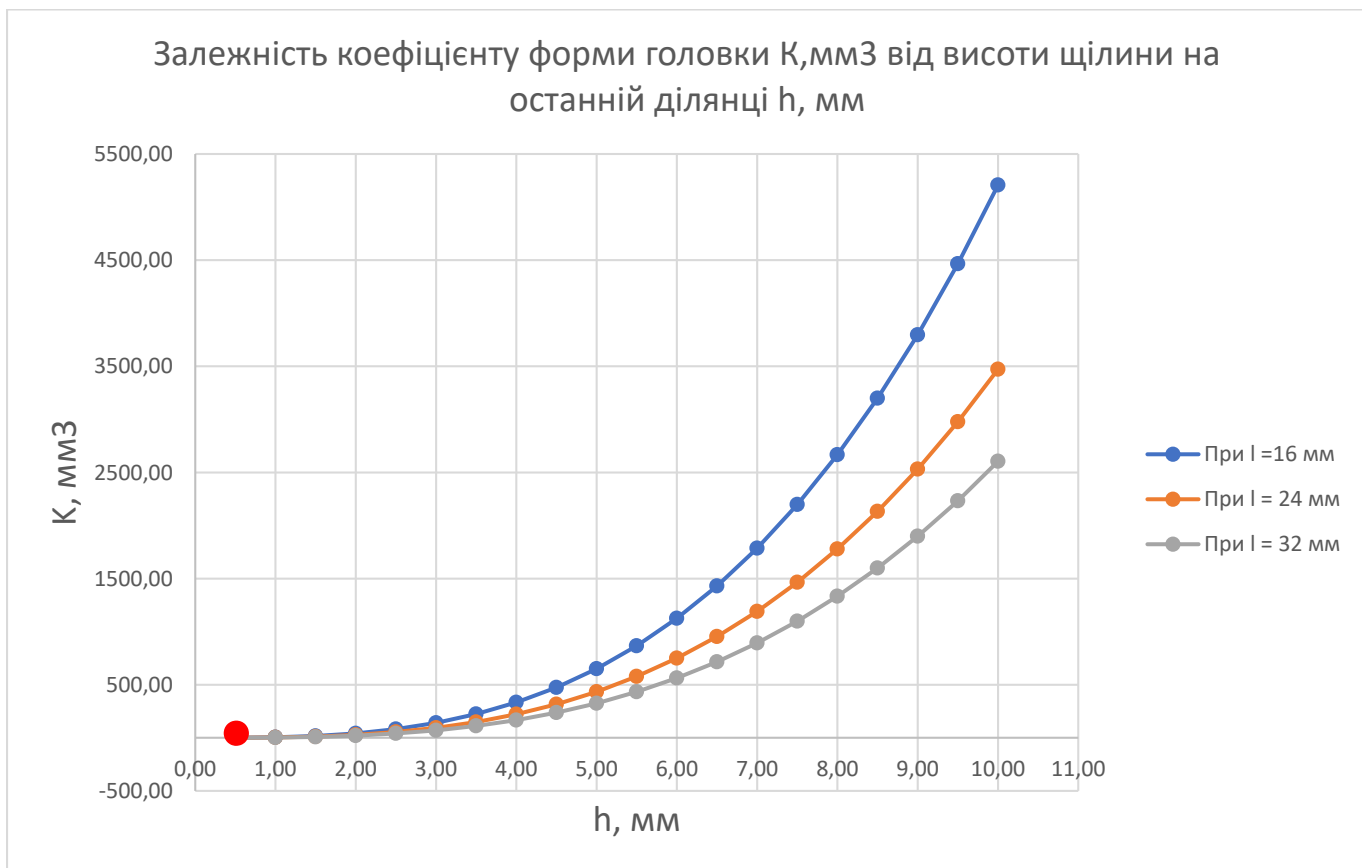


Рис. 3.3 – Графік

З наявного побудованого графіка (рис. 3.3) ми бачимо, що при довжині каналу $l=16$ мм коефіцієнт геометричної форми більший та росте він швидше при зміні висоти каналу $h=0,5...10$ мм кроком $0,5$ мм при постійній ширині каналу $b=1000$ мм. При $l=32$ мм коефіцієнт є меншим та росте він повільніше, тому що супротиву в каналах виникає менше через довшу довжину каналу та збільшення висоти каналу тим же кроком. Наприклад, при робочій точці, коли $h=0,5$ мм, $l=24$ мм, $b=1000$ мм, коефіцієнт геометричної форми K дорівнює $0,43$ м³, при таких значеннях висоти та ширини каналу при $l = 16$ мм – $K=0,65$ м³, а при $l=24$ мм – $K=0,33$ мм³. Отже, можна дійти до висновку, що при однакових ширині та висоті каналу, але при збільшенні довжини, ми маємо менші значення коефіцієнту геометричної форми на цій ділянці (оскільки ця складова знаходиться у знаменнику розрахункової формули).

4. Дослідження впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність тришарової полімерної плівки з наномодифікованим середнім шаром

4.1 Вибір методу дослідження та опис обраного програмного комплексу

Для того, щоб дослідити вплив рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевої тришарової плівки, де середній шар є наномодифікованим, обрано метод скінчених елементів, тобто МСЕ. Завдяки ньому ми можемо поєднати декілька матеріалів для визначення потрібних нам характеристик. Також є можливість встановлювати свої закони для кожного із скінчених елементів та ними описувати зв'язок між силами та переміщеннями у вузлах наших матеріалів.

За допомогою програм з МСЕ маємо змогу вирішити задачі термoprужності, механіки деформованого тіла, теплопровідності тощо. Таких програм багато, але серед них ми маємо найбільш популярні програми, які вивчаються студентами, такі як: APROKS (Україна, НТУУ «КПІ»), ABAQUS (Сполучені Штати Америки) та ANSYS (Сполучені Штати Америки). Цей набір програм дозволяє провести більш детальний аналіз та моделювання взаємодії компонентів досліджуваного зразка.

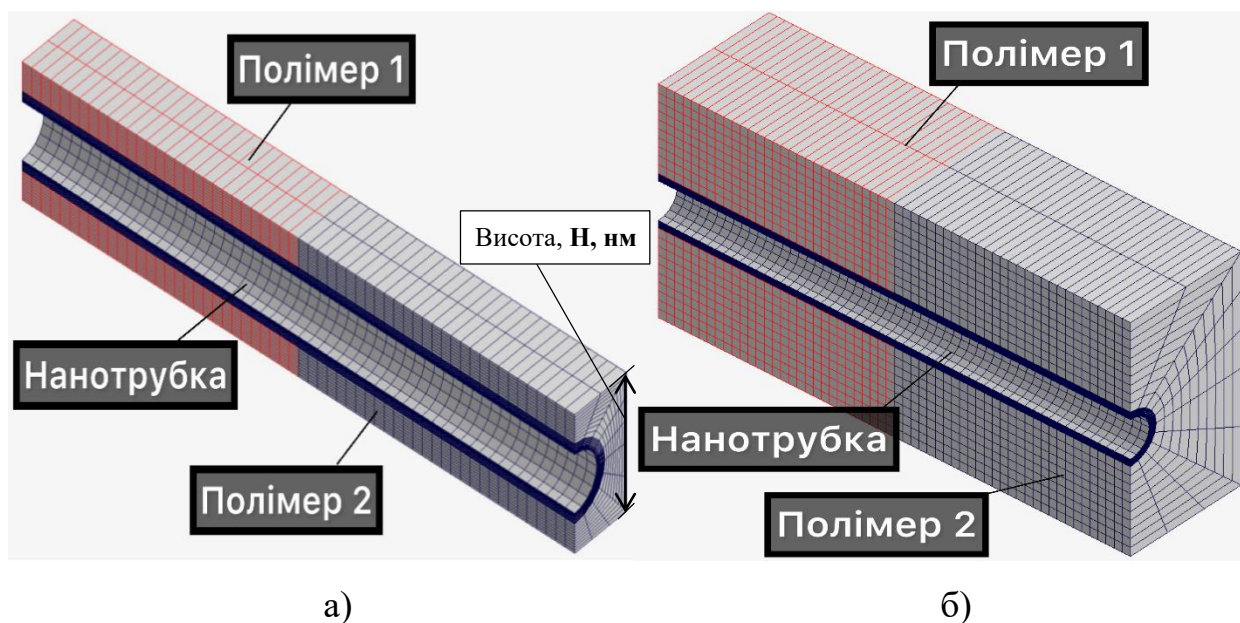
Для дослідження впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевої тришарової плівки ми застосуємо програму APROKS, де змоделюємо процес руйнування композиції «нанотрубка-полімер» за допомогою зсуву двох рівно поділених частин зразка в протилежні боки.

Цей підхід дозволить нам оцінити вплив наномодифікації на міцність плівки, враховуючи її структуру та взаємодію між матеріалами. Застосування програми APROKS дозволить нам вивчити процес руйнування і зрозуміти, як зсуви впливають на міцність плівки. У результаті отримані дані допоможуть зробити висновки про ефективність наномодифікації полімеру і можливості його застосування у виробництві. Подальші дослідження в цьому напрямку можуть привести до поліпшення властивостей матеріалу та розробки нових інноваційних рішень у сфері полімерних багатошарових плівок.

4.2 Математична модель отримання параметрів міцності в залежності від рівня наномодифікації полімеру

Чисельне моделювання процесів деформування матеріалу за допомогою накладення ще більшого навантаження зсуву та оцінка підвищення параметрів міцності тришарової плівки з наявним середнім наномодифікованим шаром полімеру здійснюється за допомогою методу Ньютона-Канторовича, де покроково-ітераційно навантажують кожен із шарів полімеру, один з яких зсувається вгору, тоді як інший шар зсувається вниз. Це створює навантаження, що дозволяє проаналізувати вплив наномодифікованого шару на міцність багатошарової плівки при більш складних умовах..

На рис 4.2.1 представлено моделі, що використовуються для розрахунку потрібних нам процесів, при висоті зразка $H=0,8$ нм та $H=2$ нм, який змінює співвідношення розміру зразка з нанотрубкою. Бачимо, що при меншому коефіцієнті нанотрубка займає площу більше, ніж при більшому, через зменшення об'єму зразка (нанотрубка (рис 4.2.2) залишається своїх розмірів).



а) – при $H = 0,8$ нм; б) – при $H = 2$ нм.

Рис. 4.2.1 – Скінченно-елементні моделі елементарного об'єму двохполімерних шарів з вуглецевою нанотрубкою

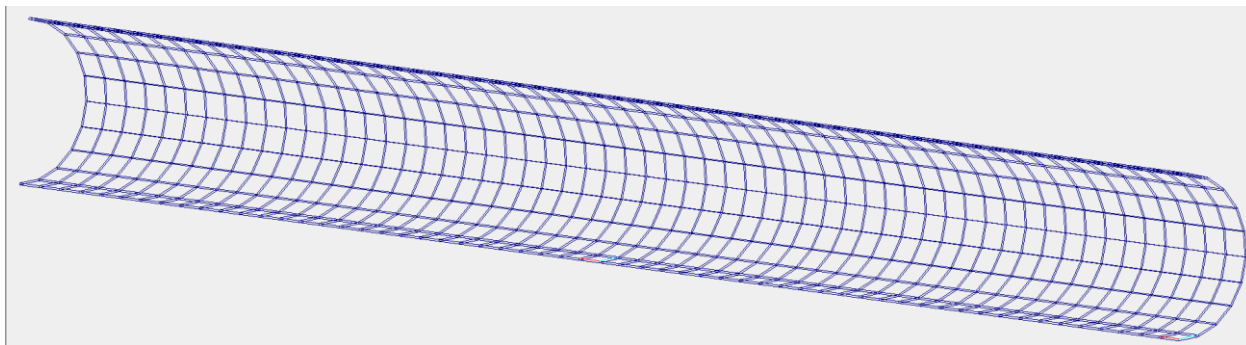
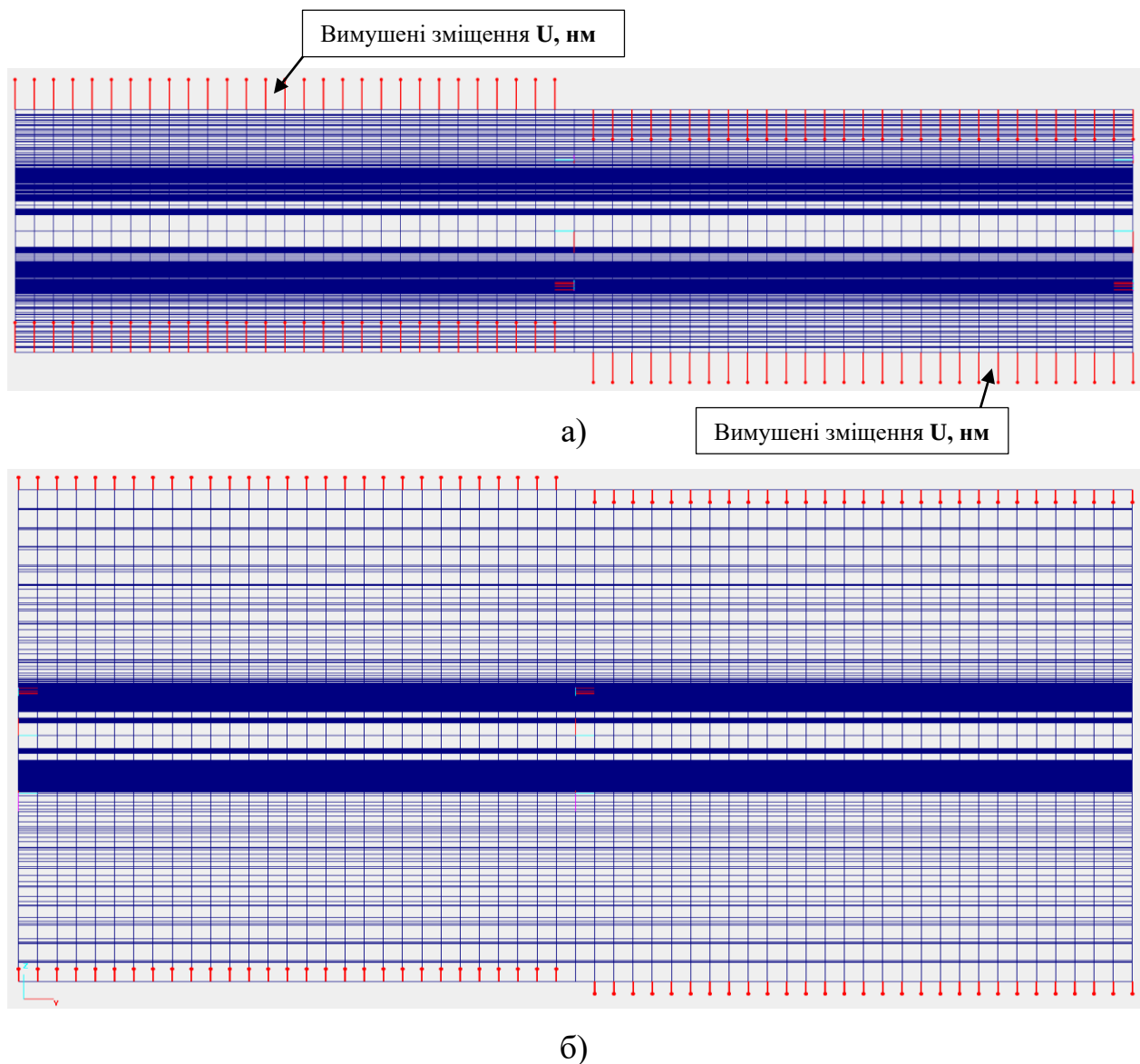


Рис. 4.2.2 – Скінченно-елементна схема нанотрубки

Фізико-механічні характеристики елементів, що знаходяться на розрахунковій схемі є такими:

- нанотрубка – $E = 1$ ТПа (модуль пружності) та $\nu = 0,3$ (коефіцієнт Пуассона), $m_{\text{нт}} = 8,17 \cdot 10^{-26}$ кг (маса нанотрубки постійна), $\rho_{\text{вугл}} = 2250 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$ (густина вуглецю);
- полімер ПЕВГ (два шари) – $E = 745$ МПа, $\nu = 0,4$; $[\sigma_{\text{розт}}] = 12,4$ МПа (межа міцності при розтягуванні), при $B = 0,8$ – $m_{\text{пол}} = 9,95 \cdot 10^{-25}$ кг (маса полімеру), при $B = 2$ – $m_{\text{пол}} = 3,21 \cdot 10^{-23}$ кг, $\rho_{\text{пол}} = 952 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг}}{\text{нм}^3}$ (густина полімеру);
- Шар контакту нанотрубки з полімером ПЕВГ – $E = 745$ Мпа, $\nu = 0,4$, $[\sigma_{\text{розт}}] = 12,4$ МПа.

Розроблено розрахункову схему певного елементарного об'єму двох шарів полімеру з вуглецевою нанотрубною всередині. Оскільки нанотрубка розташована на межі розділу двох шарів, то умовами навантаження при вирішенні задачі є вимушені зміщення, що прикладені до кожного шару полімеру у протилежному одне одному напрямку (рис. 4.2.3).



а) – при $H = 0,8 \text{ нм}$; б) – при $H = 2 \text{ нм}$.

Рис. 4.2.3 – Розрахункові схеми з умовами навантаження на зразок (вимушені зміщення U , нм (червоні стрілки))

Розрахункова схема елементарного зразка містить у собі всі необхідні площини симетрії. Вони розташовані для закріплення з лівого та правого боку зразка в просторі. Оскільки зразок перебуває в умовах стиснення, то площини симетрії містяться ще в задній та передній площині зразка. Це дозволяє забезпечити симетрію навантаження та деформації в усьому обсязі досліджуваного зразка.

4.3 Визначення параметрів міцності тришарової полімерної плівки в залежності від рівня наномодифікації матеріалу середнього шару

Для оцінки міцності елементарного зразка, що складається з двох шарів полімеру та вуглецевої нанотрубки було виконано цикл чисельних досліджень про вплив коефіцієнту наповнення полімеру вуглецевими нанотрубками на схему руйнування. Для цього виконано дослідження чотирьох зразків із різними коефіцієнтами наповнення, а саме коефіцієнти $K_{m1}^{арм} = 0,0821\%$ по масі, $K_{m2}^{арм} = 0,0189\%$ по масі, $K_{m3}^{арм} = 0,0051\%$ по масі, $K_{m4}^{арм} = 0,0025\%$ по масі.

Як підтверджують результати чисельних розрахунків, коефіцієнт наповнення полімерного матеріалу вуглецевими нанотрубками має суттєвий вплив не тільки на абсолютні значення міцності цього зразка, а й також може принципово відображатися на загальній картині мікроруйнувань у районі контакту вуглецевої нанотрубки з полімером.

Так, наприклад, для зразка з максимальним коефіцієнтом наповнення зони руйнування (тріщини зсуву) виникають на верхівці та знизу зразка на місці накладання зсуву вздовж та поступово починають розвиватися, що відповідає першій ділянці деформування (до найнижчої точки, де значення R найнижче у від'ємній частині (рис. 4.3.5, $H = 0,8$ нм, зелена крива). Потім з'являється зона відшарування, що прогресує і викликає перерозподіл напружень і значення реакцій R змінюється аж до протилежного знаку «+» та виходить на одиницю. Після утворення вертикальних зон відриву відбувається лавиноподібне руйнування зразка (криві йдуть вгору) аж до повної втрати його несучої здатності, тобто неможливість витримати певне навантаження у вигляді зсуву.

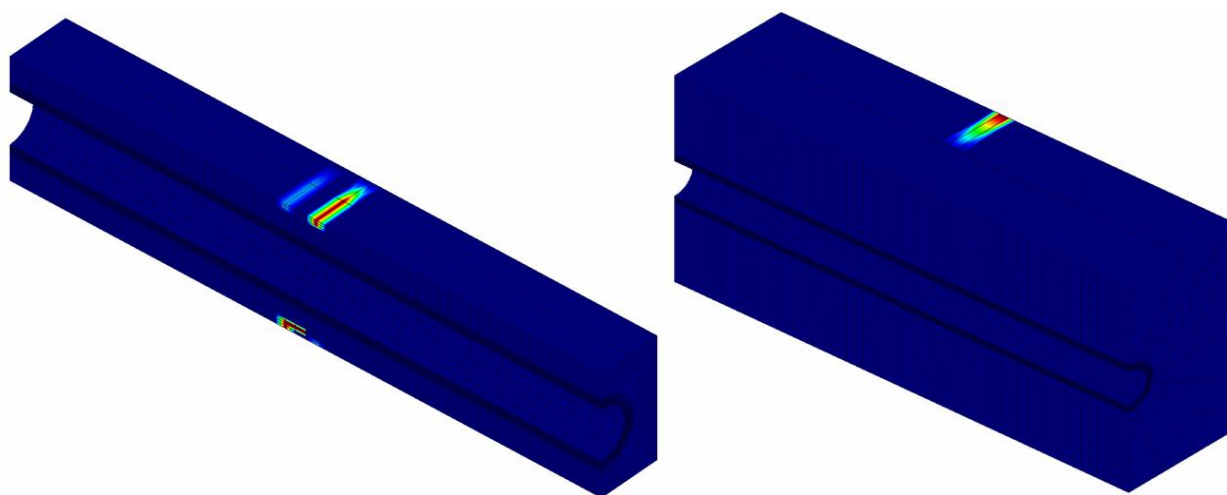
Для зразка з мінімальним коефіцієнтом наповнення процес руйнування починається в полімері між двома сусідніми вуглецевими нанотрубками, а не всередині полімерної частини, та бачимо його подальший розвиток, після цього йде магістральна тріщина вниз по товщині зразка, що веде до повного

вичерпання несучої здатності цього зразка, що відображено зміною реакцій R у залежності від переміщень, приведеної на рис. 4.3.5.

Аналізуючи цю залежність, ми можемо отримати важливу інформацію про поведінку та ефективність зразка при руйнуванні. Зміни в реакціях R свідчать про розподіл сил у вузлах та вказують на моменти наростання та поширення тріщини. Це може бути корисним для подальшого вдосконалення дизайну матеріалів та структур з метою покращення їх міцності та стійкості. Також можна побачити, що зразок з меншим коефіцієнтом наповнення зруйнувався раніше. Для зразків із висотою $H = 1,5$ нм та $H = 2$ нм спостерігається інший характер руйнувань, як було зазначено вище.

У результаті чисельного розрахунку на зміщення двох шарів полімеру з вуглецевою нанотрубкою, яка розміщена на границі контакту шарів, що процес відбувається в чотири етапи.

Першим етапом (рис. 4.3.1) є початок зародження зон руйнувань на двох досліджувальних зразках на верхній та нижній поверхнях в локальній області різку, де вимушені переміщення змінюють напрямок своєї дії.



а

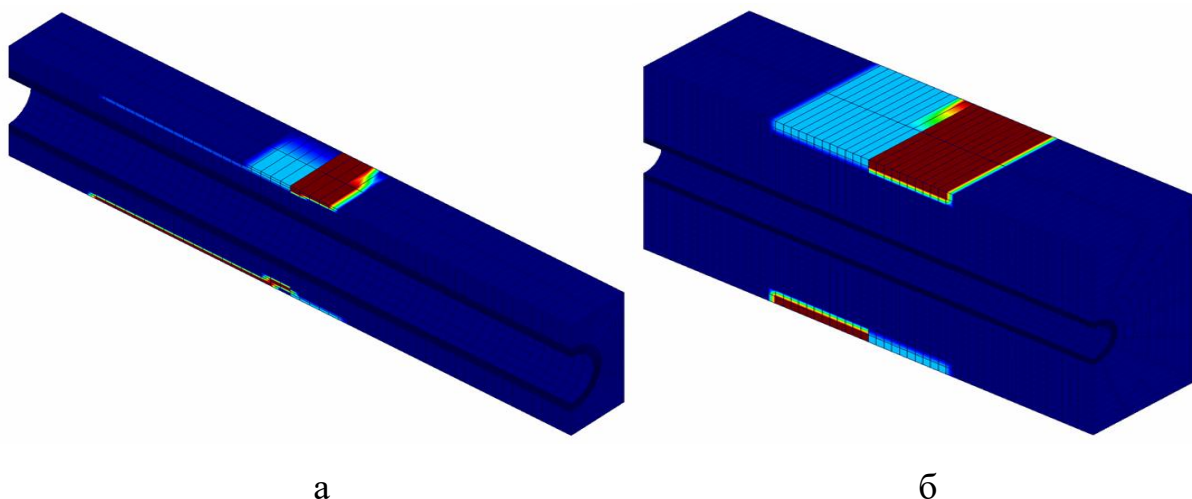
б

а – при $H = 0,8$ нм; б – при $H = 2$ нм.

Рис. 4.3.1 – Початок утворення зон руйнування ($U = 0,007$ нм для лівого та правого зразка)

У результаті перерозподілу напружень після утворення перших зон руйнування починається другий етап деградації полімерного матеріалу, який

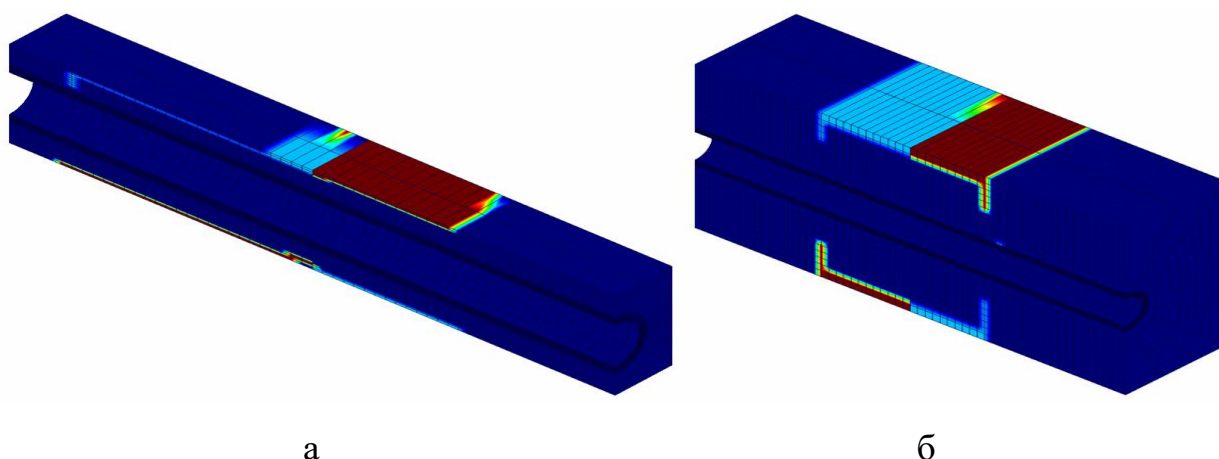
характеризується поступовим розповсюдженням зони зсуву в матеріалі полімеру по висоті, як позначено на рис. 4.3.2, а, при коефіцієнті заповнення $K_{m1}^{арм} = 0,0821\%$ по масі. На відміну від цього процесу, при коефіцієнті заповнення $K_{m4}^{арм} = 0,0025\%$ по масі розповсюдження тріщин зсуву в цьому випадку відбувається на рівні верхньої та нижньої площин симетрії вздовж зразка, як показано на рис. 4.3.2, б.



а – при $H = 0,8$ нм; б – при $H = 2$ нм.

Рис. 4.3.2 – Зародження зон зсуву ($U = 0,024$ нм для лівого зразка, $U = 0,015$ нм для правого зразка)

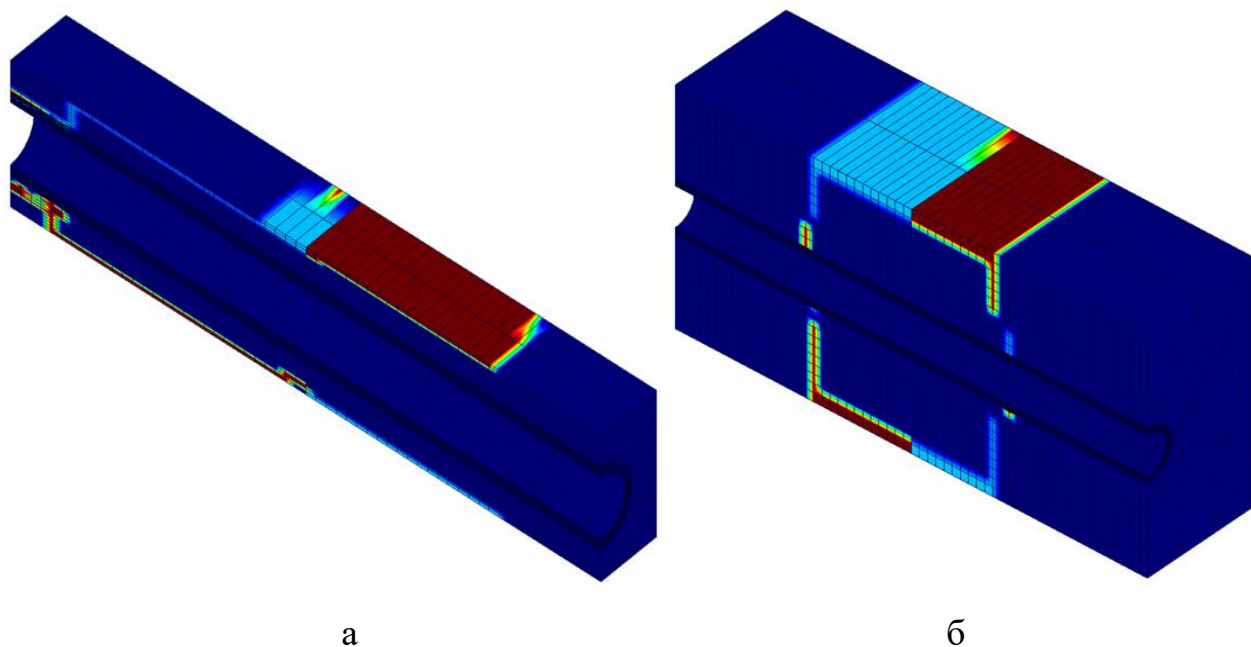
Третій етап характеризується зародженням тріщин зсуву в напрямку перпендикулярному до осі вуглецевої нанотрубки (рис. 4.3.3).



а – при $H = 0,8$ нм; б – при $H = 2$ нм.

Рис. 4.3.3 – Зародження вертикальних зон відриву ($U = 0,035$ нм для лівого зразка, $U = 0,023$ нм для правого зразка)

Четвертим етапом є повна втрата несучої здатності зразка, при чому, в першому випадку руйнування характеризується відшаруванням нанотрубки від полімеру (рис. 4.3.4, а), а в другому випадку – руйнуванням адгезійної зони «нанотрубка-полімер» (рис. 4.3.4, б).



а – при $H = 0,8$ нм; б – при $H = 2$ нм.

Рис. 4.3.4 – Повна втрата несучої здатності зразків ($U = 0,063$ нм для лівого зразка, $U = 0,032$ нм для правого зразка)

У результаті збільшення рівня навантаження зразків, що розглядаються, контакт між вуглецевою нанотрубкою та полімерною частиною зникає. Це підтверджується різким падінням реакції R , що виникає у вузлах до яких прикладено вимушені зміщення (рис. 4.3.5, $H = 0,8$ нм, зелена крива).

Так:

- зразок із максимальним коефіцієнтом заповнення $K_{m1}^{арм} = 0,0821\%$ по масі вичерпав свою несучу здатність при рівні зсуву $U = 0,063$ нм;
- зразок з коефіцієнтом заповнення $K_{m2}^{арм} = 0,0189\%$ по масі вичерпав свою несучу здатність при рівні зсуву $U = 0,058$ нм;
- зразок з коефіцієнтом заповнення $K_{m3}^{арм} = 0,0051\%$ по масі вичерпав свою несучу здатність при рівні зсуву $U = 0,055$ нм;

- зразок з коефіцієнтом заповнення $K_{m4}^{арм} = 0,0025\%$ по масі вичерпав свою несучу здатність при рівні зсуву $U = 0,032$ нм.

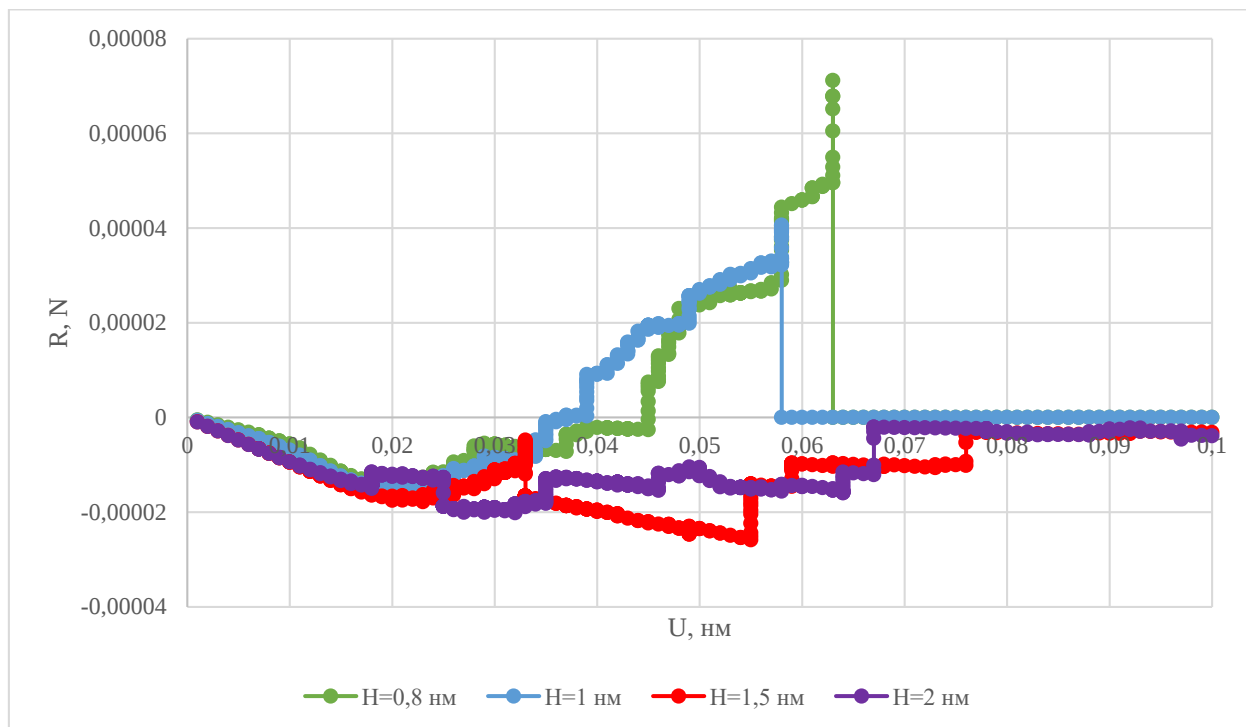


Рис. 4.3.5 – Графік залежності реакцій R, N , від рівня вимушених зміщень зсуву $U, \text{нм}$.

Отже, як висновок, при збільшеному коефіцієнті концентрації наномодифікованого полімеру відбувається суттєвий вплив на параметри міцності в зоні контакту між шарами полімеру.

Висновки

Отже, у розділі розрахунків:

1. Пораховані параметри геометрії черв'яка;
2. Продуктивність та потужність екструдера, що використовується;
3. Сумарний коефіцієнт форми екструзійної плоскощілинної головки, також перепад тиску в ній;
4. Зроблений циклічний досліджувальний розрахунок через мову програмування C++, щоб зрозуміти залежність коефіцієнту форми екструзійної головки в останньому каналі від зміненої висоти каналу при трьох різних довжинах та при постійній ширині;
5. Як висновок, машина працездатна та надійна для роботи в подальшому;
6. Проведено дослідження за допомогою числового моделювання в середовищі Argox за темою впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу. У результаті ми отримали, що збільшення концентрації нанотрубок через зменшення зразка робить зразок більш міцним. У випадку з більшим зразком роль відіграла його більша товщина, тому руйнується він довше.

**Розділ «Технологія машинобудування»
до дипломного проекту
на тему: «Агрегат для виробництва
багатошарових плівок з дослідженням впливу
рівня наномодифікації полімеру на міцність
кінцевого виробу»**

Київ – 2023 року

Зміст

1. Технологічна схема виготовлення деталі	2
1.1 Опис та призначення деталі	2
1.2 Вибір заготовки для виготовлення деталі	3
1.3 Технологічний процес виготовлення деталі	4
2. Вибір та розрахунок пристосування для фрезерування пазу 30H9	8
2.1 Вибір пристосування, опис конструкції та принципу дії	8
2.2 Розрахунок сил закріплення деталі	8
Висновки	10
Використані джерела	11

					ЛП93.027246.03-70TE				
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата					
Розроб.		Безверхий І.О.			Агрегат для виробництва багатопарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу				
Перевір.		Гондлях О.В.							
Н. Контр.									
Затверд.		Гондлях О.В.							
					Літ.		Аркуш	Аркушів	
							1	11	
					НТУУ «КПІ ім.І.Сікорського», ІХФ				

1. Технологічна схема виготовлення деталі

1.1 Опис та призначення деталі

У ході виконання розділу "Технологія машинобудування" цього дипломного проекту було розроблено технологічний процес виготовлення деталі під назвою "Вилка". Для досягнення цієї мети було визначено послідовність технологічних операцій, які необхідно виконати для виготовлення цієї деталі.

На рис. 1.1 зображене креслення (ескіз) деталі "Вилка".

Відсутність складального креслення вузла, в який входить вилка, і даних про службове призначення виробу ускладнює точне визначення призначення деталі. Але, розглядаючи її конфігурацію і габарити, можна передбачити, що вилка є деталлю середнього машинобудування.

Вилка виготовляється з матеріалу СЧ21, що застосовується для деталей, що мають вимоги до підвищеної міцності.

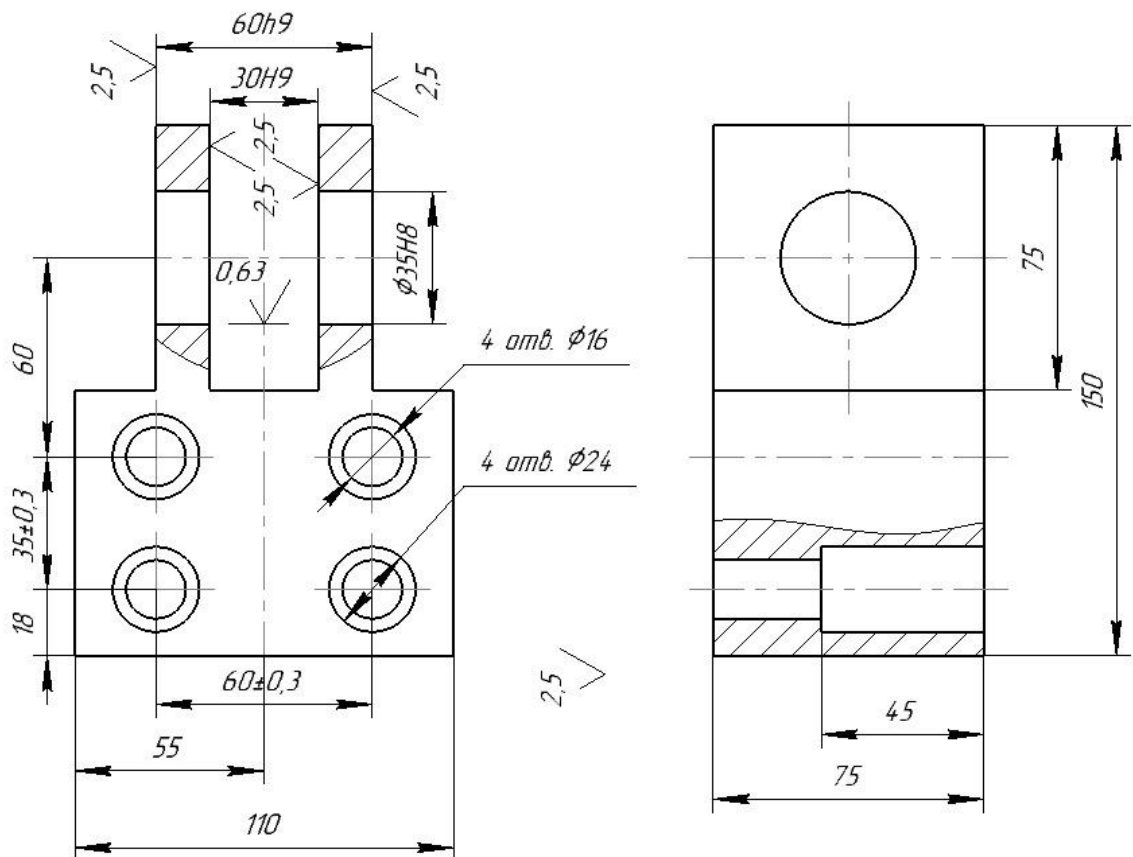


Рис 1.1.1 – Креслення (ескіз) деталі «Вилка»

Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ЛП93.027246.03-70TE

Арк.

2

У результаті технологічного контролю креслення вилки, яке було отримане, виявлено наступне:

- на кресленні вказані всі розміри, необхідні для виготовлення деталі;
- шорсткість усіх поверхонь деталі вказана відповідно до ГОСТ 2789–73;
- допуски і відхилення розмірів наведені відповідно до ГОСТ 25346–89 та ГОСТ 25347–82;
- допуски форми та розташування поверхонь вказані відповідно до ГОСТ 24643–81;
- вимоги до точності виготовлення поверхонь вилки відповідають вимогам, які пред’явлені до шорсткості цих поверхонь.

1.2 Вибір заготовки для виготовлення деталі

Відповідно до вимог креслення і в результаті аналізу конструкції фланця робимо висновок, що найбільш доцільно використовувати литу заготовку. З усіх способів утворення литих заготовок у розглянутому випадку можна застосувати лиття в піщано–глинисті форми з машинним формуванням за металевими моделями, лиття в оболонкові форми, лиття за моделями, які виплавляються, і лиття в металеві форми (кокілі).

З усіх названих вище способів можна застосувати для заготовки лиття у сирі форми із формувальних сумішей з вологістю від 3,5 до 4,52% і міцністю від 60 до 120 кПа (від 0,6 до 1,2 кгс/см) з рівнем ущільнення до твердості, не нижчої 70 одиниць (див. ГОСТ 26645–85). Формування машинне за металевими моделями.

На ескізі заготовки тонкими лініями зображені контури деталі та площа розніму.

					ЛП93.027246.03–70ТЕ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		3

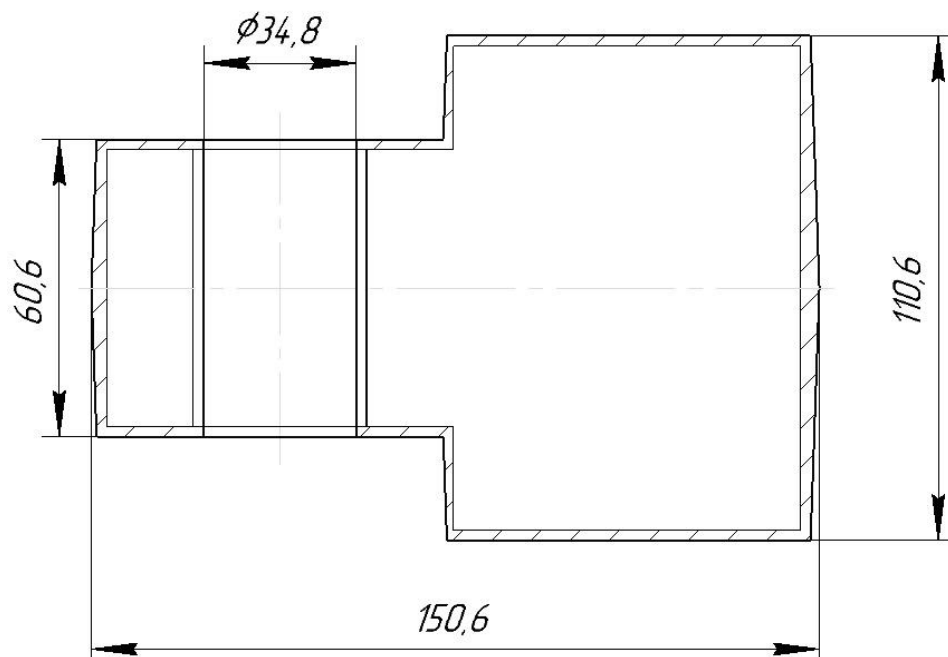


Рис. 1.2.1 –Заготовка деталі «Вилка»

1.3 Технологічний процес виготовлення деталі

Вилка відноситься до класу некруглих стержнів, типовими представниками якого є шатуни, важелі, коромисла, планки, бруски, виделки перемикання швидкостей та ін. Заготовки – поковки, виливки. Оброблюються в основному отвори та їх торці.

При обробці рекомендується притримуватись наступної послідовності:

- Чорнова обробка торців і основних отворів, що розміщені головним чином на кінцях стрижня;
- Чорнова і чистова обробка інших отворів;
- Другорядні операції;
- Доведення точних отворів і їх торців.

Виходячи із заданих на кресленні вимог до якості (точності і шорсткості) оброблюваних поверхонь і типового технологічного процесу підбирають типові схеми їх обробки, що описані на маршрутних картах, картах ескізів та операційних картах.

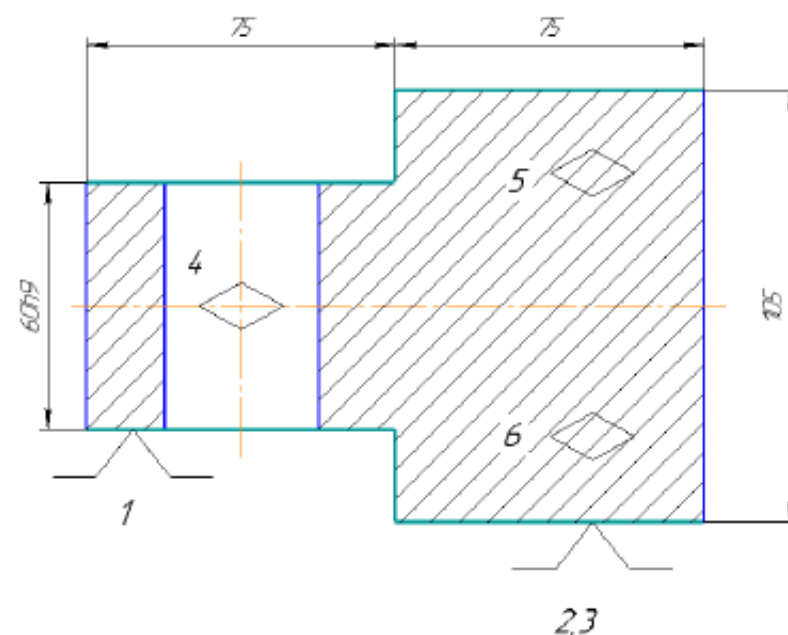
ГОСТ 3.555-84 Форма 7

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

--	--	--	--	--	--

Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата
----	----	--------	--------	------

Розробив	Безверхий І.О.			НТУУ "КПІ", ІХФ		005
Перевірів	Борицький С.О.					
Н. контр.				ВИЛКА		
					Н	



KE

Обробка різанням

2. Вибір та розрахунок пристосування для фрезерування пазу 30Н9

2.1 Вибір пристосування, опис конструкції та принципу дії

Пристрій для фрезерування пазу 30Н9 складається з таких компонентів: корпусу 2, до якого підключений збоку пневморозподільник 1, а всередині розташована гільза пневмоциліндра 8. Зверху корпусу розташовані рухомі губки 5 з призмами 6, які закріплені на них. Для передачі руху від штока до рухомих губок використовуються важелі 12, які можуть обертатися навколо осей 14. Пристрій встановлюється та закріплюється на столі верстата. Закріплення заготовки (деталі) проводиться наступним чином: стиснене повітря подається в штокову порожнину пневмоциліндра, поршень 7 зі штоком 9 рухаються вниз, важелі 12 повертаються навколо осей 14 і через сухарі 13 переміщують рухомі губки 5 у напрямку деталі, яку фрезерують. Таким чином, деталь затискається призмами 6 або закріплюється. Розкріплення заготовки проводиться так: стиснене повітря подається в порожнину без штока, і поршень 7 зі штоком 9 піднімаються вгору, важелі 12 повертаються навколо осей 14 у протилежний бік і через сухарі 13 переміщують рухомі губки 5 від заготовки. Таким чином, деталь стає розкріпленою та вільно знімається з пристрою.

2.2 Розрахунок сил закріплення деталі

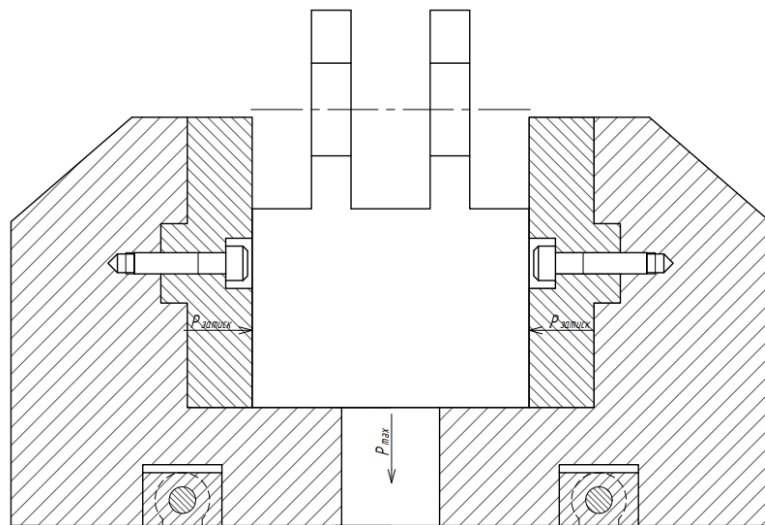


Рис. 2.2.1 – Розрахункова схема сил

$$Q = \frac{P}{S} = \frac{11000}{2 \cdot 3850} = 1,43 \text{ МПа.}$$

						Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Висновки

У процесі розробки технологічного процесу виготовлення вилки було виконано наступне:

- розглянуто службове призначення вилки і її конструктивні особливості;
- проаналізовано технологічність вилки та її заготовки;
- вибрано спосіб виготовлення заготовки і розроблено її ескіз;
- розроблено маршрут виготовлення вилки;
- підібрано моделі металорізальних верстатів, пристрої та інструменти;
- заповнено маршрутні і операційні карти з ескізами;
- розроблено пристосування та розраховано силу закріплення деталі.

					ЛП93.137246.03-ТЕ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Використані джерела

1. Методичні рекомендації до практичних занять з дисципліни „Технологія машинобудування” для студентів факультету хімічного машинобудування та поліграфічного факультету (Укл. С. С. Добрянський, В. К. Фролов, В. Л. Шестаков) – К.: КПІ, 1996. – 78 с.
2. Справочник приспособления: Справочник. В 2-х томах. Под ред. Б.Н. Вардашкина, Т1 : М.: Машиностроение. 1984г. – 592 с.
3. Справочник приспособления: Справочник. В 2-х томах. Под ред. Б.Н. Вардашкина, Т2 : М.: Машиностроение. 1984г. – 656 с.

					ЛП93.137246.03-ТЕ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		11

Загальні висновки

У цьому дипломному проєкті за темою «Агрегат для виробництва багатошарових плівок з дослідженням впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу» розглянуто сам агрегат, тобто екструдер на базі ЧП 45x25, що у кількості трьох одиниць, екструдують в одну тришарову плоскощілинну головку два звичайних полімери ПЕВГ та один наномодифікований (середній шар), що потім утворює плівку, яка йде далі за технологічною схемою в каландр, охолоджувальний пристрій, валки та бабіну. Проведено літературний та патентний огляд для вибору напряду дослідження та зрозуміти доцільність його проведення. Також наведено техніку безпеки з охорони праці для роботи з наданою технологічною лінією виготовлення багатошарової плівки. У розділі «Розрахунки» проведені параметричний розрахунок, розрахунок на міцність та жорсткість, що підтвердили надійність та працездатність машини, програмний розрахунок мовою C++, де розглянуто залежність коефіцієнту форми екструзійної плоскощілинної головки в останньому каналі від зміни висоти щілини, трьох різних довжинах каналу та постійній ширині, та проведено дослідження, моделювання й числовий розрахунок в програмному комплексі «Aproks» за темою впливу рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу, в цьому випадку моделювалася ситуація зсуву двох шарів полімеру, а між ними наномодифікований. Після побудови графіків та розгляду зон руйнувань доходимо до висновку, що рівень наномодифікації полімеру впливає на міцність кінцевого виробу.

Перелік використаних джерел інформації

1. Deepak Langhe, Michael Pontin. Manufacturing and Novel Applications of Multilayer Polymer Films, William Andrew Publishing. 2016. с. 1-15. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323371254000010> (дата звернення: 20.04.2023).
2. John R. Wagner, Jr. Multilayer Flexible Packaging. 2016. с. 99-122. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323371001000077> (дата звернення: 20.04.2023).
3. Jin-ping Qu, Yue Luo. A novel method for industrial manufacturing of thermoplastic multilayer films: Processing, microstructure, and properties. Polymer Engineering & Science. Volume 59, Issue S1. 2018. с. E339-E349. URL: <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pen.24969> (дата звернення: 20.04.2023).
4. Guo-Chiuan Tzeng, Ren-Haw Chen. Flow shear stress in the co-extrusion of polymer multilayer film: variations and effects on interfacial instability. Advances in Materials and Processing Technologies. Volume 3, 2017 - Issue 1. с. 52-57. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/2374068X.2016.1247337> (дата звернення: 20.04.2023).
5. Ming Li, Wen Liu, Fangxin Zhang, Xinyu Zhang, Altyeb Ali Abaker Omer, Zhisen Zhang, Yang Liu, Shutao Zhao. Polymer multilayer film with excellent UV-resistance & high transmittance and its application for glass-free photovoltaic modules. Solar Energy Materials and Solar Cells. Volume 229, 15 August 2021, 111103. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024821001458> (дата звернення: 20.04.2023).
6. Zhenpeng Li, Andrew Olah, Eric Baer. Micro- and nano-layered processing of new polymeric systems.

Progress in Polymer Science. Volume 102, March 2020, 101210.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670020300034> (дата
звернення: 20.04.2023).

7. Chunhai Li, Yingying Gao, Lishen Wang, Jiang Li, Shaoyun Guo. Fabrication, structure, and properties of Poly-(Lactide) multilayers with ultrahigh content, ordered, and continuous transcrystallinity. Polymer. Volume 228, 16 July 2021, 123933.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386121005565>
(дата звернення: 20.04.2023).

8. Jung-Kai Tseng, Kezhen Yin, Zhongbo Zhang, Matthew Mackey, Eric Baer, Lei Zhu. Morphological effects on dielectric properties of poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) blends and multilayer films. Polymer. Volume 172, 20 May 2019, с. 221-230.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386119303088>
(дата звернення: 21.04.2023).

9. Jean-François Agassant, Yves Demay. Investigation of the Polymer Coextrusion Process: A Review. Polymers. Volume 14, Issue 7. 24 March 2022.
URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/7/1309> (дата звернення: 18.03.2023).

10. Claudio Roberto Lima de Souza, Jingxing Feng, Andrew Olah, Eric Baer, Raquel Santos Mauler, Gary Wnek. A novel PLA high oxygen barrier multilayer film/foam. SPE Polymers. Volume 3, Issue 4. 14 November 2022. с. 179-191.
URL: <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pls2.10079>
(дата звернення: 21.04.2023).

11. Behtash Mani, H.A. Tavakolinia, R. Babaie Moghadam. A new design for co-extrusion dies: Fabrication of multi-layer tubes to be used as solid oxide fuel cell. Journal of Science: Advanced Materials and Devices. Volume 2, Issue 4, December 2017, с. 425-431. URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468217917301004>

(дата

звернення: 21.04.2023).

12. Yue Luo, Xiao-dan Chang, Jin-ping Qu. Improved heat shrinkage and mechanical performances of polyethylene trilayer blown film prepared via novel multilayer coextrusion method. Packaging Technology and Science. Volume 32, Issue 6. 2019. с. 309-321. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pts.2439> (дата звернення: 21.04.2023).

13. Laryssa Meyer, Alex Jordan, Kyungtae Kim, Bongjoon Lee, Frank S. Bates, Chris Macosko, Ehsan Behzedfar, Olivier Lhost, Shaffiq Jaffer, Yves Trolez. Improving thermoformability of IPP through multilayer coextrusion. Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings. Volume 2. 2020. с. 567-569. URL: <https://experts.umn.edu/en/publications/improving-thermoformability-of-ipp-through-multilayer-coextrusion-2> (дата звернення: 21.04.2023).

14. Ma Xiuqinga, Zhai Wenbina, Liu Ming. Interface analysis of three-layer co-extrusion blown film. AIP Conference Proceedings. Volume 2065, Issue 1. 2019. URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5088334> (дата звернення: 21.04.2023).

15. Stéphanie Vuong, Liliane Léger, Frédéric Restagno. Controlling interfacial instabilities in PP/EVOH coextruded multilayer films through the surface density of interfacial copolymers. Polymer Engineering & Science. Volume 60, Issue 7. 2020. с. 1420-1429. URL: <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pen.25389> (дата звернення: 21.04.2023).

16. V. Bazhenov, A. Protasov, I. Ivitskiy, D. Ivitska, Simulation of nanomodified polymers testing by the electric capacitive method. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/5 (88) 2017. с.4-9. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&

						Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

[IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vejpte_2017_4\(5\)_2.pdf](#) (дата звернення: 22.04.2023).

17. E. Zīle, O. Bulderberga, S. Stankevich, D. Zeleniakiene, A. Aniskevich, Effective mechanical properties of multilayer nano-modified polymer composite laminates. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 43, Article №413, 2021. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40430-021-03142-x> (дата звернення: 22.04.2023).

18. A. E. Kolosov, E. P. Kolosova, Short Review of Studies on Modeling of Technology and Technical Means Used for Production of Classical and Nanomodified Functional Polymer Composite Materials. International Journal of Engineering & Technology, 7 (2.23), 2018, с. 483-488. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/323532653.pdf> (дата звернення: 22.04.2023).

19. Yao Qiao, Marco Salviato, Study of the fracturing behavior of thermoset polymer nanocomposites via cohesive zone modeling. Composite Structures Volume 220, 15 July 2019, с. 127-147. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822318325789> (дата звернення: 22.04.2023).

20. A. V. Gondlyakh, A. L. Sokolskiy, A. E. Kolosov, A. O. Chemeris, V. Yu. Shcherbina, S. I. Antonyuk, Modeling the Mechanisms of Fracture Formation in Nanomodified Polymers. 2020 IEEE 10th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9309637> (дата звернення: 22.04.2023).

21. Mingjun Shi, Application and Mechanism Characterization of Nanofibers for Interlaminar Toughening of Composite Materials, 2022. URL: <https://repository.lib.gifu-u.ac.jp/bitstream/20.500.12099/88114/2/ek0612.pdf> (дата звернення: 22.04.2023).

28. Swathi Murthy, Maria Matschuk, Qian Huang, Nikolaj K. Mandsberg, Nikolaj A. Feidenhans'l, Peter Johansen, Lars Christensen, Henrik Pranov, Guggi Kofod, Henrik C. Pedersen, Ole Hassager, Rafael Taboryski, Fabrication of Nanostructures by Roll-to-Roll Extrusion Coating. Advanced Engineering Materials, Volume 18, Issue 4, April 2016, с. 484-489. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adem.201500347#> (дата звернення: 23.04.2023).

29. Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондляр О.В. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 131с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4573> (дата звернення: 23.04.2023).

30. T. Dyachkova, I. Gutnik, V. Nagdaev, A. Maksimkin, E. Burakova, E. Galunin, N. Memetov, Yu. Khan, T. Dayyoub, Studying the surface of UHMWPE films modified with graphene nanoplatelets using a Raman mapping method. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, Volume 28, Issue 7, 2020, с. 561-564. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1536383X.2020.1724103> (дата звернення: 23.04.2023).

31. Пат. CN115008719A, Китай, B29C48/18, B29C48/32, B29C48/49, B29C48/70. Splicing co-extrusion machine head and extrusion equipment with machine head, Ye Wangnian, заяв. – 10.06.2022, опубл. – 06.09.2022.

32. Пат. CN115008716A, Китай, B29C48/18, B29C48/30, B29C48/49, B29C48/70. Three-layer co-extrusion machine head and extrusion equipment with same, Ye Wangnian, заяв. – 10.06.2022, опубл. – 06.09.2022.

33. Пат. CN114786915A, Китай, B29C48/08, B29C48/21, B29C48/25, B29C48/305, B29C48/495, B29C48/92. Device for producing a coextruded multilayer film, device for coextruded multilayer coextruded composite material and

method for coextrusion, and method for operating a device and/or a device related thereto, Siebigtroth Peter, заяв. – 15.10.2019, опубл. – 22.07.2022.

34. Пат. CN113696572A, Китай, В29С48/08, В29С48/21, В29С48/49, В32В27/08, В32В27/18, В32В27/30, В32В27/36, С08J5/18, С08K3/36, С08K3/38, С08L23/08, С08L25/06, С08L67/02, С08L71/02, С08L83/04. Composite PETG heat shrink film and preparation system thereof, Wu Peifu, Ding Yansen, Wang Qi, заяв. – 31.08.2021, опубл. – 26.11.2021.

35. Пат. US5304053А, США, В29С48/12; В29С48/34; В29С48/38; В29С48/395; В29С48/46; В29С48/49. Apparatus for extrusion of plastic and/or rubber mixtures, Gohlisch Hans-Joachim, Baumgarten Wilfried, заяв. – 08.05.1992, опубл. – 19.04.1994.

36. Технологические и энергетические расчеты при переработке полимеров экструзией; метод. указ к практ. занятиям / Ю. И. Литвинец. – Екатеринбург.: ГОУ ВПО «УГЛУ», 2010. – 56 с.

37. MS Visual Studio 2022 – URL: <https://visualstudio.microsoft.com/>

38. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб./ І. О. Мікульонюк, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко . – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 200 с.

Додаток А

[illegible]

[illegible]

Форма	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
				Документація			
A1			ЛП 93.027243.002-70 ЗВ	Тришарова плоскощілинна головка			
				Складальні одиниці			
		1		Корпус	1	Сталь 40 X	
		2		Кришка	1	Сталь 40 X	
		3		Адаптер	1	Сталь 40 X	
		4		Фланець кріплення	4	Сталь 45	
		5		Решітка	1	Сталь 40 X	
		6		Гільза	1	Сталь 45	
		7		Живильний блок для співектрузії	1	Сталь 40 X	
				Стандартні вироби			
		8		Сітка СД 64-08 X 18 Н 10 ГОСТ 3187-76	2		
		9		Хомут	2		
		10		Хомутовий нагрівач	2		
		11		Рим -болт М 16 ДСТУ ISO 3266:2010	3		
		12		Гвинт М 8 x 30 ГОСТ 1478-93	13		
		13		Штифт 10 x 40 ГОСТ 3128-70	2		
		14		Штифт 10 x 60 ГОСТ 3128-70	2		
		15		Штифт 20 x 140 ГОСТ 3128-70	4		
		16		Гвинт М 20 x 120 Гост 11738-84	10		
				ЛП 93.027243.002-70 СП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Безверхий І.О.					
Перев.		Гондляр О.В.					
Н.контр.							
Затв.		Гондляр О.В.					
Тришарова плоскощілинна головка					Літера	Аркуш	Аркушів
						1	1
					КПІ ім.Ігоря Сікорського, ІХФ		

Форма	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
				<u>Документація</u>			
A1			ЛП 93.029604.003-70	Пневматичні лещата для			
				фрезерування пазу 30 Н 9			
				<u>Збіркові одиниці</u>			
		1		Пневморозподільник	1		
				<u>Деталі</u>			
		2		Корпус	1		
		3		Кришка верхня	1		
		4		Кришка нижня	1		
		5		Поршень	1		
		6		Гільза	1		
		7		Шток	1		
		8		Шайба	1		
		9		Втулка ущільнювана	1		
		10		Гудка рухлива	2		
		11		Призма	4		
		12		Сухар	2		
		13		Важіль	2		
		14		Вісь	6		
		15		Прокладка	2		
				ЛП 93.029604.003-70 СП			
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата			
Розроб.		Бездерхий І.О.					
Перев.		Борщук С.О.					
Н.контр.							
Затв.		Гондляр О.В.					
Пневматичні лещата для фрезерування пазу 30 Н 9 специфікація					Літера	Аркуш	Аркушів
						1	2
					КПІ ім.Ігоря Сікорського, ІХФ		

[illegible]

Додаток Б

Дослідження залежності коефіцієнту форми екструзійної плоскощілинної головки в останньому плоскому щілинному каналі від висоти щілини

Безверхий І.О., студент, Гондляр О.В., д.т.н., проф.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Проведено дослідження залежності коефіцієнту геометричної форми екструзійної плоскощілинної головки в останньому плоскому щілинному каналі від регульованої висоти щілини. Розраховано потрібні числові значення за допомогою програмного коду на мові програмування C++ та наочно показано залежність при постійній ширині каналу, але при різних висотах щілини та трьох довжинах каналу, на побудованому графіку. З'ясовано, що збільшення висоти щілини збільшує коефіцієнт геометричної форми, а при зменшенні довжини каналу це збільшення відбувається швидше, ніж при більших її значеннях.

Вступ. Екструзійна головка – це знімний інструмент, що призначений для утворення виробу певної форми за допомогою різної геометрії формувального каналу. Щоб провести повний гідравлічний розрахунок екструзійної головки застосовують метод ефективної в'язкості, який засновано на припущенні, що в'язкість подібна на кожній геометрично постійній ділянці каналу, залежно від розрахованої швидкості зсуву на стінці для ньютонівської рідини [1]. Він передбачає перш за все розбиття каналів головки з постійною геометрією та подальший розрахунок коефіцієнту геометричної форми екструзійної головки на кожній ділянці та сумарно. Ця складова потім застосовується (коли порахована сумарно зі всіх ділянок) у формулах розрахунку продуктивності екструдера та перепаду тиску на кожній ділянці окремо або сумарно та впливає на ці отримані результати.

Нами було досліджено залежність цього коефіцієнту K у плоскому щілинному каналі від зміни висоти h щілини плоскощілинної головки останнього плоского щілинного каналу (рис. 1) перед виходом екструдованого матеріалу при постійній ширині каналу $b = 1000$ мм та при трьох різних довжинах каналу l . Екструзійна головка такого типу має гнучку губку та винти, за допомогою яких з'являється можливість регулювати зазор щілини, тобто висоту каналу, в залежності від того, якої товщини потрібно отримати плоску плівку. Для того, щоб розрахувати невеличку кількість числових значень при різних висотах та довжинах не власноруч, використовувалося програмування на мові C++ через Microsoft Visual Studio [2], де було обчислено циклічно формулу за допомогою оператора for для знаходження K в плоскому щілинному каналу та при різних випадках з довжиною каналу. Ці числа були перенесені в Microsoft Excel [3] та наявними функціями побудовано графік залежності з трьома кривими (оскільки ми маємо вибрані три довжини), щоб побачити дослідження наочно. Нижче наведено виведену формулу для розрахунку досліджуваної ділянки, де застосовуються вище описані параметри.

$$K_{\text{ост,діл}} = \frac{b \cdot h_{\text{ост,діл}}^3}{12 \cdot l_{\text{ост,діл}}}$$

На рис. 1 зображено типову схему плоского щілинного каналу, в якому позначені довжина каналу l , ширина каналу b , висота каналу h .

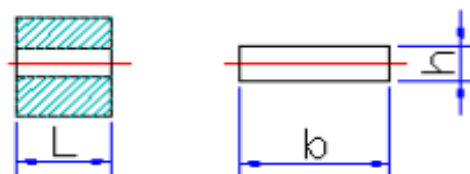


Рисунок 1 – Схема плоского циліндричного каналу для знаходження коефіцієнту геометричної форми екструзійної головки.

На рис. 2 зображено побудований графік залежності коефіцієнту форми головки K від висоти цилінра на останній ділянці h при постійній ширині b з трьома кривими, що означають три різні довжини каналу l . Оскільки висота h у вище згаданій формулі має кубічну ступінь, то кожна з кривих зростає у вигляді гіперболи.

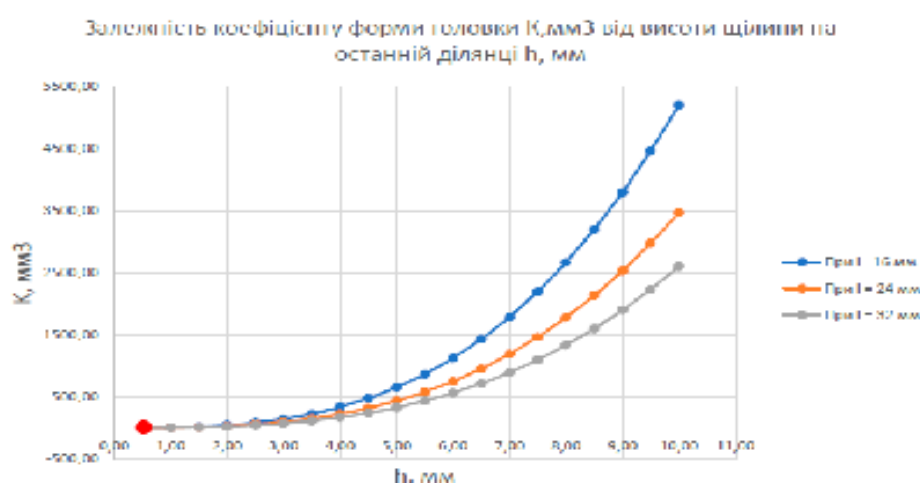


Рисунок 2 – Графік залежності коефіцієнту форми головки $K, \text{мм}^3$, від висоти цилінра на останній ділянці $h, \text{мм}$, при трьох різних довжинах та постійній ширині каналу.

Висновки. Проведено розрахунок програмним методом та побудовано графік залежності коефіцієнту форми екструзійної плоскоциліндричної головки в досліджувальній ділянці від зміненої висоти цилінра, трьох різних довжинах та постійній ширині каналу. Із нього ми можемо побачити, що при меншій з обраних довжин $l = 16 \text{ мм}$ коефіцієнт геометричної форми плоского циліндричного каналу K в будь-якій із точок більший та росте він швидше при зміні висоти каналу h від 0,5 до 10 мм з кроком 0,5 мм при встановленій постійній ширині каналу $b = 1000 \text{ м}$. При найбільшому значенні довжини $l = 32 \text{ мм}$ коефіцієнт геометричної форми K є меншим та росте він повільніше при тих самих умовах. Це пов'язано з тим, що через більшу довжину утворюється менший супротив матеріалу у каналі. При середній довжині каналу отримуємо усереднені значення. Підбиваючи підсумки, можна сказати, що при однакових ширині та висоті каналу, але при збільшенні довжини, ми маємо менші значення коефіцієнту геометричної форми на цій ділянці (оскільки ця складова знаходиться у знаменнику розрахункової формули).

Перелік посилань

1. Основи проектування однокерв'ячних екструдерів: навч. посіб. І. О. Мікульонюк та ін. Київ: НТУУ «КПІ», 2015, 200 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25367/1/Osnovu_proekt (дата звернення: 16.05.2023).
2. Visual Studio: IDE and Code Editor for Software Developers and Teams. *Visual Studio* : вебсайт. URL: <https://visualstudio.microsoft.com/> (дата звернення: 16.05.2023).
3. Microsoft Excel, програма для роботи з електронними таблицями. *Microsoft 365* : вебсайт. URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/excel> (дата звернення: 16.05.2023).

Додаток В

Лістинг програми на ПЕОМ:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
#include <fstream>
#include <math.h>
using namespace std;

int main()
{
    ofstream fileout;
    fileout.open("D:\\source\\repos\\KursovaRobota1\\fileoutput.txt");
    int toch = 20, tochka, a = 10;
    double b = 1000, h1 = 0.5, h2 = 10, l1 = 16, l2 = 24, l3 = 32, K1,
K2, K3, h;
    double kh = (h2 - h1) / (toch - 1);

    setlocale(LC_ALL, "");

    cout << "РОЗКРИЙТЕ ВІКНО НА ВЕСЬ ЕКРАН ДЛЯ КОРЕКТНОГО ВИГЛЯДУ
ТАБЛИЦІ!!!" << endl;
    cout << endl;

    for (int ii = 0; ii < 155; ii++)
        cout << "-";
    cout << endl;

    cout << fixed << left << setprecision(2) << setw(a) << "Точок" <<
"| " << setprecision(2) << setw(a) << "b, мм" << "| " <<
setprecision(2) << setw(a) << "l, мм" << "| " <<
setprecision(2) << setw(a) << "h, мм" <<
"| " << setprecision(2) << setw(a) << "K1, мм3" << "| " <<
setprecision(2) << setw(a) << "b, мм" << "| " <<
setprecision(2) << setw(a) << "l, мм" << "| " <<
setprecision(2) << setw(a) << "h, мм" <<
"| " << setprecision(2) << setw(a) << "K2, мм3" << "| " <<
setprecision(2) << setw(a) << "b, мм" << "| " <<
setprecision(2) << setw(a) << "l, мм" << "| " <<
setprecision(2) << setw(a) << "h, мм" <<
"| " << setprecision(2) << setw(a) << "K3, мм3" << "| " <<
endl;

    for (int ii = 0; ii < 155; ii++)
        cout << "-";
    cout << endl;

    for (int i = 0; i < toch; i++)
    {
        tochka = 1 + i;
        h = h1 + kh * i;
        K1 = (b * h * h * h) / (12 * l1);
        K2 = (b * h * h * h) / (12 * l2);
        K3 = (b * h * h * h) / (12 * l3);
        cout << fixed << left << setprecision(2) << setw(a) << tochka
<< "| " << setprecision(2) << setw(a) << b << "| " <<
```

```

setw(a) << h << " | "
    << setprecision(2) << setw(a) << l1 << " | " << left <<
setprecision(2) << setw(a) << b << " | "
    << setprecision(2) << setw(a) << l2 << " | " << left <<
setw(a) << h << " | "
    << setprecision(2) << setw(a) << K1 << " | " <<
setprecision(2) << setw(a) << b << " | "
    << setprecision(2) << setw(a) << l3 << " | " << left <<
setw(a) << h << " | "
    << setprecision(2) << setw(a) << K3 << " | " << endl;

    fileout << fixed << left << setprecision(2) << setw(a) <<
tochka << setprecision(2) << setw(a) << b
    << setprecision(2) << setw(a) << l1 << left << setw(a)
<< h
    << setprecision(2) << setw(a) << K1 << setprecision(2)
<< setw(a) << b
    << setprecision(2) << setw(a) << l2 << left << setw(a)
<< h
    << setprecision(2) << setw(a) << K2 << setprecision(2)
<< setw(a) << b
    << setprecision(2) << setw(a) << l3 << left << setw(a)
<< h
    << setprecision(2) << setw(a) << K3 << endl;

    for (int ii = 0; ii < 155; ii++)
        cout << "-";
    cout << endl;

}
}
}

```