

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

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ Олександр Сокольський

«_____» _____ 2024р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів»

зі спеціальності 133 – *галузеве машинобудування*

на тему: Агрегат для виготовлення рукавної плівки з модернізацією екструдера

Студент групи IV к. ЛП-01

(шифр групи)

Лога Станіслав Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник проекту: PhD, Діденко Л.В.

_____ (вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ:

д.т.н., проф. Щербина В.Ю.

ТЕХ. МАШ.:

ст. викл. Борщик С.О.

ОХОРОНА ПРАЦІ:

ст. викл. Ковтун А.І.

РЕЦЕНЗЕНТ _____

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

Студент (-ка) _____

Київ 2024 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

_____ **Олександр Сокольський**

«_____» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Лозі Станіславу Романовичу

1. Тема проекту «Агрегат для виготовлення рукавної плівки з модернізацією екструдера», керівник проекту Діденко Л.В., PhD, затверджені наказом по університету від «17. 05» 2024 р. № 1993-с.

2. Термін подання студентом проекту 24.06.2024р.

3. Вихідні дані до проекту
одночерв'ячний екструдер, діаметр $D=63$ мм, відношення довжини робочої частини до його діаметра $L/D=23$, загальна довжина черв'яка 1449 мм,

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ. 1. Призначення і галузь застосування екструдера. 2. Опис технологічної схеми лінії. 3. Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії екструдера. 4. Літературний та патентний огляд стану питання, обґрунтування запропонованої модернізації черв'яка. 5. Розрахунки, 6 Розрахунки модернізації у програмі ANSYS. 7. Охорона праці. 8. Технологія машинобудування. Висновки. Література. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Лінія для виготовлення плівки рукавної з модернізацією черв'яка (A1)
2. Екструдер (A1)
3. Головка (A1)
4. Немодернізований черв'як (A2)
5. Модернізований черв'як (A2)
6. Деталювання (A1): Черв'як (A2), Секція (A3), Наконечник (A3)
7. Плакат результатів числових розрахунків (A1)

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання 17.05.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Призначення та галузь застосування екструдера.	17.05.2024-17.05.24	
2	Технічні характеристики та опис базової конструкції.	18.05.2024-18.05.24	
3	Креслення загального виду машини та лінії її використання	20.05.2024-20.05.24	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	24.05.2024-24.05.24	
5	Узгодження деталі по розділу «Технологія машинобудування»	25.05.2024-26.05.24	
6	Розробка розділу «Технологія машинобудування»	28.05.2024-31.05.24	
7	Розрахунки параметричні, теплові та на міцність	1.06.2024-03.06.24	
8	Висновки. Література. Оформлення додатків	03.06.2024-03.06.24	
9	Здача дипломного проекту на перевірку	24.06.2024-24.06.24	

Студент
Керівник проекту

Лога Станіслав
Діденко Л.В.

РЕФЕРАТ

Дипломний проект бакалавра на тему "Агрегат для виготовлення рукавної плівки з модернізацією екструдера". Виконавець - студент групи Лп-01 Лога С.Р., керівник - Діденко Л.В.

Дипломний проект містить текстові та графічні компоненти. У текстові частині є вісім розділів, загальні висновки, використана література та додатки. Загальний обсяг - 74 с., 24 іл., 2 табл., 16 джерел посилань. Графічна частина містить 6 аркушів (3 креслення А1, 3 креслення А2, 2 креслення А3 і 1 плакат А1 з розрахунками.)

Об'єкт розробки - черв'ячний екструдер з модернізацією черв'яка. В проекті розглянуто черв'як та технологічна лінії виробництва плівки рукавної.

У проекті виконано літературно-патентний огляд з подальшою метою для обирання одного з наведених патентів.

Проведені параметричні, розрахунки на міцність, стійкість, жорсткість і теплові розрахунки, що підтверджує працездатність деталі

Також у бакалаврському дипломі виконані розділи з охорони праці і технології машинобудування.

Ключові слова: ЧЕРВ'ЯК, ПЛІВКА РУКАВНА, ПАТЕНТ, РОЗРАХУНКИ, РОЗРАХУНКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ

ABSTRACT

Bachelor's diploma project on the topic "Unit for the production of sleeve film with the modernization of the extruder". Performer - student Lp-01 Loga S.R., group leader - Didenko L.V.

The diploma project contains textual and graphic components. The text part has eight chapters, general conclusions, references and appendices. The total volume is 74 pages, 24 illustrations, 2 tables, 16 references. The graphic part contains 9 sheets (2 A1 drawings, 4 A2 drawings, 2 A3 drawings and 1 A1 poster with calculations.)

The object of development is a worm extruder with worm modernization. A worm and a technological line for the production of sleeve film appear in the project.

The project included a literature and patent review with subsequent payment for the processing of one of the specified patents.

Parametric calculations of strength, stability, stiffness and thermal calculations were carried out, which confirms the operability of the parts.

Also, the bachelor's diploma includes sections on labor protection and mechanical engineering technology.

Keywords: WORM, SLEEVE FILM, PATENT, CALCULATIONS, MODERNIZATION CALCULATIONS

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 ПРИЗНАЧЕННЯ Й ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛІВКИ РУКАВНОЇ.....	1
2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛІНІЇ	4
3 СХЕМА І ОПИС МАШИНИ, ПРИНЦИП РОБОТИ, ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД МАШИНИ.....	7
4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД З ВИБОРУ ВАРІАНТА.....	
МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕКСТРУДЕРА	10
4.1 Літературно-патентний огляд.....	10
4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації	18
5 РОЗРАХУНКИ	20
5.1 Параметричні розрахунки	20
5.1.1 Розрахунок геометрії черв'яка і частоти його обертання.....	20
5.1.2 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми екструзійної	
ГОЛОВКИ.....	23
5.1.3 Розрахунок продуктивності	27
5.1.4 Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці	30
5.1.5 Потужність привода екструдера	32
5.2 Розрахунок черв'яка на міцність	36
5.2.1 Розрахунок на міцність.....	36
5.2.2 Розрахунок на стійкість	38

					ЛП01.097241.002-70 ПЗ			
Зм..	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб..		Лога С.Р.			Агрегат для виготовлення рукавної плівки з модернізацією екструдера	Літ..	Аркуш	Аркушів
Перев.		Діденко Л.В.					1	2
						«КПІ ім. Ігоря Сікорського»		
Н. Контр.								
Затверд..		Сокольський О.Л.						

5.2.3 Розрахунок на жорсткість.....	39
5.2.4 Розрахунок шліцевого з'єднання	41
5.3 Тепловий розрахунок екструдера	42
6 РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	45
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	48
7.1 Вентиляція	49
7.2 Шум та вібрація.....	49
7.3 Промислове освітлення.....	50
7.4 Електробезпека	51
7.5 Пожежна безпека	52
7.6 Висновки до розділу.....	52
8 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	53
8.1 Технологічний процес виготовлення фланця	53
8.1.1 Опис і призначення деталі.....	53
8.1.2 Вибір заготовки	54
8.1.3 Розробка технологічного процесу	55
8.2 Вибір пристосування, опис конструкції та принцип дії	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	
ДОДАТКИ.....	

					ЛП01.097241.002-70ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У галузі хімічного машинобудування полімери відіграють важливу роль, визначаючи сучасні тенденції та досягнення виробництва матеріалів. Одним із ключових елементів обладнання, яке використовується у виробництві полімерних матеріалів, є одночерв'ячний екструдер. Його роль вирішальна у процесі формування та обробки полімерів, що визначає якість та властивості кінцевих продуктів.

В рамках роботи ми розглянемо полімерну галузь хімічного машинобудування, зосереджуючись на функціональності та значущості одночерв'ячного екструдера. В рамках аналізу буде розглянуто технічні характеристики цього обладнання, його застосування.

Інтенсивний розвиток виробництва полімерних матеріалів, особливо термопластів, підвищив інтерес до теоретичних і практичних аспектів переробки цих матеріалів у виробництві. Останнім часом темпи зростання виробництва полімерних матеріалів технічного призначення значно перевищили темпи зростання виробництва аналогічних матеріалів з натуральної сировини.

Залежно від типу і характеристик полімеру або композиції, конструктивних особливостей виробу, умов його експлуатації та інших факторів існує безліч методів обробки полімерів, які можуть бути використані в певних випадках.

Мета дипломного проекту полягає у модернізації базової конструкції черв'ячного екструдера, що є складовою лінії для виготовлення плівки рукавної. В проекті наведено пошук рішення для підвищення якості змішування матеріалу.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ Й ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛІВКИ РУКАВНОЇ

Рукавна плівка має широке застосування у різних сферах. Ця плівка використовується для ізоляції, захисту та кріплення дротів, кабелів, упаковки матеріалів, а також у створенні плівок для заморожування, контейнерів та пакетів для різноманітних продуктів.

Рукавна плівка забезпечує надійний захист ізоляції та фіксації проводів у різних умовах експлуатації. Вона володіє стійкістю до впливу вологи, корозії та ультрафіолетового випромінювання. Її гнучкість та міцність роблять її важливим матеріалом у виробництві упаковочних матеріалів, забезпечуючи збереженість та довготривалість продуктів. Завдяки високій теплоізоляційній властивості, рукавна плівка ефективно захищає від тепла або холоду.

Рукавну плівку виготовляють на черв'ячному екструдорі за допомогою нагріву ПЕНГ. Виробництво включає плавлення сировини, формування плівки через екструдер і різання на рукави. Її властивості роблять її важливим елементом у багатьох галузях, від побутових потреб до високотехнологічних виробництв, де вона забезпечує надійний захист та функціональність.

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛІНІЇ

Технологічний процес формування плівки методом екструзії з розширеним рукавом складається з підготовки, формування і заключної стадії обробки сировини.

В процес підготовки входить:

- Сортуння за партіями (технічний режим підбирається для кожної партії сировини, тому при екструзії змішування партій суворо заборонено);
- Контроль вологості і технологічних параметрів сировини;
- підсушування;

Транспортування здійснюється автотранспортом цеху, а подача сировини в бункер екструдера здійснюється індивідуальним транспортом.

Заклучна операція може бути наступною: радіаційна обробка, контроль якості плівки, можливе нарізання на стрічки, пакування і складування, намотування в рулони. Під час контролю якості плівки контролюється товщина (безперервно), зовнішній вигляд і прозорість.

Рукавний спосіб виробництва плівки простий, високопродуктивний і економічний. Найбільш поширена схема полягає в тому, що рукав подається вгору. Це економічно, установка займає мало місця і має кілька технічних ускладнень. Схема екструзійної установки показана на рисунку 1.1.

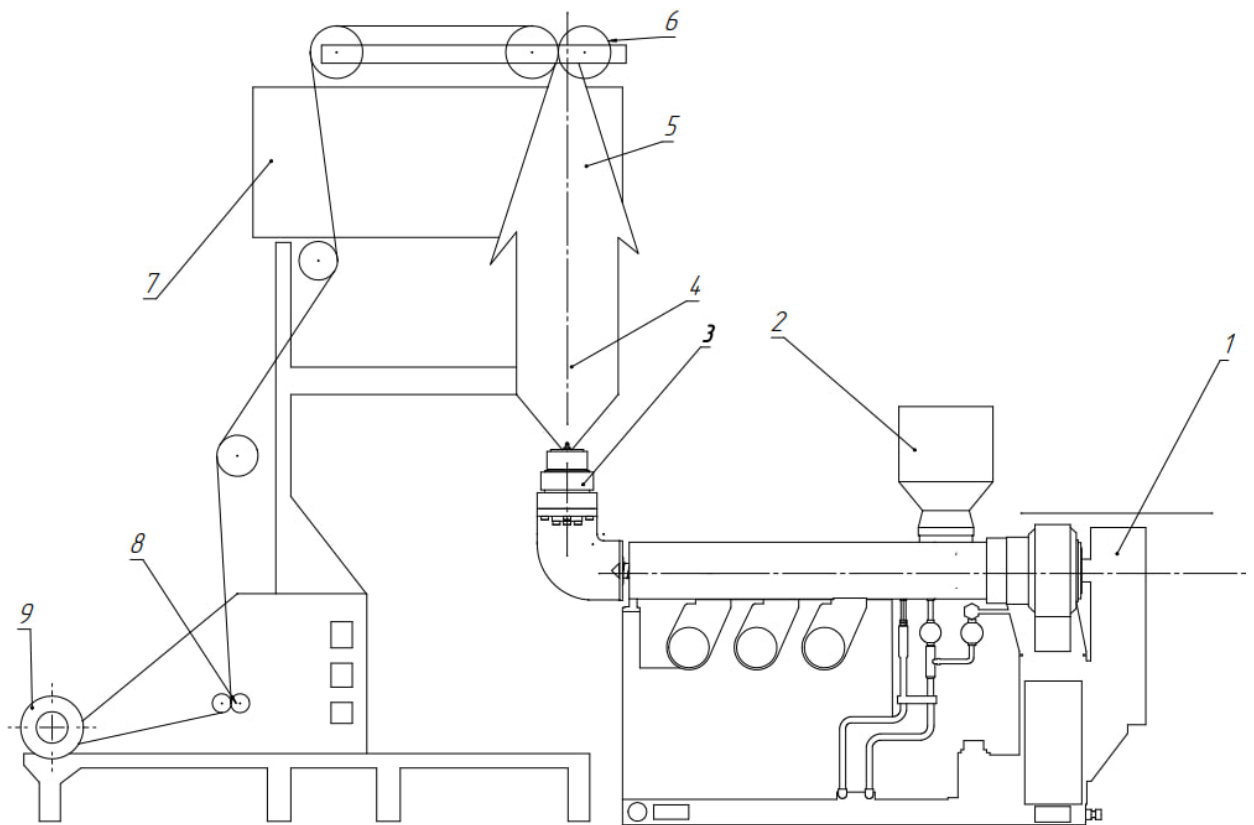


Рисунок 2.1 Схема установки з модернізованим екструдером для отримання плівки рукавної способом, в якому рукав подається вгору:

1 – екструдер; 2 – бункер; 3 – головка; 4 – трубопровід для подачі повітря; 5 – щокі для складання трубчастого рукава; 6 – тягові валки; 7 – естакада; 8 – спрямовуючі валки; 9 – намотувальний пристрій.

При формуванні плівки з обраним методом подачі, лінія включає в себе наступні етапи:

1. підготовка розплаву: завантаження полімерної розплавленої сировини, піч, гомогенізація та інжекція;
2. перетискання розтопу через кільцеву головку;
3. роздув рукава і його охолодження;
4. складання рукава;
5. намотування плівки на шпулі.

3 СХЕМА І ОПИС МАШИНИ. ПРИНЦИП РОБОТИ, ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД МАШИНИ

Опис роботи цієї машини (рис. 3.1) полягає в тому, що полімерний матеріал 3 закачується в циліндр 2 для матеріалу, який потім захоплюється обертовим черв'яком 1 і переміщується до формуючої головки 7. В цьому випадку полімер в зоні теплої подачі розм'якшується і спресовується в пробку, розплавляється в зоні стиснення, гомогенізується в зоні дозування і готується до подачі в формувальну головку. Для забезпечення необхідного теплового режиму і оптимальних умов транспортування в циліндрі з матеріалом встановлена зона охолодження 4, а термopара 6 грає роль регулятора температури. Конструкція черв'яка зазвичай передбачає внутрішнє охолодження водою, що подається і відводиться за допомогою пристрою 10. Черв'як отримує обертання від електромеханічного приводу, який включає в себе електродвигун 12 (постійного або змінний струм), зчеплення 13 і трансмісію 9. Осьове зусилля, що діє на черв'як в напрямку, протилежному руху розплаву, сприймається підшипниковим вузлом 11. Всі робочі вузли екструдера прикріплені до корпусу 5, який розташований на станині 5, як показано на малюнку 2.1.

Як правило, конструкція черв'яка включає внутрішню систему охолодження, що містить воду, яка подається і відводиться через пристрій 10. Черв'як приводиться в обертання від електромеханічного приводу, що складається з електродвигуна 12, муфти 13 і коробки передач 9 постійного або змінного струму. Підшипниковий вузол 11 забезпечує опір осьовим зусиллям, що діють на черв'як в напрямку, протилежному руху розплаву. Всі робочі вузли екструдера розташовані в корпусі 8, який розташований на станині 5.

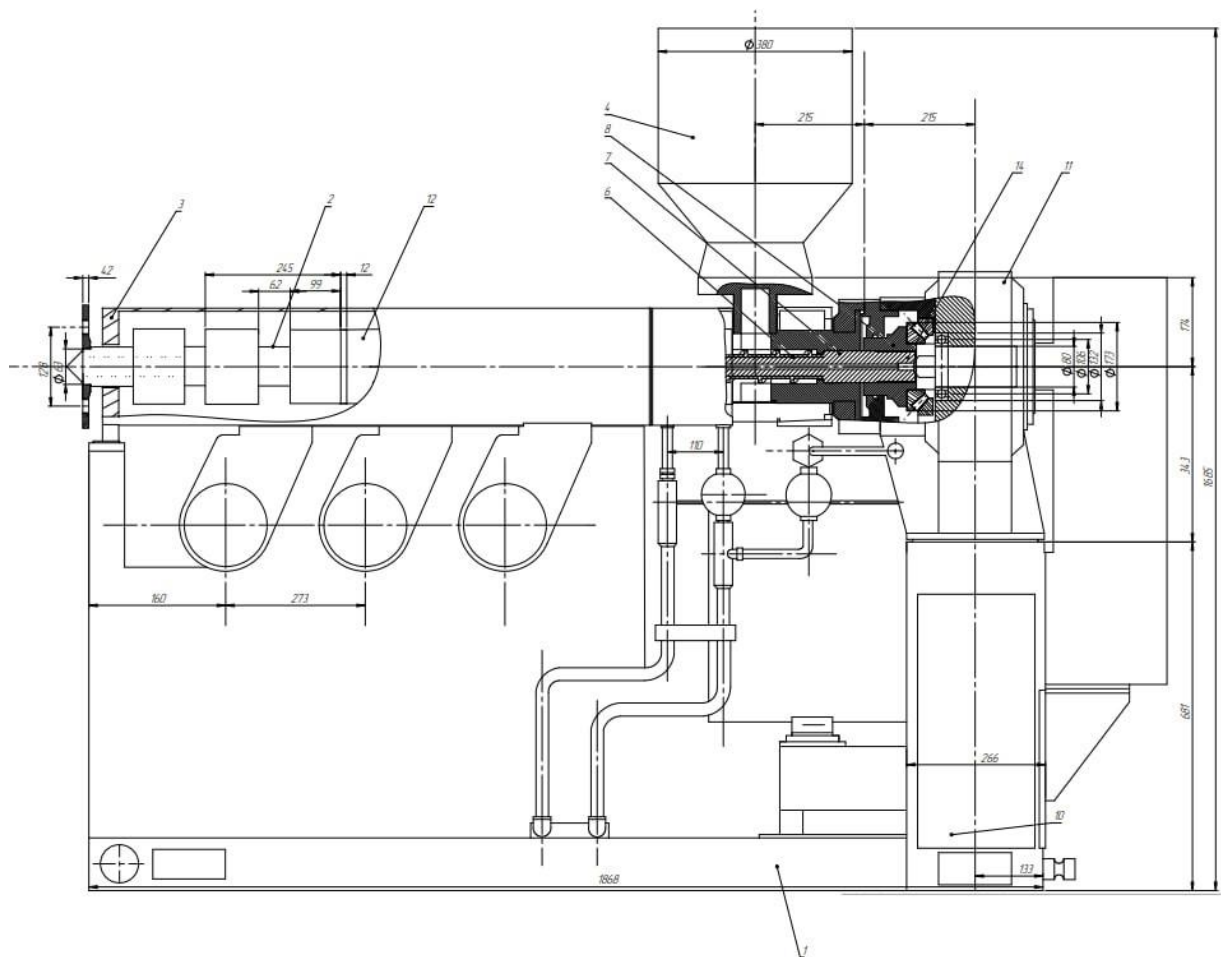


Рисунок 3.1 – Конструкція черв'ячного пресу (пояснення в тексті)

Геометричні параметри формування каналів та конструктивне оформлення головки (рис. 3.2) починаються реологічними властивостями розплаву та вимогами до кінцевого виробу. Оптимальний гідравлічний опір каналів головки повинен відповідати ефективним робочим характеристикам екструдера. Це вимагає відповідності типорозміру машини, геометрії черв'яка та технологічних режимів вимогам щодо геометрії виробу, каналів головки та необхідної продуктивності.

Можливо забезпечити максимально однорідний розподіл швидкості розплаву на виході з голови. Невиконання цієї умови може призвести до нерівномірності виробу, утворення складок та вигинів профілю на ділянках з меншою швидкістю потоку розплаву.

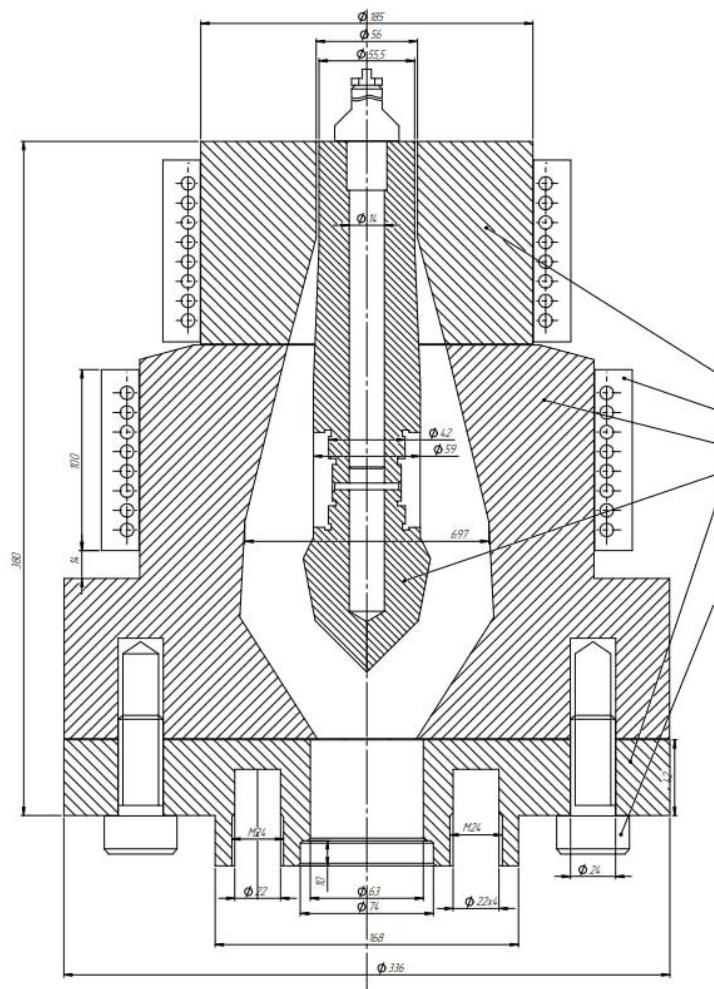


Рисунок 3.2 – Конструкція головки для виробництва плівки рукавної:

1 – мундштук, 2 – матриця, 3 – розчікач, 4 – нагрівач, 5 – фланець, 6 – кріпильні болти

Форма та розміри остаточного профілю екструзійних виробів виготовляються мундштуком, який складається з матриці, що формує зовнішню поверхню виробу, та дорна, що формує внутрішню поверхню. Часто мундштуки розробляють як швидкозмінні для ефективного переходу на виробництво іншого типорозміру. Кріплення дорна створено за допомогою дорнотримачів різної конструкції, часто передбачаючи можливість регулювання товщини профілю в різних перерізах.

На вході в головку часто встановлюють решітку з пакетом ситок для фільтрації розплаву та створення необхідного перепаду тиску.

Мундштук повинен мати на виході каналу постійної геометрії для стабілізації течії розплаву полімеру.

4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД З ВИБОРУ ВАРІАНТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕКСТРУДЕРА

4.1 Літературно-патентний огляд

Література [1]-[3] складають основу літератури з проектування, розрахунків та виготовлення обладнання для переробки полімерів і резинових сумішей. Автори розглядають різноманітні аспекти цього процесу, починаючи з розрахунків технологічних параметрів і вибору обладнання, та закінчуючи конструкцією та методиками монтажу та ремонту.

Спільні ознаки цих книг включають в себе детальність у розгляді технічних аспектів переробки полімерів, резини, а також надання практичних порад щодо розрахунків та вибору обладнання.

Крім того, ця література відображає розвиток технологій у цій галузі протягом кількох десятиліть, що дозволяє отримати широкий огляд різних методів та підходів до переробки матеріалів. Важливим елементом цих книг є їхнє значення для практичного застосування, як для інженерів та науковців, так і для технічних працівників і робітників, що займаються виробництвом. Загалом, ці книги становлять цінний ресурс для всіх, хто зацікавлений у сфері переробки полімерів та резини, надаючи докладну інформацію та методичні рекомендації щодо проектування, експлуатації та підтримки виробничих процесів.

У даній роботі черв'як екструдера для переробки полімерних матеріалів був модернізований і включає послідовно розташовані хвостовик, зону подачі пресування і дозування, а також вал зі стружкою, причому вал ділянки подачі, стиснення і дозування оснащений гвинтовим різьбленням, яка відрізняється тим, що канавки розташовані похило у напрямку до хвостовика. На різьблених крайках зони дозування виконані бічні канавки.

Корисна модель [4] заснована на задачі вдосконалення черв'яка (рис. 4.1) екструдера для переробки полімерних матеріалів, а нова конструкція його ріжучих кромок зменшує зворотний потік оброблюваного матеріалу через зазор "ріжучі кромки - корпус екструдера", зберігаючи при цьому високий перемішувачий ефект черв'яка.

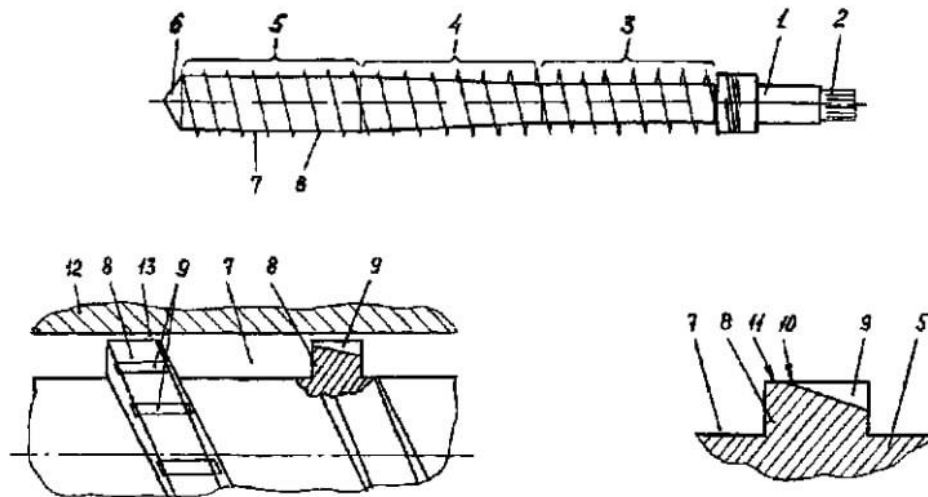


Рисунок 4.1 - Черв'як з ріжучими кромками

Черв'ячний шнек екструдера включає в себепо вал 1 на якому послідовно розташовані хвостовик 2, зони живлення 3, обтискання 4 і дозування 5, а також наконечник 6. При цьому вал 1 на зазначених ділянках 3-5 забезпечений гвинтом 7, а на гребені 8 нарізки 7 зони дозування 5 виконані розташовані поперечно йому паз 9, який скошений у напрямку хвостовика 2 вала 1. Вихід 10 пазів 9 з торцевої сторони 6 вала 1 може бути виконаний на зовнішній поверхні 11 гребеня 8 нарізки 7.

Черв'як працює таким чином.

Термопластичний матеріал, що підлягає вторинній переробці, переміщується через зону стиснення 4 із зони подачі 3 до зони дозування 5 через нарізку 7, поступового нагрівання та ущільнення. У зоні дозування 5 розплавлений матеріал під впливом опору формуючої головки (не показана) намагається частково перетікати через гребінь 8 нарізки 7, але як тільки він

потрапляє в паз 9, він поступово уповільнює надходження матеріалу. При цьому зменшується тертя черв'яка по корпусу 12 екструдера, а також підвищують надійність "корпусу шнекового екструдера", що також допомагає зменшити витрату матеріалу.

Черв'як екструдера, який включає в себе вал з послідовно розміщеним хвостовиком, секцію з гвинтовим гребнем, секцію зі штифтами і також наконечником, причому секція зі штифтами виконана у вигляді втулки, а штифти розміщені на стінці втулки і є можливість контакту з гвинтовою нарізкою і зворотно-поступального переміщення вала, а втулка прикріплена до валу з можливістю обертання і фіксації в заданому положенні.

В основу корисної моделі [5] покладена задача вдосконалення шнека екструдера (рис. 4.2), нова конструкція якого передбачає регулювання висоти штифтів на поверхні черв'яка, а отже забезпечує можливість регулювання геометричної форми міжвиткового простору, що розширює технічні можливості шнека за рахунок обробки більш широкого класу матеріалів.

Черв'ячний шнек екструдера включає в себе вал 1 з послідовно розташованим хвостовиком 2, секцію 3 з гвинтовою нарізкою 4, секцію 5 зі штифтами 6, а також наконечником 7. Секція 5 зі штифтами 6 виконана у вигляді втулки 8, вал 1 на секції 5 зі штифтами 6 виконано з гвинтовим гребнем 9, при цьому штифти 6 розміщені на стінці втулки 8 і встановлені з можливістю контакту з гвинтовим гребнем 9 і зворотно-поступального переміщення, а втулка 8 встановлена на валу 1 з можливістю повороту й фіксації в заданому положенні. Поворот втулки 8 на валу 1 здійснюють за допомогою ключа (не показано), розміщуваного в отворах 10, а фіксацію втулки 8 у заданому положенні відносно вала 1 - за допомогою нарізного кільця 11. Штифти 6 притискаються до гвинта 9 за допомогою пружини 12.

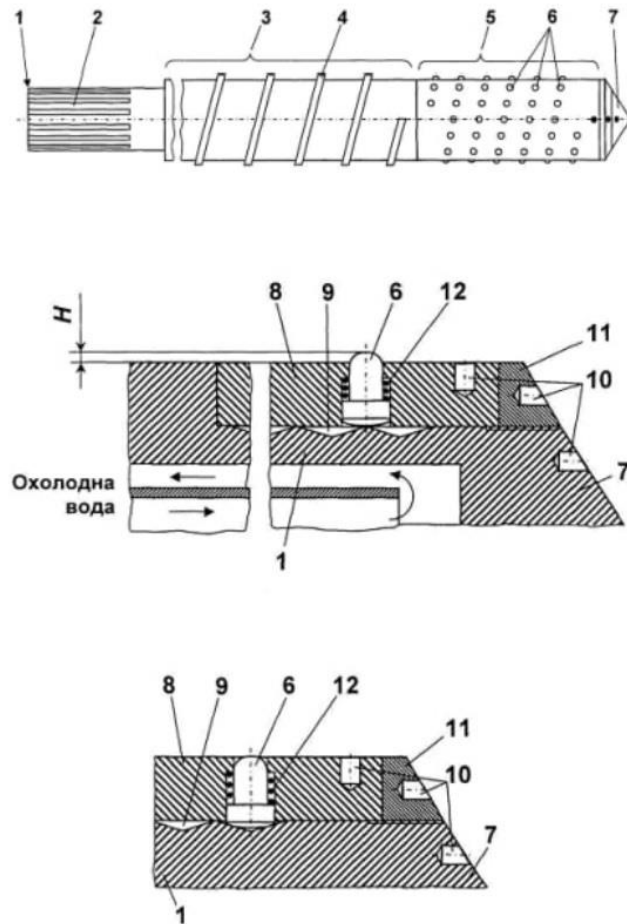


Рисунок 4.2 - Черв'як з регулюванням шифтів

Черв'як працює в такий спосіб.

Залежно від характеристик оброблюваного матеріалу і режиму його обробки нарізне кільце 11 злегка відкручується від вала 1, а потім, утримуючи вал 1 від повертання, обертають втулку 8. Залежно від кута повороту втулки 8 гвинтом 9 виставляють штифт 6 на потрібній висоті, потім втулка 8 фіксується на валу за допомогою нарізного кільця 11. Контроль висоти H виходу штифтів 6 над поверхнею втулки 8 сприяє пружина 12, яка забезпечує постійний контакт штифтів 6 з гвинтом 9.

Корисна модель [6] заснована на задачі удосконалення шнекового екструдера (рис. 4.3), а нова конструкція гребеня в зоні дозування значно

покращує перемішуючу і диспергуючу здатність черв'яка і підвищує якість оброблюваного матеріалу.

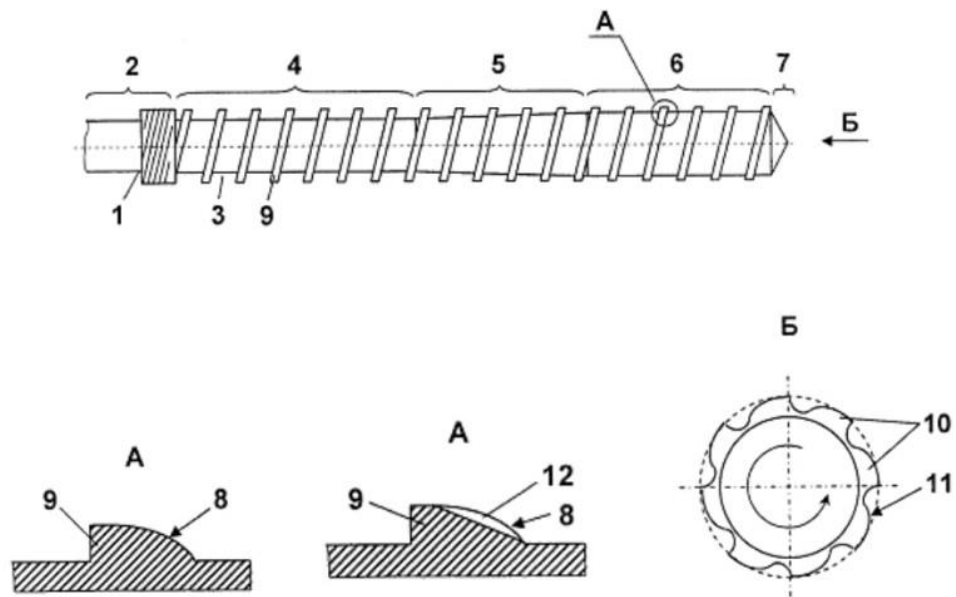


Рисунок 4.3 - Черв'як з гребенем

Черв'як екструдера містить вал 1 з послідовно розташованим хвостовиком 2, спорядженим гвинтом 3 зонами подавання 4, плавлення 5 і дозування 6 і наконечник 7. Штовхальний заплечик 8 гребеня 9 нарізки 3 зони дозування 6 виконано опуклим з поздовжніми виступами 10, з скошеними боковими гранями 11 і в бік обертання черв'яка. При цьому можуть бути виконані поперечні пази 12.

Черв'як працює в таким чином:

Оброблюваний термопластичний матеріал послідовно просувається через нарізку 3 з зони подавання 4 через зону плавлення 5 і до зони дозування 6, поступово нагріваючись та ущільнюючись. У зоні дозування 6 розплавлений матеріал під впливом опору формуючої головки (не показана) потрапляє в проміжок, утворений штовхальним заплечиком 8 гребню 9 з нарізкою 3 і корпусом (не показано) екструдера. Даний проміжок звужується як в напрямку від наконечника 7 до хвостовика 2 черв'яка, так і в круговому напрямку, забезпечуючи інтенсивну змінну деформацію зрушення обсягу розплаву, що істотно інтенсифікує процес змішування розплаву і його

гомогенність. У той же час поперечний паз 12 значно інтенсифікує процес перемішування та диспергування компонентів перероблюваної композиції.

Корисна модель [7] відносять до пристрою для обробки термопластичних матеріалів (рис. 4.4), в тому числі композиційних, і може бути використана при виробництві екструзійних ліній з переробки полімерів, зокрема робочого органу одно- або двочерв'ячних екструдерів.

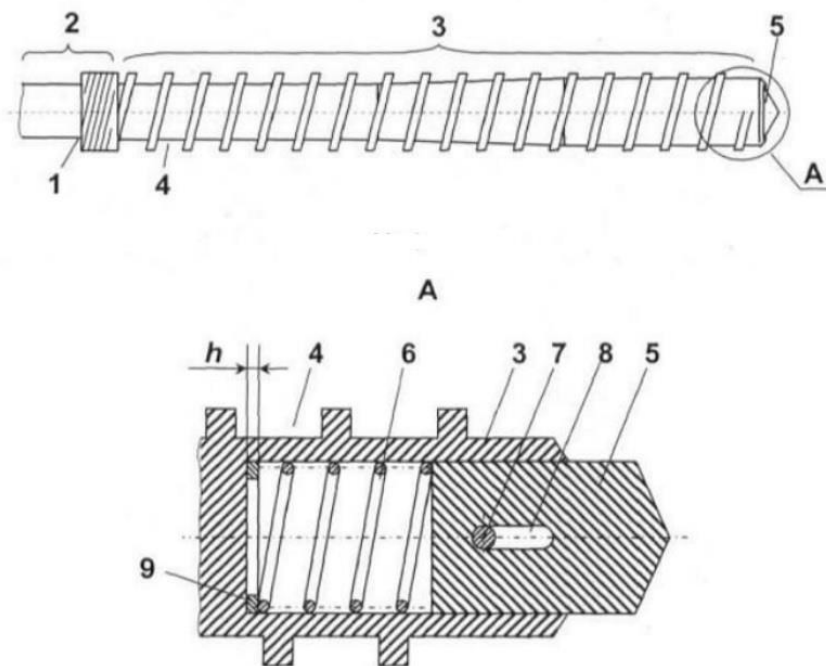


Рисунок 4.4 - Черв'як для обробки композиційних матеріалів

Черв'як містить вал 1 з послідовно розташованими хвостовиком 2, робочою зоною 3 з гвинтовим різьбленням 4, а також наконечник 5 виконаний у вигляді окремої деталі з можливістю осьового переміщення щодо робочої зони 3 і споряджено пружинним елементом 6. Штифт 7, що проходить через овальний отвір 8 наконечника 5 фіксує його від провертання відносно робочої зони 3 черв'яка. Пружний елемент 6 може бути оснащено засобами регулювання його жорсткості, наприклад пакетом замыних шайб 9.

Черв'як працює в таким чином:

Сировина, що підлягає обробці, послідовно просувається через нарізку

4, яка знаходиться на робочій частині 3 від хвостовика 2 і до наконечника 5, поступово стискається, нагрівається і розплавляється. Під час раптового небажаного підвищення тиску з боку екструзійної головки (не показано) це сприяє переміщенню наконечника 5 в напрямку його робочої зони 3, зменшуючи, таким чином загальну довжину шнека і збільшуючи обсяг робочого каналу екструдера з боку наконечника 5, що сприяє зниженню тиску. Після того як тиск знижується наконечник 5 повністю або частково повертається у вихідне положення, після чого тиск в робочому каналі екструдера стабілізується. Залежно від оброблюваної сировини зміною товщини h пакета заміних шайб 9 можна регулювати пружні характеристики пружинного елемента 6.

Корисна модель [8] відноситься до пристрою для переробки термопластичних полімерів і пластмас (рис. 4.5), а також гумових сумішей і може бути використана в конструкціях одно- та двошнекових екструдерах.

Черв'ячний шнек екструдера виконано у вигляді забезпеченого гвинтовою нарізкою 1 вала 2 з порожниною 3 для розташування в ній двох коаксіально-концентричних труб 4 і 5 для підведення й відведення холодоагенту. Між трубою 5 і стінкою порожнини 3 вала 2 встановлено порожнисті герметичні кільцеві втулки 6, заповнені пористим матеріалом 7, просоченим легкокипаровуваною рідиною, при цьому герметичні кільцеві втулки 6 заповнені легкокипаровуваною рідиною з різною температурою кипіння. Також сусідні герметичні кільцеві втулки 6 можуть бути теплоізовані одна від одної.

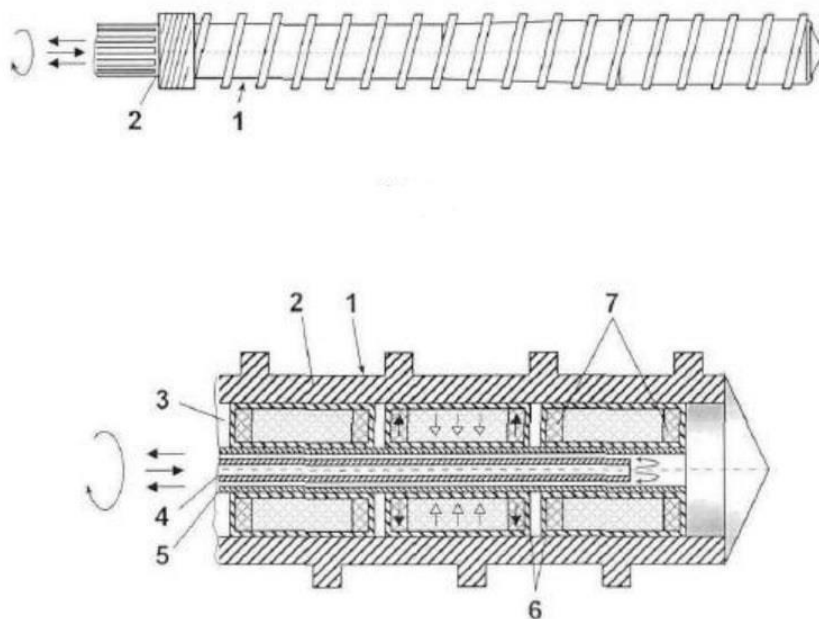


Рисунок 4.5 - Черв'як для переробки пластмас

Черв'як працює в таким чином:

Сировина, що підлягає обробленню, помірно просувається нарізкою 1 вала 2 від хвостовика до наконечника черв'яка, поступово стискається, нагрівається і розплавляється. У порожнину 3 вала 2 черв'яка по внутрішній трубі 4 надходить холодна вода, яка виходить із труби біля наконечника, повертається, охолоджує зовнішню трубу 5 і виводиться за межі черв'яка. Легковипаровувана рідина, що перебуває в кожній з герметичних кільцевих втулок 6, нагрівається з боку зовнішньої поверхні вала 2, випаровується й рухається вздовж радіуса в бік охолоджуваної поверхні зовнішньої труби 5, де утворена пара легковипаровуваної рідини конденсується, віддаючи теплоту охолоджувальній воді, після чого за рахунок капілярних сил крізь пористий матеріал 7 повертається в бік зовнішньої поверхні вала 2. Далі цикл кипінняконденсації легковипаровуваної рідини повторюється. Заповнення герметичних кільцевих втулок 6 легковипаровуваною рідиною з різною температурою кипіння забезпечує потрібну температуру робочої (зовнішньої) поверхні черв'яка по довжині кожної з його ділянок відповідно до кількості й довжини герметичних кільцевих втулок 6. Це дає змогу

забезпечити ефективний температурний режим перероблення різноманітних полімерних матеріалів, що істотно розширює технологічні можливості шнека. При цьому теплоізолювання сусідніх герметичних кільцевих втулок б одна від одної поліпшує умови створення потрібної температури робочої поверхні черв'яка, оскільки краще відмежовує сусідні герметичні кільцеві втулки б одна від одної.

Черв'як машини з підвищеною довговічністю, який складається з кількох секцій, які зроблені в вигляді порожнистих циліндрів з нарізкою навивки на зовнішній поверхні, фіксуються на валу шпонками з можливістю змінювати розташування в міру зносу в процесі експлуатації.

Корисна модель [9] належить до машинобудування, зокрема до виготовлення вузлів екструдуючого екструдера для переробки фуражного зерна (Рис.4.6).

4.2 Обґрунтування вибору модернізації черв'яка екструдера

Модернізація черв'яка екструдера буде проводитись за патентом [9].

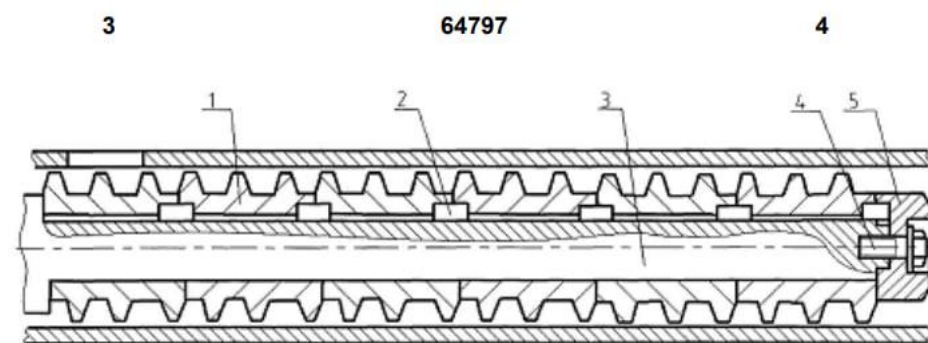


Рисунок 4.6 - Черв'як з можливістю змінювати секції:

1 - секція черв'яка; 2 - шпонка; 3 - вісь; 4 - наконечник; 5 - натискна шайба.

Мета модернізації направлена на підвищення довговічності і

зносостійкості шнека екструдера, а також підвищення ефективності.

Відомо, що вузол екструдювання (пара шнекциліндр) є одним з найбільш навантажених вузлів агрегату. При екструдюванні цей черв'як сприймає великі навантаження і швидко зношується, в результаті чого екструдер стає непрацездатним.

Задача вирішується тим, що черв'як екструдера з підвищеною довговічністю, який складається з кількох секцій, які зроблені в вигляді порожнистих циліндрів з нарізкою навивки на зовнішній поверхні, фіксуються на валу шпонками з можливістю змінювати розташування в міру зносу в процесі експлуатації.

Це означає, що довговічність, зносостійкість і ефективність цієї деталі екструдера буде збільшена, також буде легше проводитись заміна секцій.

5 РОЗРАХУНКИ

5.1 Параметричні розрахунки

5.1.1 Розрахунок геометрії черв'яка і частоти його обертання

Черв'як є основним вузлом екструдера і призначеної для транспортування полімерного матеріалу від завантажувальної воронки в формуючу головку, а також для пластифікації гранул, ретельного перемішування розплаву і установки тиску для видавлювання з головки.

Діаметр черв'ячного шнека є одною з основних величин, що характеризують продуктивність екструдера.

Нижче наведено розрахунок машини з черв'яком діаметром $D = 63$ мм і відношенням довжини робочої частини до її діаметру $L/D = 23$.

Інші параметри черв'яка вибираються в залежності від оброблюваного матеріалу. В даному випадку оброблюваним матеріалом є ПЕНГ, а основні параметри черв'яка розраховуються на основі залежностей, наведених нижче.

Крок гвинтової лінії черв'яка

$$t = (0,8 \dots 1,2) * D = 1 * 63 = 63 \text{ мм}$$

Кут підйому гвинтової лінії

$$\varphi = \arctg\left(\frac{t}{\pi * D}\right) = \arctg\left(\frac{63}{3,14 * 63}\right) = 17,67^\circ$$

Товщина гребеня черв'яка

$$e = (0,06 \dots 0,12) * D = 0,11 * 63 = 7 \text{ мм}$$

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

Зазор між черв'яком і гільзою

$$\delta = (0,002 \dots 0,003) * D = 0,0024 * 63 = 0,15 \text{ мм}$$

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

Глибина навивки в зоні завантаження

$$h_1 = (0,12 \dots 0,16) * D = 0,126 * 63 = 8 \text{ мм}$$

Глибина навивки в зоні дозування складає

$$\begin{aligned} h_3 &= 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 * h_1}{i} * (D - h_1)} \right] = \\ &= 0,5 \left[63 - \sqrt{63^2 - \frac{4 * 8}{4} * (63 - 8)} \right] = 1,95 \text{ мм} \end{aligned}$$

де $i = 4$ – ступінь стиску ПЕНГ.

Конструктивні параметри черв'яків, рекомендовані для деяких полімерних матеріалів та виробів [11].

Діаметр вала черв'яка під завантажувальною воронкою

$$d_1 = D - 2h_1 = 63 - 2 * 8 = 47 \text{ мм}$$

Діаметр вала черв'яка в зоні дозування

$$d_3 = D - 2h_3 = 63 - 2 * 2 = 59 \text{ мм}$$

Довжина робочої частини черв'яка розраховується, виходячи із заданого співвідношення L/D

$$L_{\text{роб}} = 23 * D = 23 * 63 = 1449 \text{ мм}$$

Довжина зони завантаження $L_{\text{зав}}$ становить $(4 \dots 6) * D$ або $(0,25 \dots 0,35) * L_{\text{роб}}$

$$L_{\text{зав}} = 0,25 * 1449 = 362,25 \text{ мм}$$

Приймаємо $L_{\text{зав}} = 365 \text{ мм}$.

Довжина зони стиснення $L_{\text{ст}}$ для більшості полімерів становить $(7 \dots 13) * D$ або $(0,2 \dots 0,35) * L_{\text{роб}}$

$$L_{\text{ст}} = 0,2 * 1449 = 289,8 \text{ мм}$$

Приймаємо $L_{\text{ст}} = 290 \text{ мм}$.

Довжина зони дозування $L_{\text{доз}}$ значною мірою визначає якість підготування розплаву і відношення L/D зростає переважно за її рахунок та

за рахунок довжини додаткових зон і деталей. Зазвичай цей розмір обирають у межах $(0,4 \dots 0,6) * L_{\text{роб}}$. Також допустим є розрахунок таким чином:

$$L_{\text{доз}} = L_{\text{роб}} - L_{\text{зав}} - L_{\text{ст}}$$

Довжина зони дозування:

$$L_{\text{доз}} = 1449 - 365 - 290 = 794 \text{ мм}$$

Довжина опори і евольвентного зачеплення приймаємо $L_{\text{ев}} = 150$ мм.

Довжина відбійної частини

$$L_{\text{вдб}} = (0,1 \dots 0,5) * D = 0,476 * 63 = 30 \text{ мм}$$

Загальна довжина черв'яка

$$L = L_{\text{поб}} + L_{\text{ев}} + L_{\text{вдб}} = 1449 + 150 + 30 = 1629 \text{ мм}$$

Глибина валу черв'яка на початку зони стиснення

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L}(L - L_{\text{CT}}) = 8 - \frac{8 - 2}{1629}(1629 - 290) = 3,07 \text{ мм}$$

Діаметр валу черв'яка на початку зони стиснення

$$d_2 = D - 2h_2 = 63 - 2 * 3,07 = 56,86 \text{ mm}$$

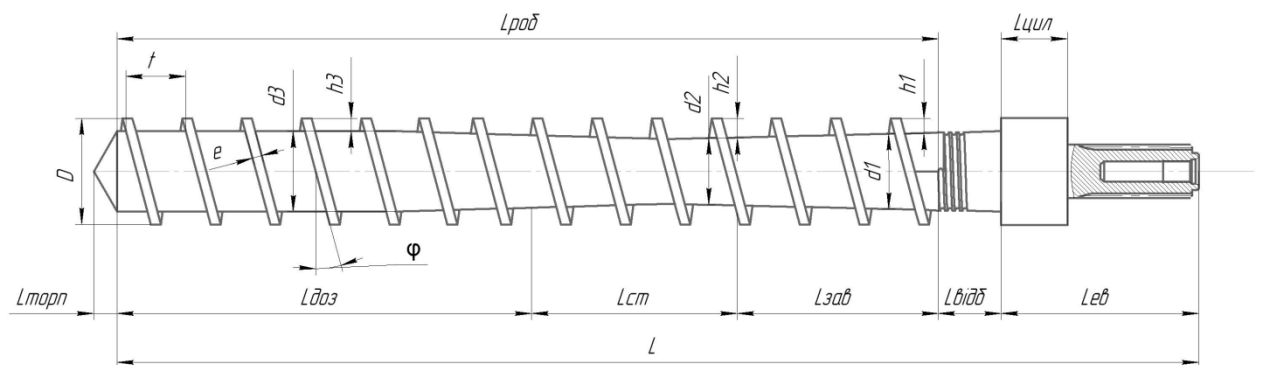


Рисунок 5.1 - Схема черв'яка

Критична частота обертання черв'яка в зоні завантаження може бути визначена о такому співвідношенню (с^{-1}):

$$n_{\text{kp}} = \frac{42,2}{60\sqrt{D}} = \frac{42,2}{60 * \sqrt{0,063}} = 2,81 \text{ c}^{-1}$$

де D - діаметр черв'ячного шнека, м.

У зоні стиснення і дозування допустима частота обертання черв'яка

значно знижена, щоб відповідати максимальній температурі нагріву матеріалу.

Робоча частота обертання черв'яка:

$$n_p = (0,2 \dots 0,7) * n_{кр} = 0,35 * 2,81 = 0,98 \text{ с}^{-1},$$

при цьому для діаметра дрібних черв'яків беруться менші значення коефіцієнта, а для великих - більш високі.

У цьому підрозділі було виконано розрахунок геометрії черв'яка частоти його обертання, внаслідок чого були отримані наступні дані: довжина робочої частини черв'яка $L_{роб} = 1449 \text{ мм}$; критична частота обертання черв'ячного шнека в зоні завантаження $n_{кр} = 2,81 \text{ с}^{-1}$.

5.1.2 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми екструзійної головки

Канал головки (рис. 5.2), ділиться на деяку кількість послідовних секцій простої геометричної форми, визначається коефіцієнт геометричної форми K , м^3 або мм^3 кожної секції, а потім сумарне значення для всієї головки

$$K_{\text{сум}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5}}$$

Розраховані розміри головки для розмірів черв'яка $D_q = 63 \text{ мм}$ і

$L_q/D_q = 23$ наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Розміри головки для $D_q = 63 \text{ мм}$ і $L_q/D_q = 23$

$d_1, \text{ мм}$	$d_2, \text{ мм}$	$D, \text{ мм}$	$l_1, \text{ мм}$	$l_2, \text{ мм}$	$l_3, \text{ мм}$	$l_4, \text{ мм}$	$l_5, \text{ мм}$
70	84	92	208	32	58	18	34

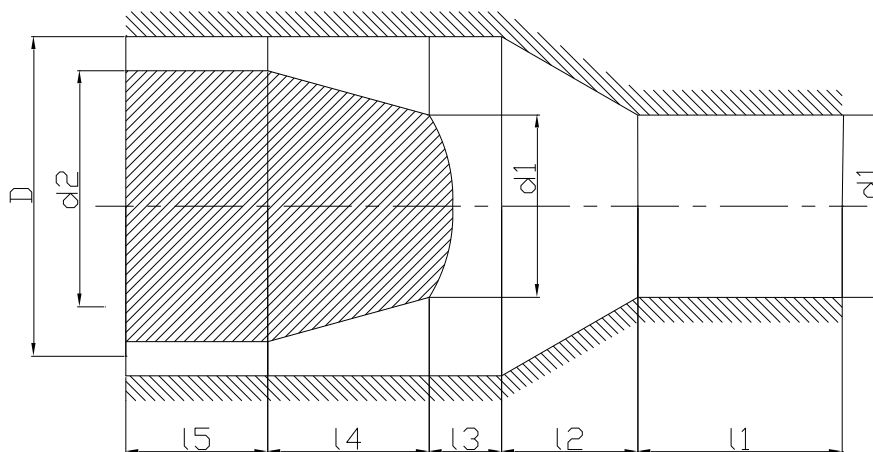


Рисунок 5.2 – Схема головки

1. Розраховуємо ділянку 1 (рис. 5.3) за типом каналу – круглий циліндровий:

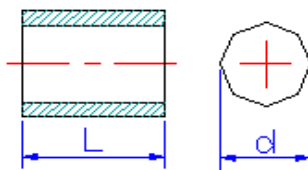


Рисунок 5.3 – Круглий циліндровий канал

$$K_1 = \frac{\pi d_1^4}{128 l_1} = \frac{3,14 * 70^4}{128 * 208} = 2831,71 \text{ мм}^3$$

2. Розраховуємо ділянку 2 (рис. 5.4) за типом каналу – круглий конічний з великим діаметром на вході:

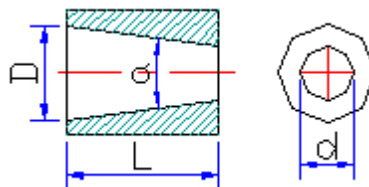


Рисунок 5.4 – Круглий конічний канал з великим діаметром на вході

$$K_2 = \frac{3\pi D^3 d_1^3}{128 l_2 (D^2 + D d_1 + d_1^2)} = \frac{3 * 3,14 * 92^3 * 70^3}{128 * 32 (92^2 + 92 * 70 + 70^2)} = 31016,7 \text{ мм}^3$$

3. Розраховуємо ділянку 3 (рис. 5.5) за типом каналу – круглий циліндровий:

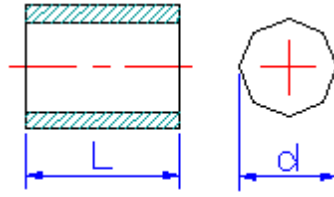


Рисунок 5.5 – Круглий циліндровий канал

$$K_3 = \frac{\pi D^4}{128 l_3} = \frac{3,14 * 92^4}{128 * 58} = 30300,03 \text{ мм}^3$$

4. Розраховуємо ділянку 4 (рис. 5.6) за типом каналу – конічний кільцевий з конічною цілиною:

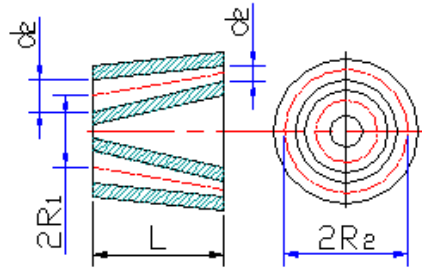


Рисунок 5.6 – Конічний кільцевий канал з конічною цілиною

$$K_4 = \frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6l_4\omega} = \frac{3,14(40,5 * 4 - 44 * 11)}{6 * 18 * (-0,028)} = 334,35 \text{ мм}^3$$

$$\delta_1 = \frac{D - d_1}{2} = \frac{92 - 70}{2} = 11 \text{ мм}$$

$$\delta_2 = \frac{D - d_2}{2} = \frac{92 - 84}{2} = 4 \text{ мм}$$

$$R_1 = \frac{D + d_1}{4} = \frac{92 + 70}{4} = 40,5 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{D + d_2}{4} = \frac{92 + 84}{4} = 44 \text{ мм}$$

$$\omega = \frac{2,3(R_1 - R_2)^2}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)^2} \lg \frac{R_1\delta_2}{R_2\delta_1} - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2}$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2,3(40,5 - 44)^2}{(40,5 * 4 - 44 * 11)^2} \lg \frac{40,5 * 4}{44 * 11} - \frac{(40,5 - 44)(11 - 4)}{(40,5 * 4 - 44 * 11) * 11 * 4} - \\ &\quad - \frac{11^2 - 4^2}{2 * 11^2 * 4^2} = 0,00027 * \lg 0,35 - 0,0017 - 0,027 \\ &= -0,028 \text{ мм}^{-2}\end{aligned}$$

5. Розраховуємо ділянку 5 (рис. 5.7) за типом каналу – кільцевий:

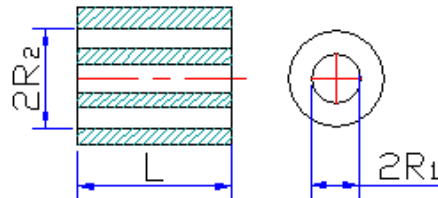


Рисунок 5.7 – Кільцевий канал

$$K_5 = \frac{\pi(R_2 + R_1)(R_2 - R_1)^3}{12l_5} = \frac{3,14(46 + 42)(46 - 42)^3}{12 * 34} = 43,34 \text{ мм}^3$$

$$R_1 = \frac{d_2}{2} = \frac{84}{2} = 42 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{D}{2} = \frac{92}{2} = 46 \text{ мм}$$

$$K_{\text{сум}} = \frac{1}{\frac{1}{2831,71} + \frac{1}{31016,7} + \frac{1}{30300,03} + \frac{1}{334,35} + \frac{1}{43,34}} = 38 \text{ мм}^3$$

А ось в цьому підрозділі було розраховано коефіцієнт геометричної форми екструзійної головки, який дорівнює 38мм³.

5.1.3 Розрахунок продуктивності

Розрахунок продуктивності проведемо по зоні дозування черв'ячної машини має вирішальний вплив на продуктивність екструдера. Ефективність зони дозування в цілому залежить від геометричних параметрів самого черв'яка. Продуктивність всього черв'ячного екструдера в значній мірі залежить не тільки від геометричних розмірів черв'яка і кількості його обертів, але і від конструкції формуючої головки.

Грунтуючись на гідродинамічному підході до аналізу взаємодії між заготівлею і оброблюваним матеріалом в зоні дозування шнекового пресу, можна розглянути 3 складові потоку розплаву:

1) прямий потік, тобто потік розплаву, що рухається змійовиками в напрямку від зони завантаження до зони дозування вздовж осі черв'яка; викликається обертанням черв'яка щодо циліндра;

2) рух потоку розплаву в протилежному напрямку, викликане зворотним потоком, тобто падінням тиску по всій довжині черв'яка;

3) потік витoku, що протікає в зазорі між зовнішньою поверхнею навивки черв'яка та внутрішньою поверхнею циліндра у напрямку від зони дозування.

Такий поділ на три потоки в каналі черв'яка слід вважати умовним, оскільки протитечії практично немає, а має місце якесь обмеження прямого потоку, яке виникає в результаті опору головки.

Об'ємна секундна продуктивність екструдера для обробки полімерів, в залежності від опору головки і конструкції зони дозування розраховується наступним чином

$$Q = \frac{\alpha * K_{\text{заг}} * n_p}{K_{\text{заг}} + \beta + \gamma}$$

де n_p – 0,98 об/с (робоча швидкість обертання черв'яка),

$K_{\text{заг}}$ – 38 мм³ (загальний коефіцієнт геометричної форми головки),

α – коефіцієнт прямого потоку,

β – коефіцієнт зворотного потоку,

γ – коефіцієнт потоку виток.

Значення коефіцієнтів прямого потоку α , зворотного потоку β та потоку виток γ для черв'яка зі змінною глибини нарізки визначаються таким чином:

$$\alpha = \frac{\pi^3(t - \lambda e)c}{a + t^2 b}$$
$$\beta = \frac{\pi t(t - \lambda e)}{12L_{\text{доз}}(a + t^2 b)}$$
$$\gamma = \frac{\pi^2 D \delta^3 t^2}{10eL_{\text{доз}} \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}}$$

де c , a , b – коефіцієнти, що характеризують черв'як зі змінною глибини нарізки:

$$c = 1 - \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \lg\left(\frac{h_2}{h_3}\right) + \frac{D^2}{2h_2 h_3}$$
$$a = \frac{\pi^2}{h_2 h_3} \left(\frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2 h_3} - 1 \right)$$
$$b = \frac{2,3}{(h_2 - h_3)D^3} \lg\left(\frac{h_2(D + d_3)}{h_3(D + d_1)}\right) + \frac{2h_2 h_3 + (h_2 + h_3)D}{2D^2 h_2^2 h_3^2}$$

де t – 63 мм (крок нарізки черв'яка),

λ – 1 (число заходів гвинтової навивки),

e – 7 мм (товщина гребеня навивки черв'яка),

$L_{\text{доз}}$ – 794 мм (довжина зони дозування),

D – 63 мм (зовнішній діаметр черв'яка),

δ – 0,15 мм (висота зазору між черв'яком та корпусом),

h_2 – 3,07 мм (глибина гвинтового каналу на початку зони стиснення),

h_3 – 2 мм (глибина каналу в зоні дозування),

d_3 – 59 мм (діаметр валу черв'яка в зоні дозування),

d_1 – 47 мм (діаметр валу черв'яка під завантажувальною воронкою).

Вагова продуктивність розраховується, знаючи об'ємну продуктивність

$$\Pi = Q * \rho, [\text{кг/год}]$$

де ρ – (густина розплаву полімеру при температурі переробки t , °C) (на виході з шнекового преса).

Температуру t переробки обрати в залежності від оброблюваного матеріалу і виробу. Густина матеріалу ρ – в залежності від матеріалу і температури. При відсутності обраної температури – для коректного задання густини використати метод лінійної інтерполяції.

Температура переробки для різних виробів в залежності від матеріалу [12].

1. Коефіцієнти, що характеризують черв'як зі змінною глибиною навивки:

$$c = 1 - \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \lg\left(\frac{h_2}{h_3}\right) + \frac{D^2}{2h_2h_3} = 1 - \frac{6,9 * 63}{2(3,07 - 2)} * \\ * \lg\left(\frac{3,07}{2}\right) + \frac{63^2}{2 * 3,07 * 2} = 286,4$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2h_3} \left(\frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2h_3} - 1 \right) = \frac{3,14^2}{3,07 * 2} \left(\frac{63(3,07 + 2)}{2 * 3,07 * 2} - 1 \right) = 40,2 \text{ 1/мм}^2$$

$$b = \frac{2,3}{(h_2 - h_3)D^3} \lg\left(\frac{h_2(D + d_3)}{h_3(D + d_1)}\right) + \frac{2h_2h_3 + (h_2 + h_3)D}{2D^2h_2^2h_3^2} = \\ = \frac{2,3}{(3,07 - 2)63^3} \lg\left(\frac{3,07(63 + 59)}{2(63 + 47)}\right) + \\ + \frac{2 * 3,07 * 2 + (3,07 + 2)63}{2 * 63^2 * 3,07^2 * 2^2} = 0,0011 \text{ 1/мм}^4$$

2. Значення коефіцієнту прямого потоку

$$\alpha = \frac{\pi^3(t - \lambda e)c}{a + t^2b} = \frac{3,14^3(63 - 1 * 7)286,4}{40,2 + 63^2 * 0,0011} = 11149 \text{ мм}^3$$

3. Значення коефіцієнту зворотного потоку

$$\beta = \frac{\pi t(t - \lambda e)}{12L_{\text{доз}}(a + t^2 b)} = \frac{3,14 * 63 * (63 - 1 * 7)}{12 * 794 * (40,2 + 63^2 * 0,0011)} = 0,026 \text{ мм}^3$$

4. Значення коефіцієнту потоку витoku

$$\gamma = \frac{\pi^2 D \delta^3 t^2}{10eL_{\text{доз}} \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 * 63 * 0,15^3 * 63^2}{10 * 7 * 794 * \sqrt{3,14^2 * 63^2 + 63^2}} = 0,00072 \text{ мм}^3$$

5. Об'ємна секундна продуктивність

$$Q = \frac{\alpha * K_{\text{заг}} * n_p}{K_{\text{заг}} + \beta + \gamma} = \frac{11149 * 38 * 0,98}{38 + 0,026 + 0,00072} = 10918 \text{ мм}^3/\text{с}$$

6. Густина розплаву полімеру

$$\rho = 827,6 + \frac{(145 - 140)}{160 - 140} * \frac{(818,4 - 827,4)}{1} = 825,35 \text{ кг/м}^3$$

7. Вагова продуктивність

$$\Pi = Q * \rho * 3600 * 10^{-9} = 10918 * 825,35 * 10^{-9} * 3600 = 32,4 \text{ кг/год}$$

У цьому підрозділі ми розраховували продуктивності черв'ячної машини. В результаті чого приймаємо такі результати: $\Pi=32 \text{ кг/год}$.

5.1.4 Розрахунок перепаду тиску на ділянках у головці

Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці виконується таким чином:

1) розраховується швидкість зсуву γ_i для простих ділянок головки, аналогічно до знаходження коефіцієнтів геометричної форми головки K_i ;

2) визначається ефективна в'язкість μ_i Па * с, за графіками для матеріалів, в залежності від швидкості зсуву γ_i та температури переробки t^{**} ;

3) за попередньо знайденими продуктивністю і коефіцієнтом геометричної форми розраховують перепад тиску на ділянках головки за формулою

$$\Delta P_i = \frac{Q * \mu_i}{K_i}$$

4) сумують отриманні значення ΔP_i для знаходження загального перепаду тиску в головці ΔP .

* при виходу розрахованого значення швидкості зсуву (ефективного градієнта швидкості) за межі наявних на шкалі значень – продовжити температурну криву до перетину з необхідним значенням;

** при відсутності на графіках заданої температури обрати температурну криву, що максимально близька за значенням до заданої.

1. Розрахунок швидкості зсуву і $\dot{\gamma}_i$ для простих ділянок головки:

Ділянка 1 (рис. 5.3)

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{32Q}{\pi d_1^3} = \frac{32 * 10918}{3,14 * 70 * 70 * 70} = 0,32 \text{ c}^{-1}$$

Ділянка 2 (рис. 5.4)

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{256Q}{\pi(D^3 + d_1^3)} = \frac{256 * 10918}{3,14(92^3 + 70^3)} = 0,79 \text{ c}^{-1}$$

Ділянка 3 (рис. 5.5)

$$\dot{\gamma}_3 = \frac{32Q}{\pi D^3} = \frac{32 * 10918}{3,14 * 92 * 92 * 92} = 0,14 \text{ c}^{-1}$$

Ділянка 4 (рис. 5.6)

$$\dot{\gamma}_4 = \frac{22,32 * Q}{\pi(R_1 + R_2)(\delta_2 + \delta_1)^2} = \frac{22,32 * 10918}{3,14(40,5 + 44)(11 + 4)^2} = 7,75 \text{ c}^{-1}$$

Ділянка 5 (рис. 5.7)

$$\dot{\gamma}_5 = \frac{5,58 * Q}{\pi(R_1 + R_2)(R_2 - R_1)^2} = \frac{5,58 * 10918}{3,14(42 + 46)(46 - 42)^2} = 13,78 \text{ c}^{-1}$$

2. Розрахунок ефективної в'язкості μ_i , [Па · с]:

$$\mu_1 = 1,7 * 10^4 \text{ Па} * \text{с}$$

$$\mu_2 = 1,4 * 10^4 \text{ Па} * \text{с}$$

$$\mu_3 = 1,8 * 10^4 \text{ Па} * \text{с}$$

$$\mu_4 = 5,7 * 10^3 \text{ Па} * \text{с}$$

$$\mu_5 = 4,4 * 10^3 \text{ Па} * \text{с}$$

3. Розрахунок перепаду тиску на простих ділянках головки:

$$\Delta P_i = \frac{Q * \mu_i}{K_i}$$

$$\Delta P_1 = \frac{Q\mu_1}{K_1} = \frac{10918 * 2,7 * 10^4}{2831,71} = 92534 \text{ Па}$$

$$\Delta P_2 = \frac{Q\mu_2}{K_2} = \frac{10918 * 2,4 * 10^4}{31016,7} = 8448 \text{ Па}$$

$$\Delta P_3 = \frac{Q\mu_3}{K_3} = \frac{10918 * 1,8 * 10^4}{30300,03} = 6486 \text{ Па}$$

$$\Delta P_4 = \frac{Q\mu_4}{K_4} = \frac{10918 * 5,7 * 10^3}{334,35} = 186130 \text{ Па}$$

$$\Delta P_5 = \frac{Q\mu_5}{K_5} = \frac{10918 * 4,4 * 10^3}{43,34} = 1108426 \text{ Па}$$

4. Знаходження загального перепаду тиску в головці ΔP

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 = \\ &= 92534 + 8448 + 6486 + 186130 + 1108426 = 1402024 \text{ Па} \end{aligned}$$

В даному розділі роботи було виконано розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці. В результаті обчислень було отримано такі результати: $\Delta P = 1402024 \text{ Па}$.

5.1.5 Розрахунок потужності приводу шнекового пресу

Щоб розрахувати витрати енергії на виробництво виробів, необхідно знати потужність, споживану черв'ячної машиною. У стаціонарному режимі екструзії споживана потужність є показником стабільності процесу. Як правило, управління здійснюється відповідно до потужності, споживаної приводом.

Потужність що, споживається шнековим пресом (N , Вт) для переробки пластичних мас, йде на транспортування матеріалу в гвинтовому каналі черв'яка (N_1) і на зріз матеріалу в зазорі між гребенем черв'яка і внутрішньою стінкою циліндра (N_2)

$$N = N_1 + N_2$$

Потужність, яка використовується на переміщення матеріалу в каналі, для черв'яка зі змінною глибиною нарізки

$$N_1 = \frac{\pi^3(t - e)LJ\mu_{\text{ef}1}}{t} n_p^2 + \alpha * \Delta P * n_p,$$

де $t - 0,063$ (крок навивки черв'яка, м),

$e - 0,007$ (товщина гребня черв'яка, м),

$L - 1,624$ (загальна довжина черв'яка, м),

$n_p - 0,98$ (робоча швидкість обертання черв'яка, с^{-1}),

$\alpha - 1,11 \cdot 10^{-5}$ (коефіцієнт прямого потоку, м^3),

$\Delta P - 1402024$ (загальний перепад тиску в головці, Па),

J – коефіцієнт, м^2

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

де $D - 0,063$ (діаметр черв'яка, м),

$d_3 - 0,059$ (діаметр вала черв'яка в зоні дозування, м),

$d_2 - 0,05686$ (діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення, м),

$h_2 - 0,00307$ (глибина навивки в зоні стиснення, м),

$h_3 - 0,002$ (глибина навивки в зоні дозування, м).

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

$$N_2 = \frac{\pi^3 D^3 e L \mu_{\text{ef}2}}{\delta t} n_p^2$$

У вищенаведених формулах також фігурує ефективна в'язкість $\mu_{\text{ef}1,2}$, Па·с що визначається за графічними залежностями для матеріалу, що

використовується при виготовленні виробів (див. попередній розрахунок), залежно від швидкості зсуву $\gamma_{1,2} \text{ с}^{-1}$, що визначається таким чином:

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{\pi^2(D - h_{\text{сер}})(D - 2h_{\text{сер}})n}{h_{\text{сер}}\sqrt{\pi^2(D - 2h_{\text{сер}})^2 + t^2}}$$

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}}$$

де $h_{\text{сер}} = \frac{(h_2 + h_3)}{2}$.

Загальна споживана потужність $N_{\text{заг}}$ повинна бути вищою за розраховану потужність N , щоб компенсувати не враховані розрахунком втрати енергії:

- на захоплення і транспортування твердого гранульованого матеріалу в зоні завантаження;
- на просування пробки матеріалу, що складається із суміші твердого і частково розплавленого матеріалу в зоні стиснення;
- на подолання сил тертя осевої реакції в опорному підшипнику;
- на механічні втрати в приводі черв'ячного екструдера.

Перелічені втрати можуть бути враховані коефіцієнтом корисної дії черв'ячних машин, який при переробці термопластів складає $\eta = 0,4 \dots 0,6$. Тоді загальна споживана потужність

$$N_{\text{заг}} = \frac{N}{\eta}$$

1. Коефіцієнт

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

$$= \frac{3,14^2 * 0,063^2 - 4 * 0,063^2}{3,14^2} + \frac{(0,063 + 0,059)^3 - (0,063 + 0,05686)^3}{3 * (0,059 - 0,05686)} +$$

$$+ \frac{2,3 * 3,14^2 * 0,063^5 * \lg \frac{0,00307}{0,002}}{(0,063^2 + 3,14^2 * 0,063^2)(0,00307 - 0,002)} = 0,1078 \text{ м}^2$$

2. Швидкість зсуву:

$$h_{\text{сер}} = \frac{(h_2 + h_3)}{2} = \frac{0,0307 + 0,002}{2} = 0,002535 \text{ м}$$

$$\begin{aligned} \dot{\gamma}_1 &= \frac{\pi^2(D - h_{\text{сер}})(D - 2h_{\text{сер}})n}{h_{\text{сер}}\sqrt{\pi^2(D - 2h_{\text{сер}})^2 + t^2}} = \\ &= \frac{3,14^2(0,063 - 0,002535)(0,063 - 2 * 0,002535)0,98}{0,002535\sqrt{3,14^2(0,063 - 2 * 0,002535)^2 + 0,063^2}} = 69,4 \text{ с}^{-1} \\ \dot{\gamma}_2 &= \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 * 0,063^2 * 0,98}{0,00015 * \sqrt{3,14^2 * 0,063^2 + 0,063^2}} = 1230 \text{ с}^{-1} \\ \mu_{\text{еф}1} &= 1,8 * 10^3 \text{ Па} * \text{с} \\ \mu_{\text{еф}2} &= 2,3 * 10^2 \text{ Па} * \text{с} \end{aligned}$$

3. Потужність, що витрачається на переміщення матеріалу в гвинтовому каналі:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{\pi^3(t - e)LJ\mu_{\text{еф}1}}{t} n_p^2 + \alpha * \Delta P * n_p = \\ &= \frac{3,14^3(0,063 - 0,007) * 1,624 * 0,1078 * 1,8 * 10^3}{0,063} 0,98^2 + \\ &\quad + 1,11 * 10^{-5} * 1402024 * 0,98 = 8344 \text{ Вт} \end{aligned}$$

4. Потужність, що витрачається на зріз матеріалу в зазорі між гребенем черв'яка і внутрішньою стінкою циліндра:

$$\begin{aligned} N_2 &= \frac{\pi^3 D^3 e L \mu_{\text{еф}2}}{\delta t} n_p^2 = \frac{3,14^3 * 0,063^3 * 0,007 * 1,624 * 2,3 * 10^2}{0,00015 * 0,063} 0,98^2 \\ &= 2141 \text{ Вт} \end{aligned}$$

5. Потужність, споживана екструдером

$$N = N_1 + N_2 = 8344 + 2141 = 10485 \text{ Вт}$$

6. Загальна споживана потужність

$$N_{\text{заг}} = \frac{N}{\eta} = \frac{10,485 * 10^3}{0,7} = 14,98 \text{ кВт}$$

За знайденою загальною потужністю, обирамо двигун потужністю 15 кВт для приводу екструдера (за довідковими матеріалами). Обрати асинхронний двигун з кількістю обертів близько $n_{\text{дв}} = 1500$ об/хв. [15]

5.2 Розрахунки черв'яка на міцність

5.2.1 Розрахунок на міцність

Крутний момент (Н·м) становить

$$M_{\text{кр}} = \frac{30N}{\pi n} = \frac{30 * 10485}{3,14 * 58,8} = 1703,7 \text{ Н} * \text{м}$$

де N – потужність, яка споживається черв'яком, Вт; n – швидкість обертання черв'яка, об/хв.

Осьове зусилля

$$P_{\text{ос}} = \frac{2M_{\text{кр}}}{D} \operatorname{tg} \varphi = \frac{2 * 1703,7}{0,063} * \operatorname{tg}(17,67^\circ) = 17230 \text{ Н}$$

де D – зовнішній діаметр черв'яка, м;

$\varphi = 17,67^\circ$ – кут підйому навивки:

де t – крок навивки, м.

Розподілене навантаження від власної ваги черв'яка (Н/м)

$$q = \frac{9,8G}{l_p} = \frac{9,8 * 19,9}{1,449} = 134,6 \text{ Н/м}$$

де G – маса черв'яка, кг, l_p – довжина робочої частини

$$G = \frac{\pi(D - d_0)^2}{4} \rho l_p = \frac{3,14 * (0,063 - 0,01575)^2}{4} * 7820 * 1,449 = 19,9 \text{ кг}$$

d_0 – діаметр каналу для охолодження, м

$$d_0 = (0,15 \dots 0,25)D = 0,25 * 0,063 = 0,01575 \text{ м}$$

$\rho = 7820 \text{ кг/м}^3$ густина сталі 40Х [16].

Напруга стиснення в корпусі черв'яка виникає через осьових зусиль і згинальних моментів, викликаних його масою. Перша складова напруги однакова по всьому поперечному перерізу, а друга складова змінюється від розтягуючої складової у верхній частині поперечного перерізу до стискаючої

складової в нижній частині. Отже, величина напруги стиснення найбільш важлива для нижніх волокон і розраховується за такою формулою

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{p_{\text{ос}}}{F} + \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{17230}{0,00155} + \frac{141,3}{1 \cdot 10^{-5}} = 25,3 \text{ МПа}$$

де F – площа небезпечного перерізу (під завантажувальною лійкою, на початку навивки, де найбільші навантаження та найменша площа, без урахування площі перерізу витків), м^2 :

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} (1 - \alpha^2) = \frac{3,14 * 0,047^2}{4} * (1 - 0,33^2) = 0,00155 \text{ м}^2$$

$$\alpha = d_0/d_1 = \frac{0,01575}{0,047} = 0,33$$

d_1 – діаметр валу в зоні завантаження, м ;

M_{max} – максимальний згинальний момент від власної ваги (у місці початку навивки), $\text{Н}\cdot\text{м}$:

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{2} q l_p^2 = \frac{1}{2} * 134,6 * 1,449^2 = 141,3 \text{ Н} * \text{м}$$

W_x – осьовий момент опору, м^3 :

$$W_x = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3,14 * 0,047^3 * (1 - 0,33^4)}{32} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{W_p} = \frac{1703,7}{2 * 10^{-5}} = 85,2 \text{ МПа}$$

де W_p – полярний момент опору, м^3

$$W_p = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3,14 * 0,047^3 * (1 - 0,33^4)}{16} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження за III теорією міцності

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{ст}}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{(25,3 * 10^6)^2 + 4 * (85,2 * 10^6)^2} = 172,3 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення [16]

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{785 * 10^6}{172,3 * 10^6} \geq 1,6 = 4,55 \geq [n]$$

де допустимий коефіцієнт запасу $[n]$ зазвичай беруть рівним 1,6...2,0.

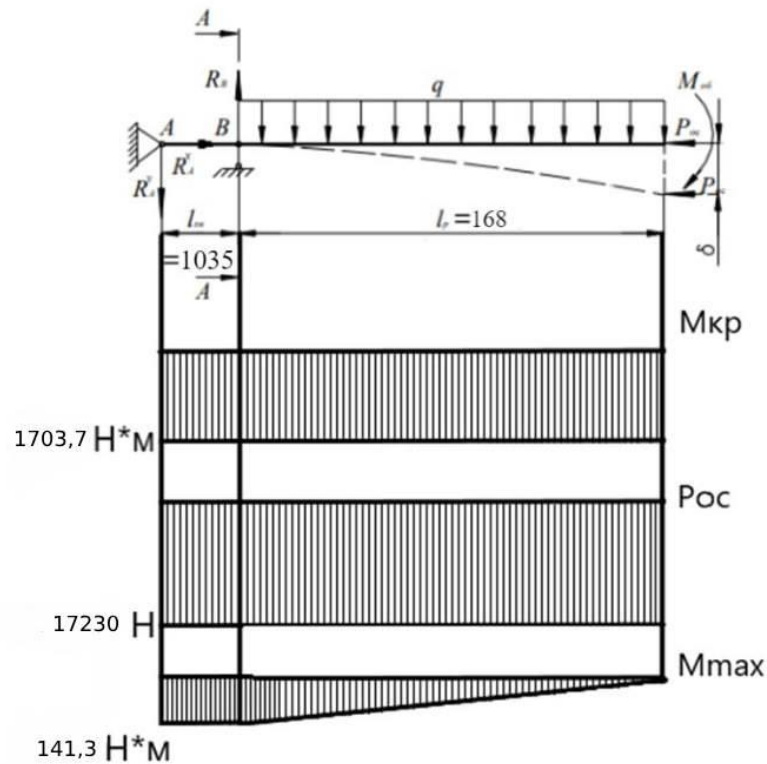


Рисунок 5.8 - Елюра напружень черв'яка

Отже коефіцієнт міцності $n=4,55$.

Умова міцності виконується.

5.2.2 Розрахунок на стійкість

Оскільки черв'як витримує згинальний момент від циклічної дії власної ваги, то доцільна його перевірка на тривкість

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{(k_{\sigma})_d \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_c} = \frac{392 * 10^6}{3 * 14,1 * 10^6 + 0,25 * 0} = 9,26$$

де n_{σ} – коефіцієнт запасу міцності під час циклічного навантаження;

σ_{-1} – допустиме напруження під час циклічного навантаження:

$$\sigma_{-1} = 0,4 \sigma_B = 0,4 * 980 * 10^6 = 392 * 10^6 \text{ Па};$$

a – амплітуда змінення напружень (у цьому випадку вони змінюються від $+\sigma_{max}$ до $-\sigma_{max}$;

σ_{max} – найбільше напруження від дії згинального моменту:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{141,3}{1 \cdot 10^{-5}} = 14,1 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

σ_c – середнє циклове напруження ($\sigma_c=0$, оскільки цикл симетричний);

ψ_σ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу сталі 40Х [16] ($\sigma_B = 980$ МПа $\psi_\sigma = 0,25$);

$(k_\sigma)_d$ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень, який можна визначити за формулою:

$$(k_\sigma)_d = \frac{k_\sigma}{\beta * \varepsilon} = \frac{2}{1 * 0,65} = 3$$

де k_σ – коефіцієнт концентрації напружень (для даного випадку $k_\sigma = 1,9 - 2,0$);

β – коефіцієнт, який враховує якість поверхні деталі, для полірованої поверхні черв'яка $\beta=1$;

ε – коефіцієнт, який враховує розмір перерізу деталі, для деталей з легуваних сталей за наявності концентрації напружень значення ε .

Умова стійкості виконується.

5.2.3 Розрахунок жорсткості

Одночасно з розрахунком міцності перевіряється жорсткість шнека. Мета цього розрахунку-перевірити, чи знаходиться відхилення черв'яка в межах конструктивного зазору. Це особливо важливо при роботі на холостому ході, оскільки під час роботи шнекового персу черв'ячні канали і зазори заповнюються розплавом під тиском, що запобігає прогину і тертя по корпусу.

Полярний момент інерції перерізу, м⁴

$$I = \frac{\pi d_1^4}{64} (1 - \alpha^4) = \frac{3,14 * 0,047^4}{64} (1 - 0,33^4) = 2,37 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Радіус інерції, м

$$i = \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{2,37 \cdot 10^{-7}}{0,00155}} = 0,012 \text{ м}$$

Ступінь жорсткості

$$\lambda = \frac{\mu l_p}{i} = \frac{2 * 1,449}{0,012} = 242$$

де μ – коефіцієнт замурування (у цьому випадку $\mu=2$).

Якщо $\lambda > 50$, то черв'як вважають не жорстким і перевіряють на найбільший прогин за формулою:

$$\delta_p = \frac{1}{EI} \left[\frac{q}{k^2} \left(\frac{1}{k^2} + \left(\frac{1}{k^2} + \frac{l_p^2}{2} \right) \right) - \frac{1}{k} \left(\frac{q}{k^3} - A l_p \right) \cos(k l_p) - \frac{1}{k^2} \left(\frac{q l_p}{k} - A \right) \sin(k l_p) \right]$$

$$=$$

$$= \frac{1}{2,09 * 10^5 * 2,37 \cdot 10^{-7}} * \left[\frac{134,6}{590^2} * \left(\frac{1}{590^2} + \left(\frac{1}{590^2} + \frac{1,449^2}{2} \right) \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{590} * \left(\frac{134,6}{590^3} - (-0,47) * 1,449 \right) * \cos(590 * 1,449) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{590^2} * \left(\frac{134,6 * 1,449}{590} - (-0,47) \right) * \sin(590 * 1,449) \right] = 0,0018 \text{ м}$$

$$\text{де } k = \sqrt{\frac{P_{oc}}{EI}} = \sqrt{\frac{17230}{2,09 * 10^5 * 2,37 \cdot 10^{-7}}} = 590 \text{ м}^{-1}$$

$$A = \frac{q(l_p - \frac{1}{k} \sin(k l_p))}{k \cos(k l_p)} = \frac{134,6 * (1,449 - \frac{1}{590} * \sin(590 * 1,449))}{590 * \cos(590 * 1,449)}$$

$$= -0,47 \text{ Н * м}$$

На початковому етапі проектних розрахунків черв'як може бути обраний з урахуванням дії крутного моменту і осьової сили. Після розрахунку геометричних параметрів виконується повний розрахунок черв'яка. Для найбільш точного розрахунку коефіцієнта сили, що діє на черв'як, враховуються властивості поза центром осьової сили, що виникають в результаті відхилення кінця черв'яка δ_p

$$\sigma = \frac{P_{oc}}{F} \left(1 + \frac{\delta_p F}{I} d_1 \right) + \frac{M_{max}}{W_x}$$

$$= \frac{17230}{0,00155} * \left(1 + \frac{0,018 * 0,00155}{2,37 \cdot 10^{-7}} * 0,047 \right) + \frac{141,3}{1 \cdot 10^{-5}} =$$

$$= 84 \text{ МПа}$$

Отримане значення підставляється в залежність

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{(84 * 10^6)^2 + 4 * (85,2 * 10^6)^2} = 190 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустимого значення

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{960 * 10^6}{190 * 10^6} \geq 1,6 = 5,1 \geq [n]$$

де допустимий коефіцієнт запасу $[n]$ зазвичай беруть рівним 1,6...2,0.

Отже коефіцієнт міцності $n=5,4$.

Умова міцності виконується.

5.2.4 Розрахунок шліцьового з'єднання

Черв'як з'єднаний з приводом в основному шліцьовими сполуками. Шліц евольвентного профілю використовується в основному тому, що контактна поверхня велика, на нього передається велике навантаження і він довго зношується. Сердечник в основному розташовується з боку посадкового паза 7Н/7п. Така конструкція забезпечує найвищу точність вирівнювання і виключає можливий люфт. Перевірка шліць-з'єднань на зім'ятість здійснюється за допомогою залежностей:

$$\sigma_{зм} = \frac{M_{об}}{R_c F z \psi} \leq [\sigma]_{зм} = \frac{1703,7}{0,032 * 0,00024 * 32 * 0,8} \leq 1,2 * 10^8 \text{ Па} =$$

$$= 11,3 * 10^6 \text{ Па} \leq 1,2 * 10^8 \text{ Па}$$

$$\text{де } R_c = \frac{d_d}{2} = \frac{mz}{2} = \frac{2*32}{2} = 64 \text{ мм};$$

m – модуль, мм;

z - кількість зубців шліцьового з'єднання:

$$z = \frac{d_d}{m} = \frac{64}{2} = 32;$$

F – площа контакту, m^2 :

$$F = 0,8lm = 0,8ld_d/z = \frac{0,8*0,15*0,064}{32} = 0,00024 m^2;$$

ψ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по поверхні шліців, береться $\psi=0,7-0,8$;

$[\sigma]_{зм}$ – допустиме напруження на зминання, МПа; приймаємо $[\sigma]_{зм} = 120$ МПа.

Модуль і кількість зубців беруть відповідно до довідників, приймаємо $m = 2$.

Умова міцності виконується.

5.3 Тепловий розрахунок екструдера

Тепловий баланс шнекового пресу визначається рівнянням:

$$E_H + E_{ш} = E_M + E_0 + E_{п}$$

де E_H - теплота, що надходить від зовнішніх обігрівачів, кВт;

$E_{ш}$ – теплота, що виділяється під час роботи черв'яка (так званий диссипативний нагрівання – внутрішня теплота тертя), кВт;

E_M – теплота, що йде з нагрітим матеріалом, кВт;

E_0 - теплота, що забирається системою охолодження (водою, повітрям та ін), кВт;

$E_{п}$ – втрати тепла у довкілля, через кожух шнекового пресу, кВт.

Складові рівняння балансу визначаються так:

$$E_M = G_M * c_M(t_K - t_H) = 0,009 * 2500 * (145 - 20) = 2,813 \text{ кВт}$$

де G_M – кількість матеріалу, що переробляється, кг/с;

c_M - питома теплоємність полімеру, кДж/(кг К);

t_K, t_H – кінцева та початкова температура полімеру, К.

$$G_M = \frac{Q}{3600} = \frac{32,4}{3600} = 0,009 \text{ кг/с}$$

де Q – масова продуктивність шнекового пресу, кг/год.

$$E_0 = G_B * c_B (t_{B1} - t_{B2}) = 0,195 * 4200 * (25 - 20) = 4095 \text{ Вт}$$

де c_B – питома теплоємність води, кДж/(кг. К);

t_{B1}, t_{B2} - кінцева та початкова температури води, До.

Кількість води G_B , що надходить на охолодження черв'яка, кг/с:

$$G_B = \rho F v = 1000 * 0,000195 * 1 = 0,195 \text{ кг/с}$$

де ρ – щільність води, кг/м³

F – площа поперечного перерізу, м²

v – швидкість течії води, м/с.

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 * 0,01575^2}{4} = 0,000195 \text{ м}^2$$

де d – діаметр труби у тілі черв'яка, м.

$$E_{\Pi} = F_k \alpha (t_{\Pi} - t_c) = 0,29 * 0,00988 * (22 - 20) = 5,7 * 10^{-3} \text{ Вт}$$

$$F_k = \pi d_k L_k = 3,14 * 0,063 * 1,449 = 0,29 \text{ м}^2$$

$$\alpha = (9,74 + 0,07 * \Delta t) * 10^{-3} = (9,74 + 0,07 * 2) * 10^{-3} \\ = 0,00988 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$$

$$\Delta t = t_{\Pi} - t_c = 22 - 20 = 2^{\circ}\text{C}$$

$$L_k = L$$

де F_k - площа зовнішньої поверхні корпусу у екструдера;

α – коефіцієнт теплопередачі, кВт/(м²*К);

t_{Π} – температура зовнішньої поверхні ізолюваного корпусу; °С;

t_c – температура довкілля, °С;

d_k – діаметр корпусу із ізоляцією, м;

L_k - довжина корпусу, м

$$E_{\text{ш}} = \left(\frac{\pi^3 D^3 \eta_1 L}{h} + \frac{QP}{\cos^2 \varphi} + \frac{\pi^2 D^2 n^2 \eta_2 e L}{\delta t g \varphi} \right) 9,8 * 10^{-10} =$$

$$= \left(\frac{3,14^3 * 0,063^3 * 1,8 * 10^3 * 1,629}{1,95 * 10^{-3}} + \frac{32,4 * 50 * 10^6}{\cos^2 17,67^\circ} + \frac{3,14^2 * 0,063^2 * 0,98^2 * 2,3 * 10^2 * 7 * 10^{-3} * 1,629}{0,15 * 10^{-3} * \tan 17,67^\circ} \right) * 9,8 * 10^{-10} = 1,74 \text{ Вт}$$

де D - діаметр черв'яка, см;

n – частота обертання черв'яка, про/с;

P – тиск у циліндрі, Па;

η_1 – в'язкість розплаву полімеру у спіральному каналі черв'яка, Па·С;

η_2 – в'язкість розплаву полімеру в зазорі між гребенем черв'яка та стінкою циліндра, Па·С;

φ – кут підйому навивки черв'яка, град;

e – ширина гребеня витка.

δ – величина зазору між гребенем черв'яка та циліндром.

З рівняння теплового балансу можна розрахувати кількість теплоти, яку необхідно підвести до шнекового пресу через систему обігріву отримуємо:

$$E_H = E_M + E_0 + E_{II} - E_{III} = 2813 + 4095 + 0,0057 - 1,74 = 6,906 \text{ кВт.}$$

Таким чином кількість теплоти приймаємо 7 кВт.

6 РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗАЦІЇ

У процесі роботи було проведено розрахунки модернізованого черв'яка екструдера за допомогою програмного забезпечення ANSYS. Основною метою цих досліджень було визначення запасу міцності і аналіз деформації і напружень черв'ячної конструкції під впливом робочого навантаження.

Матеріал деталі: сталь 40XH2MA (Табл. 6.1)

Таблиця 6.1

Модуль Юнга	E	209000 МПа
Коефіцієнт Пуассона	ν	0,3
Границя текучості	σ_T	650 МПа

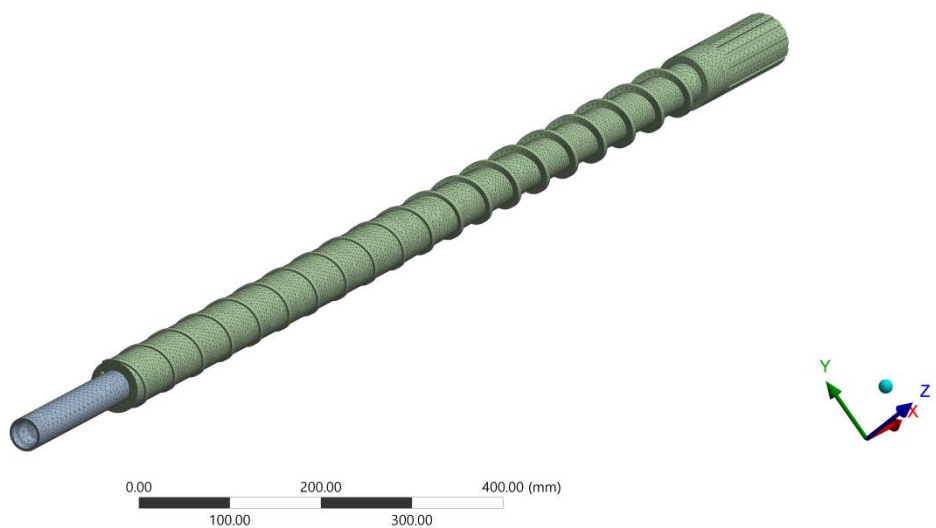


Рисунок 6.1 - Створення сітки

Задаємо закріплення та навантаження черв'яка (Рис. 6.2)

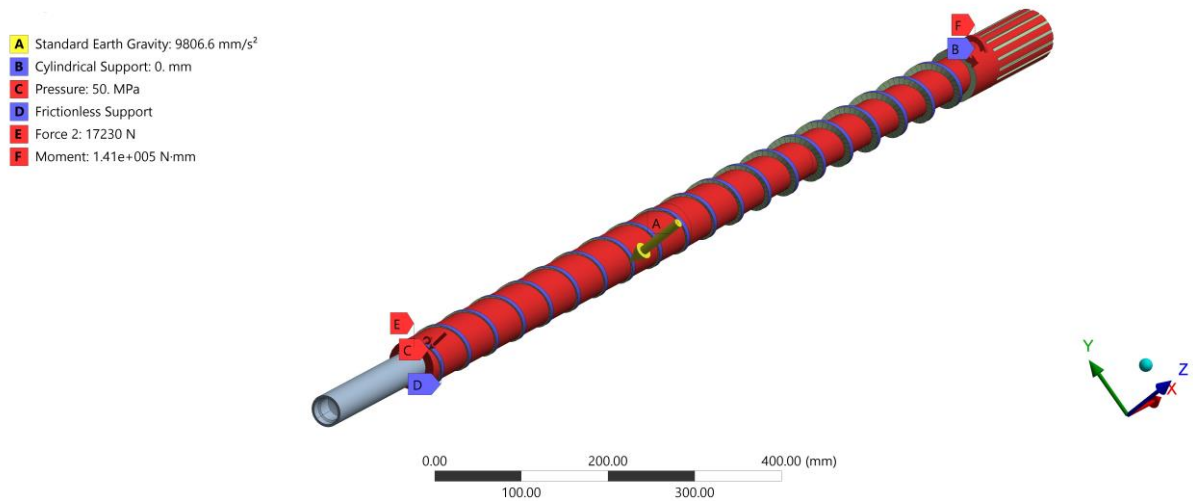


Рисунок 6.2 - Закріплення та навантаження

Деформації в напрямку дії навантаження (Рис. 6.3), які показали як деформується черв'ячний шнек.

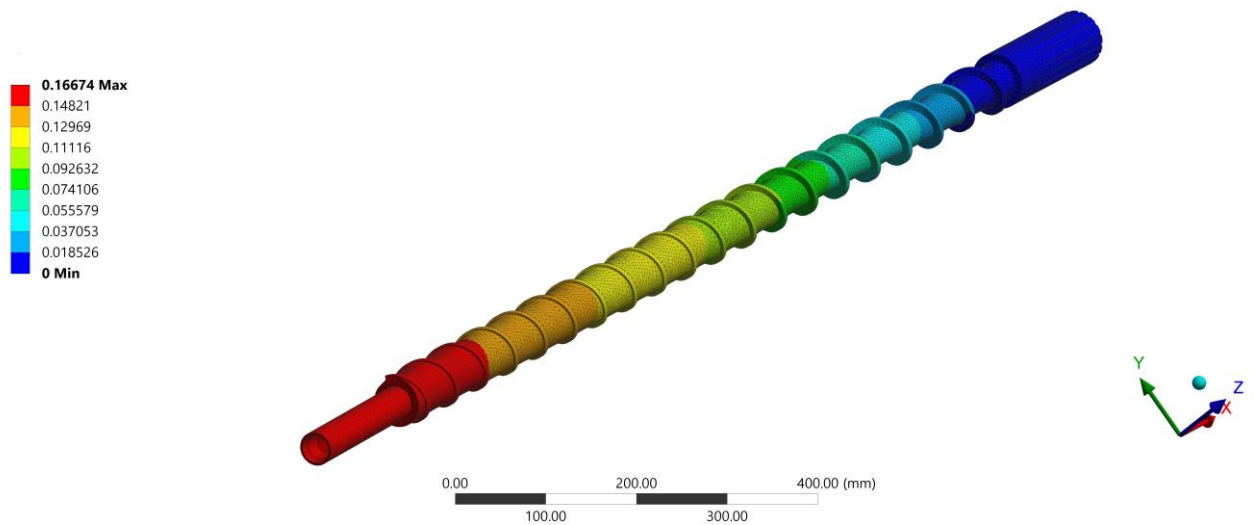


Рисунок 6.3 - Деформації черв'яка

Еквівалентні напруження (Рис.6.4) за допомогою яких можливо оцінити максимальні робочі напруження.

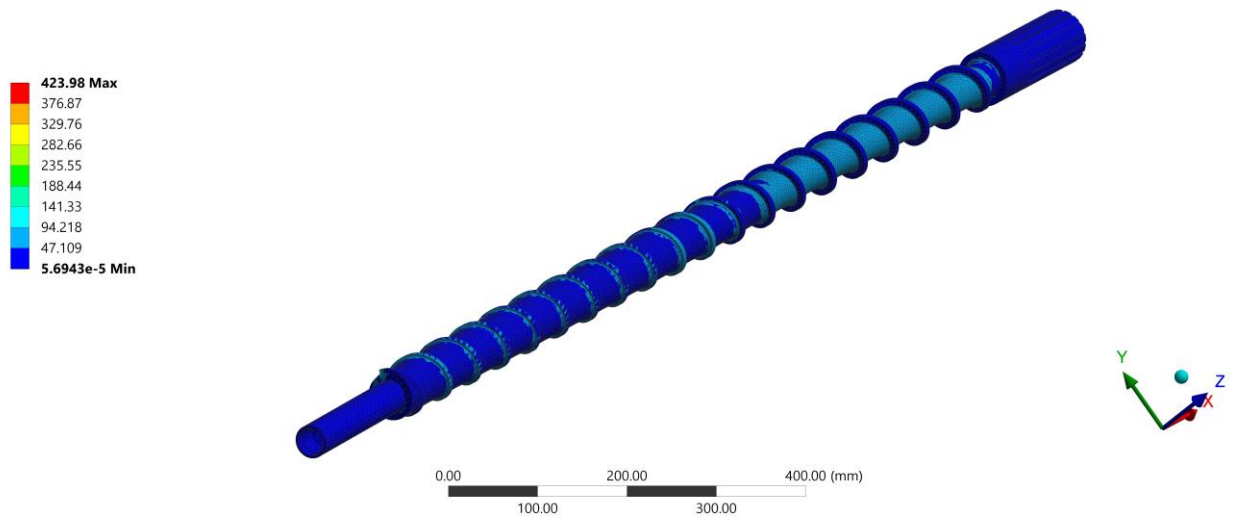


Рисунок 6.4 - Еквівалентні напруження

Рахуємо коефіцієнт запасу міцності модернізованого черв'яка

$$n = \frac{\sigma_{\Pi}}{\sigma_H} = \frac{880}{424} = 2,08$$

Результати аналізу продемонстрували, що запас міцності модернізованого черв'яка становить 2,08, що є допустимим і свідчить про здатність конструкції витримувати робочі навантаження без руйнування.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно із законодавством України, роботодавець зобов'язаний забезпечити працівнику безпечні умови праці відповідно до Закону Про охорону праці, прийнятого в 1992 році. Поліпшення умов праці і підвищення рівня безпеки впливають на результати виробництва продукції, продуктивність праці, якість і собівартість.

Темою дипломного проекту - є агрегат для виготовлення рукавної плівки з модернізацією екструдера. У цьому розділі дипломного проекту аналізуємо умови праці робітника у виробничому приміщенні розміром 45 м² та об'ємом 270 м³, в якому виробляється поліетиленова плівка. При роботі на лінії, основні фактори, що можуть впливати на робітника, є такими:

- Якість повітря в робочій зоні.
- Рівень шуму та вібрації.
- Освітлення на робочому місці.
- Електробезпека.
- Пожежна безпека.

У даному приміщенні працює тільки один оператор. Згідно з ДСН 3.3.6.042-99, робота оператора класифікується до категорії легких фізичних робіт 1б. Це означає, що оператор виконує свої завдання в сидячому або стоячому положенні, або переміщується по приміщенню. Його робота супроводжується помірним фізичним навантаженням, з витратами енергії від 121 до 150 ккал/год (141-175 Вт).

7.1 Вентиляція

Приміщення обладнане системою опалення та кондиціонування, а також припливно-витяжною вентиляцією, яка підтримує концентрацію шкідливих речовин на безпечному рівні. Уміцях можливого виділення парів поліетилену встановлюються локальні витяжні системи. Технічна лінія для накачування плівки оснащена системою блокування, яка забезпечує безпечну і безаварійну роботу пристрою.

Для запобігання випромінювання резистивних нагрівачів, розташованих в зоні нагріву, в робочій зоні передбачена подача повітря. Це досягається за рахунок захисту та ізоляції зони нагріву від навколишнього середовища з використанням синтетичних матеріалів, таких як мінеральна вата.

Система охолодження, яка є невід'ємною частиною системи термостабілізації відповідно до стандартів ДСН 3.3.6.042-99, також сприяє зниженню випромінювання.

7.2 Шум та вібрація

Джерелом шуму в приміщенні є компресор з рівнем шуму 72 дБА і екструдер з рівнем шуму до 75 дБА. Загальний рівень шуму в приміщенні становить L - 82 дБА і не перевищує допустимого рівня.

Для зниження рівня шуму використовуваних машин було прийнято наступні запобіжні заходи:

- Використання шумоізоляційних матеріалів, наприклад обклеювання корпусу машин спеціальними шумопоглинальними панелями.
- Обслуговування і змащування машин - регулярна заміна зношених частин, які створюють додатковий шум і використання мастильних матеріалів для зменшення тертя між рухомими частинами.
- Установка глушників на вихлопних трубах двигунів.

Робота пристрою на лінії з виробництва плівки не призводить до вібрації, що перевищує допустиму межу відповідно до стандарту ДСН 3.3. 6. 037-99, а рівень шуму під час роботи не перевищує L-61 дБА.

7.3 Промислове освітлення

У приміщенні, де розташовані лінії, використовується змішане освітлення. Це означає, що штучне освітлення використовується в періоди недостатнього природного освітлення.

Візуальна робота оператора, що обслуговує технічну процедуру автоматичної лінії, включає регулярний загальний моніторинг виробничого процесу.

Відповідно до класифікації зорової роботи, виробниче приміщення відноситься до IV категорії. Згідно з нормами IV категорії зорових робіт для загального освітлення, нормативне значення освітленості становить 150 люкс.

Відповідно до критеріїв IV категорії зорових робіт, для підрозділу (г) і загальних типів освітлення, еталонне значення освітленості становить 150 люкс. Штучне освітлення забезпечується трьома дуговими ртутними лампами високого тиску ДРЛ-400 (8)-1 E40 потужністю 400 Вт і світловим потоком 23 500 лм. Фактичне значення штучного освітлення становить 300 люкс, що відповідає нормі. Таким чином, фактичний рівень освітленості (Еф) вище за стандартне значення освітленості (Ен).

У приміщенні також є природне бічне освітлення через два вікна розміром 2,5x1,5 метра.

7.4 Електробезпека

Лінія спеціально розроблена для використання в приміщеннях, що відносяться до класу П-Па, відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ-2017).

Для живлення пристрою використовується трифазна напруга 220/380В з частотою 50 Гц, де нейтральна точка ізольована.

Основними причинами нещасних випадків, пов'язаних з впливом електричного струму, є:

- Несправність електричного обладнання;
- Недотримання правил техніки безпеки;
- Перевантаження електричних мереж;
- Неналежне технічне обслуговування.

Для забезпечення безпеки від електропостачання в рамках проекту були прийняті наступні запобіжні заходи:

- Автоматизовані системи включають системи безпеки, які захищають від перевантаження і короткого замикання.
- регулярне технічне обслуговування
 - Періодично перевіряти стан ізоляції проводів і кабелів.
 - Здійснювати регулярний огляд і тестування електричного обладнання.
 - Вчасно замінювати зношені або пошкоджені компоненти.
- дотримання правил техніки безпеки
 - Завжди користуватися засобами індивідуального захисту (гумові рукавички, взуття, захисні окуляри).
 - Дотримуватися інструкцій та правил безпечного використання електричного обладнання.
 - Заборонити роботу з електричним обладнанням у вологих умовах без належного захисту.
- за допомогою кнопки "стоп" (грибного типу), розташованої в місцях розташування всього доступного обладнання по обидві сторони лінії, запобігає небезпечна експлуатація лінії і вона повністю відключається.

7.5 Пожежна безпека

Згідно зі стандартом ДСТУ Б В.1.1-36:2016, приміщення відноситься до категорії В. Лінія призначена для роботи в протипожежних зонах класу П-Па відповідно до ПУЄ. Відповідно до СП 1.13.130.2020 будівля має ступінь вогнестійкості П.

У цьому напрямку спостерігаються такі основні фактори, які можуть призвести до пожежі: вихід з ладу електрообладнання, виникнення струмів короткого замикання, порушення правил персоналом щодо технології обробки полімерів, перевантаження електричного кабелю, загоряння електроізоляції, недотримання персоналом правил технології переробки термопластів і недбале ставлення до галузевих правил пожежної безпеки.

При виникненні пожежі в автоматизованій системі пріоритетними є відключення живлення. Якщо відключення неможливо рекомендується використовувати вогнегасник, що містить вуглекислоту, вуглекислоту, що містить бромметил або порошок.

Для запобігання загорання на промислових об'єктах використовуються вуглекислотні вогнегасники ОУ-7 (2 шт.), які призначені для гасіння невеликої площі при виключенні вимикача на електрообладнанні. Крім того, в приміщенні встановлена автоматична пожежна сигналізація і засоби зв'язку, що забезпечують оперативний зв'язок з пожежною службою. Відповідно до СНІП 2.09.02-85, в приміщенні повинно бути два евакуаційних вихода.

7.6 Висновки по розділу

Ефективне впровадження заходів охорони праці є важливим елементом систем безпеки праці. Якщо ці заходи будуть належним чином прийняті операторами та менеджерами, це допоможе зменшити ризик небезпеки та

травм для працівників.

8 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

8.1 Технологічний процес виготовлення фланця

8.1.1 Опис і призначення деталі

При виконанні даного розділу диплому було розроблено тех. процес виготовлення деталі "Фланець", призначено порядок виконання тех. операцій виготовлення цієї деталі.

Деталь "Фланець" (рис. 8.1) входить до складної деталі "корпус" шнекового преса і застосовується для поєднання частин корпусу.

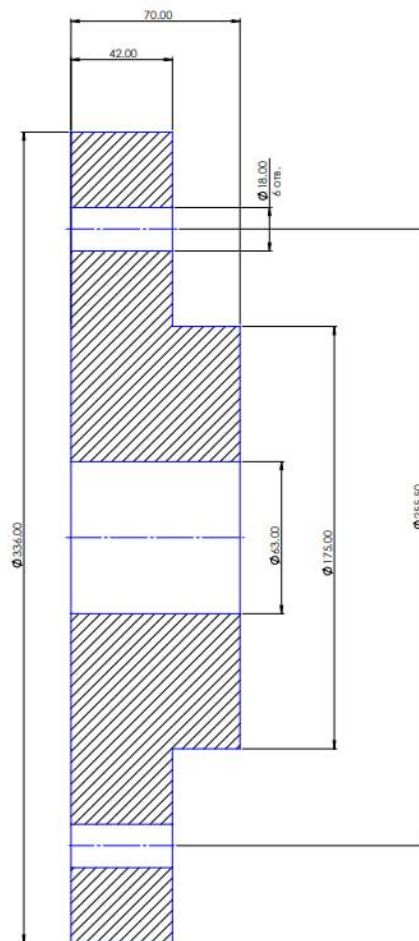


Рис 8.1. Ексіз фланця

У результаті технологічного контролю креслення деталі виявлено наступне:

- на кресленні вказані всі розмірності, необхідні для виготовлення деталі;
- шорсткість 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 фланця відповідають вимогам, які пред'явлені до шорсткості цих поверхонь.

8.1.2 Вибір заготовки

Деталь виготовляється з сталі 40Х. Заготовку для виготовлення деталі (рис. 1.2) отримуємо литтям у пісчано–глинистій формі. Форма виливка проста і дозволяє неважко дістати її з форми.

Лиття металу є одним з основних методів виготовлення заготовок, оскільки дозволяє отримувати виливки майже будь-якої форми і маси з необхідними механічно-фізичними властивостями. Найбільш поширеним методом є лиття в одну піщану форму.

Для отримання найкращої якості і продуктивності при розробці фланцевих деталей ми використовуємо спеціальне обладнання з високошвидкісним затиском заготовки у всіх технологічних операціях.

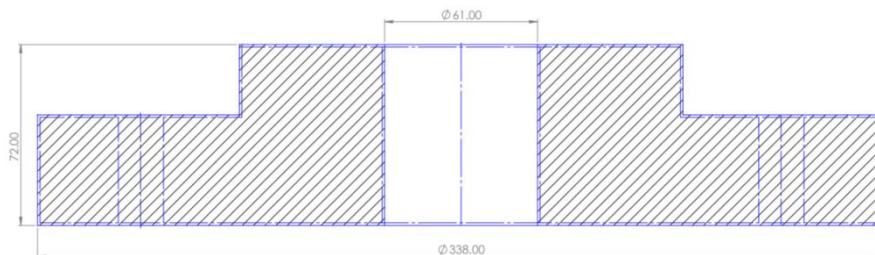


Рис 8.2. Ексіз заготовки

8.1.3 Розробка технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення фланцю, який був розроблений у процесі виконання диплому, представлений у маршрутній карті, картах ескізів та операційних картах.

Дубл.																		
Взамін.																		
Підпис																		
Розробив	Л о г а С . Р .					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ												
Перевірів	Борщик С.О.																	
Н. контр.						Фланець								Н				
M01	Сталь 40X																	
	Код		ОВ	МД	ОМ	Н.роз	КВМ	код.загот	Профіль і розміри			КД	МЗ					
M02	-		КГ									1						
А	Цех	Уч	Рм	Опер	Код, найменування операції				Позначення документу									
Б	Код, найменування обладнання				См	Проф.	Р	Уп	Кр	Коод	Он	Оп	Кш т	Тп.з	Т.шт			
А				005	Токарна													
Б					Токарний верстат 16K20Ф3					18632	3	10	1	1	1	50	1	
А				010	Токарна													
Б					Токарний верстат 16K20Ф3					18631	3	10	1	1	1	50	1	
				015	Вертикально-свердлильна													
А					Вертикально свердлильний верстат 2P135Ф2					18632	3	10	1	1	1	50	1	
Б																		
А																		
Б																		
МК	Обробка різанням																	

Дубл.															
Взамін.															
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата	
Розробив	Л о г а С . Р .			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ											
Перевірив	Борщик С.О.														
				Фланець									Н		005
Н. контр.															
				Назва операції				Матеріал							
				Токарна				Сталь 40Х							
				Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри				МЗ		Коод		
					кг						2500		0,77		
				Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми							
				Токарний верстат 16К20Ф3											
				То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР							
Р				ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v				
P01	1. Точити діаметр Ø336 начорно, начисто;														
T02	2. Підрізати торець														
O03															
O04															
T05															
T06															
P07															
O08															
ОК	Обробка різанням														

Дубл.																	
Взамін.																	
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата			
Розробив	Лога С.Р.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ											
Перевірив	Борщик С.О.																
						Фланець								Н		010	
Н. контр.																	
						Назва операції				Матеріал							
						Токарна				Сталь 40Х							
						Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри			МЗ		Коод			
							кг					2500		0,77			
						Обладнання, пристрій ЧПК						Пристосування					
						Токарний верстат 16К20Ф3											
						То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР							
										Емульсія							
Р					Інструмент	D	L	t	i	s	n	v					
1	1. Точити діаметр Ø175 начорно, начисто;																
2	2. Розточити діаметр Ø63 начорно, начисто;																
3	3. Підрізати торці																
4																	
5																	
6																	
7																	
ОК	Обробка різанням																

Дубл.																	
Взамін.																	
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата			
Розробив	Лога С.Р.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ											
Перевірив	Борщик С.О.																
						Фланець								Н		015	
Н. контр.																	
						Назва операції				Матеріал							
						Свердлильна				Сталь 40Х							
						Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри			МЗ		Коод			
							кг					2500		0,77			
						Обладнання, пристрій ЧПК					Пристосування						
						Вертикально свердлильний верстат 2Р135Ф2											
						То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР							
										Емульсія							
Р					Інструмент	D	L	t	i	s	n	v					
1	1. Свердлити отвір Ø18																
2																	
3																	
4																	
ОК	Обробка різанням																

8.2 Вибір пристосування, опис конструкції та принцип дії

Для операцій, що виконуються під час токарної обробки деталі, використаємо токарний патрон з жорстким центруючим елементом і трьома кулачками.

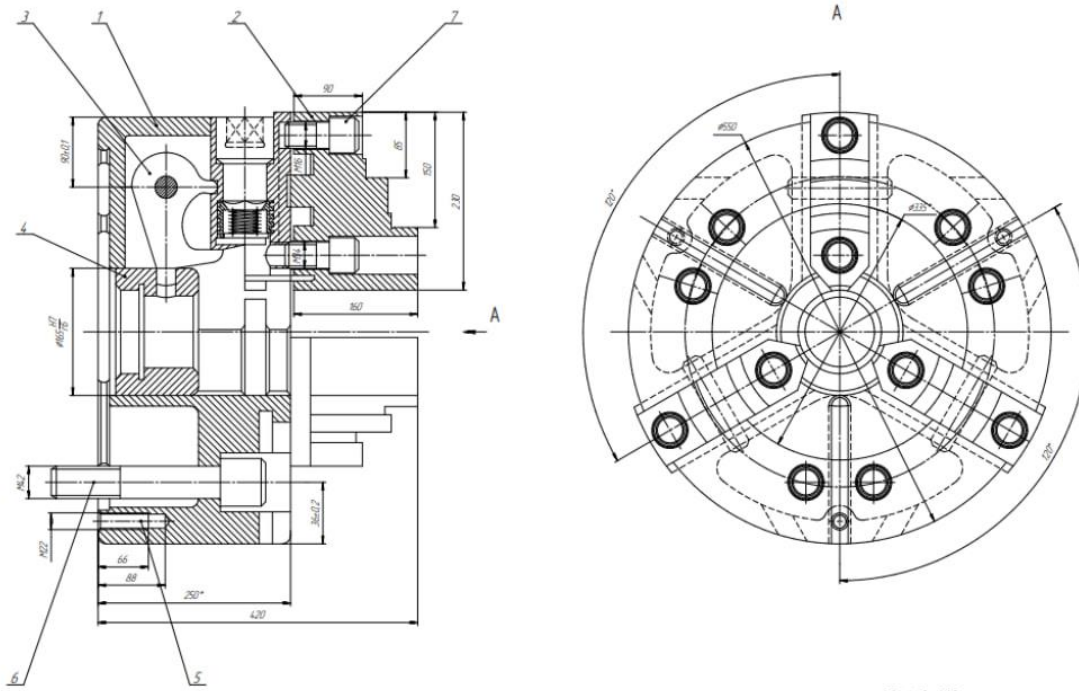


Рис. 8.3 - Трикулачковий патрон

Кріплення заготовки до трьохкулачкового патрона особливо ефективно для деталей маленької довжини, що дає можливість оптимізувати процедуру обробки і надійно фіксувати деталь під час обробки.

Токарні патрони з трьома кулачками використовують три кулачки для фіксації деталей під час обробки. Така конструкція забезпечує надійну і точну фіксацію заготовки і зручне регулювання кулачка за допомогою важелів і гвинтів, підвищуючи ефективність і надійність під час роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Було розроблено і виконано креслення черв'ячного екструдера, усієї лінії виробництва плівки рукавної, головки, вісі та секцій. Особлива увага приділялася модернізації шнека, що включала розробку креслення модернізованої деталі та проведення відповідних розрахунків.

Був виконаний літературно-патентний огляд, де в одному з патентів ми знайшли рішення для вдосконалення черв'яка.

Також було проведено параметричні розрахунки, розрахунок черв'яка на міцність і теплові розрахунки для базового черв'яка.

За допомогою програмного забезпечення ANSYS були проведені детальні розрахунки, зокрема аналіз напружень і деформацій у конструкції черв'яка, що дозволило визначити запас міцності модернізованого черв'яка.

Було також проаналізовано, наскільки важливою є охорона праці та використання захисних заходів для запобігання несприятливим наслідкам на робочому місці.

Був виконаний розділ з технології машинобудування, були розроблені технології виготовлення заготовки, деталі.

Всі завдання, виконані в рамках дипломного проектування, сприяли досягненню поставлених цілей, підтвердили правильність обраних рішень при проектуванні і модернізації екструдерів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимеров / Ю. Е. Лукач, Л. Г. Воронин, В. Н. Бондаренко и др. – К.: Тэхника, 1988. – 208 с.
2. Конструкции каландров и схемы переработки на них пластических масс и резиновых смесей / И. О. Микулёнок, С. А. Рощупкин, Ю.Е. Лукач и др. – К., 1989.
3. Бекин Ю. Е. Расчет технологических параметров и оборудование для переработки резиновых смесей в изделия. – Л.: Химия, 1987. – 272 с.
4. Пат. України № 1737 , МПК В29С 47/60, заявл. 03.07.2002, опубл. 15.04.2003, бюл. № 4.
5. Пат. України № 47082 , МПК В29С 47/60 В30В 11/22, заявл. 09.09.2009, опубл. 11.01.2010, бюл. № 1.
6. Пат. України № 53479 , МПК В29В 7/00, заявл. 31.03.2010, опубл. 11.10.2010, бюл. № 19.
7. Пат. України № 93385 , МПК В29В 17/00, заявл. 08.05.2014, опубл. 15.09.2014, бюл. № 18.
8. Пат. України № 146329 , МПК В29С 48/84, заявл. 29.09.2020, опубл. 11.02.2021, бюл. № 6.
9. Пат. України № 64797 , МПК В29С 47/38, заявл. 28.08.2011, опубл. 25.11.2011, бюл. № 22.
10. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів : навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. 200 с.
11. Басов Н. И., Казанков Ю. В., Любартович В. А. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов : учеб. для вузов. М. : Химия, 1986. 488 с.

12. Литвинец Ю. И. Технологические и энергетические расчеты при переработке полимеров экструзией : метод. указания к практ. занятиям, курсовому и диплом. проектир. специальности 240502 "Технология переработки пласт. масс и эластомеров". Екатеринбург : УГЛТУ, 2010. 56 с.
13. Кудрявцева З. А., Ермолаева Е. В. Проектирование производств по переработке пластмасс методом экструзии : учебн. пособ. к выполн. курсов. и диплом. проектов. Владимир : ВлГУ, 2003. 96 с.
14. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин: Монография / М. В. Соколов та ін. М. : Издательство машиностроение-1, 1986. 488 с.
15. АИР Україна| Електродвигун 15 кВт 1500 об/мин - АИР132S4 URL: https://xn--80aqy.com.ua/katalog_elektrodvigatelei_air/air-160s4-15-kvt-1500-ob-min/ (дата звернення: 14.11.2023)
16. Характеристика матеріалу сталь 40X. URL: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php (дата звернення: 03.01.2024)
17. 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>
18. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., Гур'єва Л.Н. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. – 188с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

Таблиця розглянутих патентів

№ п.п	Предмет пошуку	Країні видачі Номер документа	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
1	Черв'як екструдера	UA1737U Україна Винахідники: Мікульонок Ігор, Новік Валерій, Радченко Леонід, Сівецький Володимир	Метою винаходу є вдосконалення черв'яка екструдера для переробки полімерних матеріалів, а нова конструкція його ріжучих кромок зменшує зворотний потік оброблюваного матеріалу через зазор.
2	Черв'як екструдера	UA47082U Україна Винахідники: Мікульонок Ігор, Виноградов Євгеній	Метою винаходу є вдосконалення шнека екструдера, нова конструкція якого передбачає регулювання висоти штифтів на поверхні черв'яка,
3	Черв'як екструдера	UA53479U Україна Винахідники: Мікульонок Ігор, Возна Анна, Швед Дмитро, Швед Микола	Метою винаходу є удосконалення шнекового екструдера, а нова конструкція гребеня в зоні дозування значно покращує перемішуючу і диспергуючу здатність черв'яка і підвищує якість оброблюваного матеріалу.

4	Черв'як екструдера	UA93385U Україна Винахідники: Мікульонок Ігор, Сокольський Олександр, Федченко Євген	Метою винаходу є наконечник виконаний у вигляді окремої деталі з можливістю осьового переміщення щодо робочої зони і споряджено пружинним елементом.
5	Черв'як екструдера	UA146329U Україна Винахідники: Мікульонок Ігор, Лукінюк Михайло	Метою винаходу є черв'ячний шнек екструдера у вигляді забезпеченого гвинтовою нарізкою вала з порожниною для розташування в ній двох коаксіально-концентричних труб і для підведення й відведення холодоагенту.
6	Черв'як екструдера	UA64797A Україна Винахідники: Каплун Віталій, Гончар Володимир	Метою винаходу є черв'як машини з підвищеною довговічністю, який складається з кількох секцій, які зроблені в вигляді порожнистих циліндрів з нарізкою навивки на зовнішній поверхні, які фіксуються на валу шпонками з можливістю змінювати розташування в міру зносу в процесі експлуатації.

ДОДАТОК 2

Код програми

```
#include <iostream>
#include <windows.h>
#include <locale>

using namespace std;

int main()
{
    // Input data
    double m = 2.0; // module, mm
    double z = 32; // number of teeth
    double l = 0.15; // spline length, m
    double psi = 0.8; // coefficient of load distribution unevenness
    double sigma_allow = 120 * 1e6; // allowable compressive stress, Pa
    double M_ob = 1703.7; // moment, Nm

    // Calculations
    double d_d = (m * z)/1000; // pitch diameter, mm
    double R_c = d_d / 2; // radius, mm
    double F = (0.8 * l * d_d) / z; // contact area, m^2
    double sigma_zm = M_ob / (R_c * F * psi * z); // compressive stress, Pa

    // Strength condition
    bool is_strong = sigma_zm <= sigma_allow;

    // Output results
    wcout << L"Calculation results:" << endl;
    wcout << L"Module (m): " << m << L" mm" << endl;
    wcout << L"Number of teeth (z): " << z << endl;
    wcout << L"Pitch diameter (d_d): " << d_d << L" mm" << endl;
    wcout << L"Radius (R_c): " << R_c << L" mm" << endl;
    wcout << L"Contact area (F): " << F << L" m^2" << endl;
    wcout << L"Compressive stress (sigma_zm): " << sigma_zm << L" Pa" <<
    endl;
```

```
wcout << L"Allowable compressive stress ([sigma]_zm): " << sigma_allow <<
L" Pa" << endl;
wcout << L"Strength condition met: " << (is_strong ? L"Yes" : L"No") <<
endl;

return 0;
}
```

ДОДАТОК 3

